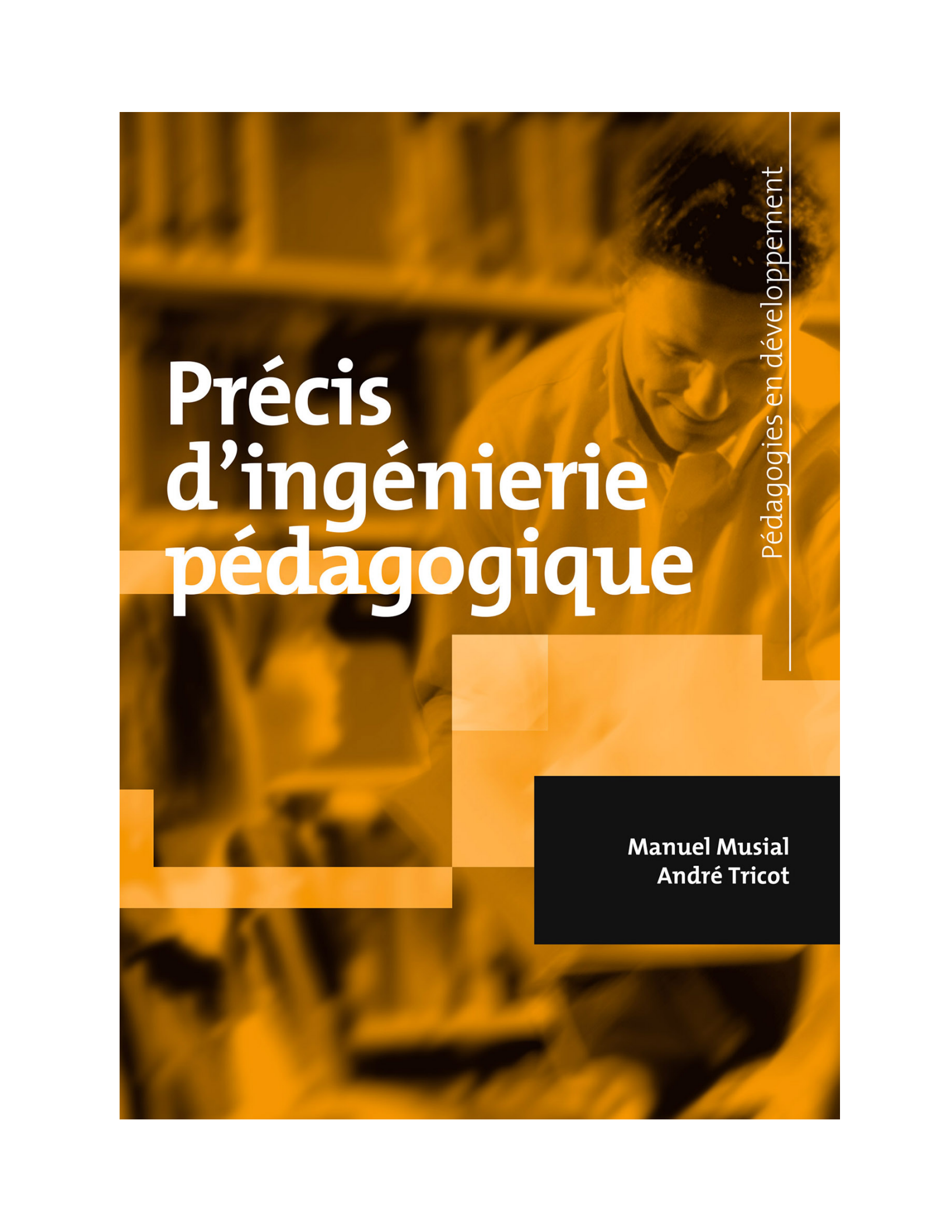


Précis d'ingénierie pédagogique

Pédagogies en développement

**Manuel Musial
André Tricot**



Précis d'ingénierie pédagogique

Pédagogies en développement

Manuel Musial
André Tricot

Précis d'ingénierie pédagogique

Pédagogies en développement

**Manuel Musial
et André Tricot**

SOMMAIRE

Page de titre

Avant-propos

Introduction

Chapitre 1. Théorie de l'acte d'apprendre à l'école

Chapitre 2. Théorie de l'acte d'enseigner

Chapitre 3. Théorie de l'acte de concevoir

Chapitre 4. Applications de la « Théorie des 3 actes »

Bibliographie

Notes

Page de copyright

AVANT-PROPOS

Nous avons publié en 2012, aux éditions De Boeck, un guide pratique intitulé *Comment concevoir un enseignement ?* Ce guide se voulait directement utile à la conception de situations d'enseignement, que ces situations relèvent de la formation initiale ou continue d'enseignants, que l'on soit un enseignant débutant ou expérimenté, ou que l'on intervienne à n'importe quel niveau (de l'école primaire à l'université). Dans un esprit résolument pratique, cet ouvrage proposait une méthodologie d'ingénierie pédagogique sous la forme de réponse à 15 questions, en se fondant sur des résultats de la recherche empirique. Depuis cette publication, nous avons beaucoup échangé avec des étudiants, des enseignants et des formateurs d'enseignants. Passé le moment poli où ces collègues se sentaient obligés de dire tout le bien qu'ils pensaient de notre livre, les premiers reproches arrivaient. Ces collègues nous disaient que pour un guide pratique... ce n'était pas forcément très pratique ! D'autres nous montraient comment ils avaient utilisé notre démarche de conception et nous demandaient d'éclaircir tel ou tel point. D'autres encore utilisaient notre méthode de conception d'une façon qui nous surprenait beaucoup, parfois de façon heureuse, parfois un peu moins. Nous avons pris conscience que notre propos n'était pas suffisamment clair ou rigoureux ; et que s'il était capable d'intéresser les professeurs, le passage à la pratique n'était pas toujours aisé.

Nous avons donc décidé d'écrire un nouvel ouvrage, avec un double objectif : éclaircir et préciser les bases théoriques de notre modèle d'ingénierie pédagogique ; fournir de nombreux exemples détaillés pour soutenir sa mise en œuvre.

Nous avons rédigé ces exemples à partir d'échanges avec certains de nos collègues et lecteurs. Ces derniers nous ont beaucoup aidés, mais ils ne peuvent en aucun cas être tenus pour responsables des erreurs ou maladresses contenues dans le texte. Nous remercions donc, avec beaucoup de gratitude : Alexia Motycka, professeure de français et formatrice d'enseignants, Anne Marty, professeure d'histoire-géographie, Cyrille Chevrollier professeur d'histoire-géographie, Odile Tripier-Mondacin, maître de conférences en sciences de l'éducation, musicologue et formatrice d'enseignants en musique, Frédéric Maizières, professeur de musique et formateur d'enseignants, Isabelle Chênerie, professeur des universités en électronique et formatrice en pédagogie universitaire, Fabienne Pradère, formatrice d'enseignants en biochimie, Dominique Alvarez, sommelier et formateur d'enseignants en hôtellerie-restauration, Philippe Dessus, professeur en sciences de l'éducation, Stéphane Respaud, inspecteur de l'Éducation nationale, ainsi que nos étudiants du master « métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation ».

INTRODUCTION

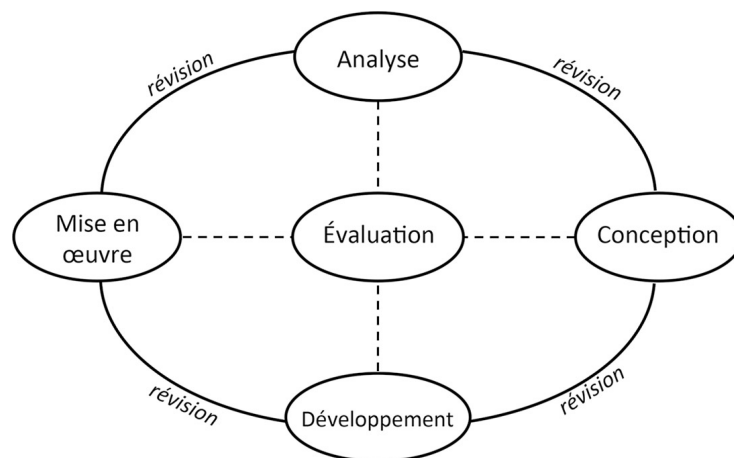
Le travail d'un enseignant est comparable à un iceberg : il contient une partie émergée, qui est réalisée en classe (que l'élève voit), et une partie immergée, qui est réalisée en dehors de la classe (que l'élève ne voit pas). Au cœur du travail en dehors de la classe (la partie immergée), on trouve la préparation de l'enseignement, qui va déterminer l'équilibre et la stabilité de la conduite de cet enseignement (la partie émergée). Cette dernière repose aussi sur la gestion de classe, qui met en œuvre des connaissances sociales, comme le traitement des expressions des visages et des regards des élèves, la détection des lacunes des élèves, l'ajustement émotionnel et motivationnel, la focalisation de l'attention des élèves sur l'activité, la conversation et la discussion avec les élèves ou encore la régulation de l'activité de ces derniers et même celle de l'enseignant (Dessus *et al.*, 2015). La réussite d'un enseignement dépend de ces deux registres que sont la préparation d'un enseignement et la gestion de classe. Ils sont également importants.

L'activité de préparation d'un enseignement est très complexe, principalement en raison de son contexte, du nombre et de la diversité des connaissances à mobiliser ; notamment, la connaissance du contenu, les connaissances pédagogiques, la connaissance des programmes, les connaissances des élèves et de leurs caractéristiques, la connaissance des contextes éducatifs et de leurs enjeux (Shulman,

1987). Enseigner relève du processus de conception (activité d'ingénierie), et renvoie à une « science de la conception », d'une « science de l'artificiel », selon les termes de Simon (1996, 2004).

L'ingénierie pédagogique (ou conception pédagogique, traduction de *Instructional Design*) est « un système de procédures pour élaborer des programmes d'enseignement et de formation de manière cohérente et fiable » (Gustafson & Branch, 2002, p. 17). Son processus typique, à caractère systémique et rétroactif, désigné par l'acronyme anglais ADDIE (cf. figure 1), s'organise autour de cinq activités : l'Analyse de la commande (besoins, public, contexte et contenu ; *Analysis*), la Conception de la stratégie pédagogique (*Design*), l'Élaboration des ressources matérielles (*Development*), la Mise en œuvre (*Implementation*) et l'Évaluation du dispositif d'enseignement-apprentissage (*Evaluation*).

**Figure 1 : Modèle ADDIE (Gustafson & Branch, 2002)
de l'ingénierie pédagogique**



Ce qui caractérise fondamentalement l'ingénierie pédagogique, c'est que les décisions y sont prises de manière consciente et rationnelle (Dean, 1996) : ce qui implique notre capacité à remettre

en cause notre mode de pensée rapide, plutôt impulsive et intuitive, et à convoquer notre mode de pensée lente, caractérisé par la réflexion et la logique (Kahneman, 2012). Autrement dit, l'ingénierie pédagogique est fondée sur notre scepticisme, qui questionne les pensées et les actes, à première vue séduisants, suggérés par notre système de pensée rapide. C'est ce scepticisme qui va nous permettre de mettre en œuvre l'esprit rationnel, qui gère la pensée lente et les calculs difficiles (Stanovich, 2011). Mais penser rationnellement demande beaucoup d'engagement cognitif (contrôle de soi et effort cognitif), alors qu'il est tellement tentant de se laisser aller au « péché de paresse intellectuelle ». Cette pensée « paresseuse » ou superficielle est un défaut de l'esprit réflexif, une faille de la rationalité (Stanovich, 2011).

Contrairement à ce que nous venons d'affirmer à propos de l'ingénierie pédagogique, une grande partie de l'activité de l'enseignant semble reposer sur le système de pensée rapide (Gauthier *et al.*, 1997 ; Porlán Ariza & Rivero García, 2001), fondé sur des connaissances expérientielles (Schön, 1994). Les routines mobilisées offrent une solution « satis-suffisante » (*satisficing*), c'est-à-dire une solution fonctionnelle mais non nécessairement optimale (Resnick *et al.*, 2010). La pensée lente, nécessaire et caractéristique de l'ingénierie pédagogique, ne semble pas toujours compatible avec une activité professionnelle quotidienne. L'objet de ce livre n'est pas d'expliquer cette incompatibilité mais de montrer comment une démarche d'ingénierie peut être mise en œuvre. Cette incompatibilité est peut-être due au coût d'intégration dans la pratique quotidienne d'une démarche d'ingénierie, coût qui ne permet pas d'envisager un gain de temps à court terme. Même si l'utilité d'une démarche d'ingénierie est reconnue par les centaines d'enseignants que nous avons interrogés à ce propos.

Pour tenter d'optimiser continuellement son enseignement, l'enseignant-concepteur (Dessus, 2006) s'appuie sur des résultats de recherches théoriques et pratiques dans les domaines de la cognition, de la psychologie de l'éducation et de la résolution de problèmes (Siemens, 2002). C'est ce qui permet de « comparer ce travail [didactique] à celui d'un ingénieur qui, afin de réaliser un projet particulier, attire le soutien de la connaissance scientifique dans le domaine, et accepte sa vérification scientifique » (Artigue, 1989).

C'est, nous semble-t-il, ce qu'exprime à sa manière le chef Paul Pairet, parlant de son premier cours de cuisine (publié dans le magazine *Port*, le 11 novembre 2015) :

Question du journaliste : *Y a-t-il eu un tournant décisif dans vos premières années en tant que chef lorsque vous avez choisi la cuisine que vous vouliez créer ?*

Réponse de Paul Pairet : *Un point intéressant aurait été mon premier cours de cuisine avec un professeur fantastique, Jean-Pierre Poulain¹. Il a mis trois verres d'eau devant nous : dans le premier verre, il y avait une carotte entière ; dans le deuxième verre, il y avait des tranches ; et dans le troisième verre, il y avait une carotte épluchée. Dans le premier verre, l'eau était limpide, dans le deuxième verre, l'eau était orange pâle et dans le troisième verre, l'eau était orange foncé. Juste à travers ces trois petites démonstrations, il essayait de nous expliquer l'importance des différentes coupes dans la diffusion entre le solide et le liquide. J'ai trouvé cette approche très intéressante. Plutôt que d'essayer de nous former à apprendre recette après recette, nous apprenions en essayant de comprendre les principes.*

Paul Pairet ajoutait, dans le magazine *Reuter*, en juillet 2010 : « Pour cuisiner, j'ai besoin de comprendre ce que je fais. »

Cranton compare l'ingénierie pédagogique à une carte géographique : « Sans cette dernière, on peut se rendre à destination... mais on peut aussi se perdre et emprunter de longs détours ! » (dans Basque, 2017). En d'autres termes, les bénéfices ne sont pas visibles tant qu'on n'a pas raté un enseignement... alors qu'il n'y a rien de plus difficile que de se rendre compte qu'on a raté un enseignement. Selon Basque (2017), les avantages de l'ingénierie pédagogique sont :

L'efficacité. Les dispositifs conçus sont plus efficaces, plus pertinents, plus cohérents et plus novateurs.

L'efficience et la rentabilité. Les coûts et le temps de production sont minimisés et les erreurs coûteuses réduites.

Une meilleure gestion de la complexité de la tâche, en disciplinant la démarche.

Une meilleure communication entre les membres de l'équipe de projet et une meilleure communication avec l'organisme commanditaire.

Une plus grande réutilisation du travail réalisé. Les productions sont bien définies et documentées.

Les théories de l'ingénierie pédagogique ont vocation à aider l'enseignant-concepteur, dans l'élaboration de dispositifs d'enseignement-apprentissage optimaux (Baron, 2011). Selon Merrill (1996), une « théorie » de l'ingénierie pédagogique doit posséder trois composantes : deux théories « descriptives » (celle de la connaissance et celle de la stratégie d'enseignement) et une théorie « prescriptive » qui relie les connaissances et les stratégies.

Notre propos sur l'ingénierie pédagogique a pour ambition de présenter une théorie qui se distingue de celles existantes par ce qui fonde chacune de ses composantes.

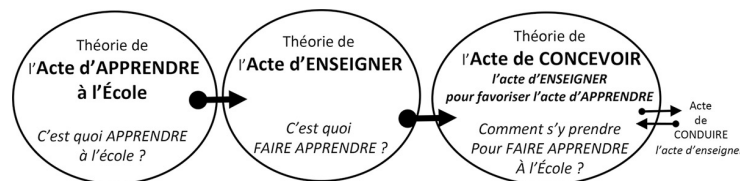
Merrill (1996) précise que la théorie « prescriptive » est composée de règles du type : si (apprentissage de tel savoir), alors (telle stratégie). Il ajoute que « l'accent est mis sur ce qui fonctionne plutôt que sur les étapes du processus de conception et de développement » (Merrill, 1996, p. 31, traduit par nos soins). Cependant, nous pensons que la théorie prescriptive ne peut se réduire à des règles d'appariement (caractéristique d'un enseignement robotisé) et que pour être totalement pertinente (*i.e.* répondre à sa vocation) elle doit relever du processus de conception. Notamment elle doit aider à lever plusieurs difficultés importantes, liées à sa complexité, « comme en particulier celle de définir des objets d'apprentissage pertinents, de les agencer entre eux dans le cadre d'un "scénario" dont le déroulement sera soumis à bien des aléas et nécessitera presque certainement des ajustements en cours d'exécution » (Baron, 2011).

Les théories de l'ingénierie pédagogique, comme celles des *Conditions of Learning* de Gagné (1992) jusqu'à la *Knowledge-Learning-Instruction* (KLI) de Koedinger *et al.* (2012 et 2013), en passant par l'*Instructional Design Theory* de Merrill (1996, 2012), se fondent sur l'action d'enseignement (Baron, 2011). Nous pensons que ce qui fonde l'objet du processus de conception, c'est-à-dire la planification d'un enseignement, ce n'est pas l'action d'enseignement mais ce pour quoi elle existe, l'action d'apprendre. Nous revendiquons une « conception d'enseignement dirigé par les apprentissages », qui repose sur une perméabilité entre les rôles du concepteur pédagogique (spécialiste de l'enseignement), de l'expert du contenu (spécialiste du savoir) et du psycho-ergonome (spécialiste des apprentissages et de ce qui favorise leur mise en œuvre).

Notre proposition consiste en une théorie de « l'Acte de concevoir l'Acte d'enseigner pour favoriser l'Acte d'apprendre ». Ce qui implique l'appui d'une théorie de l'« Acte d'apprendre à l'école » qui fonde une

théorie de l'« Acte d'enseigner ». Autrement dit, comme l'illustre la figure 2, « Comment s'y prendre » pour « faire apprendre » sachant ce qu'est « apprendre ».

Figure 2 : Composantes de la « Théorie des 3 actes »



Cette théorie fait écho à une théorie de l'« *Acte de conduire l'Acte d'enseigner pour favoriser l'Acte d'apprendre* ». Nous ne traiterons pas de cette théorie, sauf pour évoquer son rôle rétroactif sur l'« Acte de concevoir ».

Chacune des composantes de notre théorie d'ingénierie pédagogique (que l'on nomme « Théorie des 3 actes ») se caractérise par un « acte » spécifié par des « processus » et des « tâches » : des processus d'apprentissage et des tâches d'apprentissage pour l'acte d'apprendre ; des processus d'enseignement et tâches d'enseignement pour l'acte d'enseigner ; des processus d'actions et des tâches de conception pour l'acte de concevoir.

Notre proposition se veut une proposition ouverte à vocation intégratrice. Selon Reigeluth (1999), une théorie de l'ingénierie pédagogique est une théorie qui offre des conseils explicites sur la façon de mieux aider les gens à apprendre et à se développer. Ces conseils peuvent être à la fois des principes et des pratiques pour la mise en œuvre de ces principes (Merrill, 2002). C'est notamment le cas des *Nine events of instruction* de Gagné (1992) ou les *Instructional techniques* de Koedinger (2013) qui sont soutenus par des recherches

empiriques. Comme nous le montrerons, notre théorie intègre aussi parfaitement le modèle *4C-ID Ten step* (Van Merriënboer & Kirschner, 2018), qui est probablement le modèle le plus ambitieux qui existe actuellement en *Instructional Design* (EduTech Wiki).

Après ce propos liminaire, nous allons maintenant présenter notre « Théorie des 3 actes », au travers des trois premiers chapitres, pour ensuite l'illustrer de nombreux exemples dans le dernier et quatrième chapitre.

Le chapitre 1 concerne l'« acte d'apprendre à l'école ». Son contenu propose de répondre à la question : comment les élèves apprennent-ils à l'école ? Pour cela, nous proposons de répondre d'abord à la question : qu'est-ce qu'apprendre en milieu naturel ? Cela nous permet de spécifier les connaissances scolaires, les tâches qui sont utilisées pour apprendre ces connaissances et l'utilité des connaissances scolaires, et ainsi de proposer notre réponse à la question initiale. Selon nous, les élèves apprennent à l'école en mettant en œuvre des processus d'apprentissages spécifiques, que nous décrivons dans ce chapitre.

Le chapitre 2 traite de l'« acte d'enseigner ». La théorie associée repose sur le principe qu'« enseigner, c'est faire apprendre ». C'est-à-dire provoquer, favoriser et soutenir la mise en œuvre par l'élève d'un ou d'une combinaison processus d'apprentissage (*i.e.* le but) en lui proposant des tâches d'apprentissage (*i.e.* le moyen). Mais aussi en inscrivant la part de travail de l'enseignant (le faire) à la part de travail de l'élève (l'apprendre) dans une relation d'économie cognitive. C'est-à-dire en faisant réaliser un maximum de profits à l'élève en termes de connaissances scolaires, tout en minimisant la consommation de ses ressources cognitives. Ceci grâce à un étayage maîtrisé de la tâche « apprendre » par l'enseignant, expert de cette tâche. Dans le cadre de cette théorie, nous proposons une

modélisation de l'action didactique sous forme de processus d'enseignement et de processus les facilitant.

Le chapitre 3 concerne « l'acte de concevoir l'acte d'enseigner pour favoriser l'acte d'apprendre ». On y présente tout d'abord une modélisation du processus de conception, au travers de sa dynamique et ses processus « organisateurs ». Ces processus sont ceux de « l'esprit algorithmique », qui gère la pensée lente et les calculs difficiles (Stanovich, 2011). Elle modélise l'activité de l'enseignant-concepteur opportuniste, dont la démarche se veut non linéaire, fondée sur l'emprunt de connaissances potentiellement différentes à chaque fois, selon le besoin particulier (Bonnardel, 2006). Ce statut nécessite un haut niveau d'expertise dans différents domaines de connaissances tels que la cognition, la psychologie de l'éducation et la résolution de problèmes.

Aussi, nous présentons une démarche systémique de conception, basée sur une approche plus systématique, plus linéaire (à la limite itérative), fondée sur une suite d'algorithmes, avec un ensemble bien défini de connaissances. Celle d'un enseignant-concepteur planificateur, qui pourra lui permettre d'évoluer vers une démarche plus opportuniste.

Enfin, le chapitre 4 a vocation à présenter des applications de notre théorie-modèle de l'ingénierie pédagogique. Nous y proposons des applications dans des disciplines à identité didactique très différentes et de niveaux d'enseignement allant du collège à l'université. Chacune d'elles permettra d'appréhender un patron particulier de l'ingénierie pédagogique, issue de notre théorie prescriptive. L'ensemble des applications, ainsi constitué, permettra de mettre en exergue la validité de notre théorie de l'ingénierie pédagogique et de rendre sa complexité intelligible.

Nous invitons le lecteur à ne pas hésiter à faire un va-et-vient entre les parties qui présentent la « Théorie des 3 actes » (les chapitres 1 à 3) et la partie applications (le chapitre 4).

Notre théorie de l'ingénierie pédagogique consiste en la mise à disposition d'instruments intellectuels à utiliser par le praticien. Notre seule ambition est que cette théorie améliore notre compréhension de l'enseignement et aide les praticiens à concevoir des conditions qui facilitent l'apprentissage.

Cet ouvrage s'adresse à tous les formateurs et tous les enseignants qui, comme Paul Pairet, ont « pour agir, besoin de comprendre ce qu'ils font ».

Chapitre 1

1. Théorie de l'acte d'apprendre à l'école

1. **Une théorie de l'apprentissage en milieu naturel**
2. **L'acte d'apprendre à l'école**
3. **Un outil de formalisation de l'apprentissage scolaire**

À l'école, les élèves apprennent des connaissances scolaires en réalisant des tâches scolaires parce qu'ils ont une ou un enseignant·e qui enseigne. Ce qui ressemble fort à une suite de tautologies mérite quelques explications.

Selon nous, enseigner c'est favoriser l'apprentissage des élèves. Pour cela, il est sans doute nécessaire d'avoir une idée à peu près claire de ce qu'est « apprendre ». C'est là l'objet de ce premier volet de notre théorie de l'ingénierie pédagogique : proposer une théorie de l'« acte d'apprendre à l'école » qui va nous permettre ensuite d'élaborer une théorie de l'« acte d'enseigner ». Pour cela, nous proposons de définir une théorie de l'apprentissage en milieu naturel

et de spécifier ensuite l'acte d'apprendre en milieu scolaire. Cela va nous conduire à proposer un modèle de la connaissance, un modèle de la compétence et un modèle de leur élaboration.

1. UNE THÉORIE DE L'APPRENTISSAGE EN MILIEU NATUREL

1.1. Qu'est-ce qu'apprendre ? Qu'est-ce qu'une connaissance ?

Selon Mayer (2011), « l'apprentissage est un changement relativement permanent des connaissances ou du comportement d'une personne, dû à l'expérience. Cette définition intègre trois composantes : la durée du changement, qui relève du long terme plutôt que du court terme ; l'objet du changement, qui est le contenu et la structure des connaissances en mémoire ou le comportement ; la cause du changement, qui relève de l'expérience de l'apprenant dans l'environnement plutôt que de la fatigue, de la motivation, de médicaments, de conditions physiques ou d'interventions physiologiques. »

Cette définition, proposée par un des grands spécialistes contemporains du domaine, est largement consensuelle aujourd'hui. Elle considère donc que ce qui change quand on apprend, ce sont les connaissances et les comportements. Considérer que les connaissances changent, c'est considérer que quand on apprend il y a des choses qui changent, qui pourtant ne sont pas directement observables. Ce problème de l'invisibilité des connaissances est absolument redoutable ; les spécialistes de l'apprentissage essaient de le résoudre depuis la fin du XIX^e siècle. Les behavioristes ont choisi de

contourner le problème en ne s'intéressant qu'au comportement. Les spécialistes de la mesure de l'intelligence ont aussi éludé le problème en mesurant les performances des individus plutôt que de s'intéresser à ce qui les permet. C'est à partir des années 1930, avec Piaget en Suisse et Bartlett au Royaume-Uni, que les chercheurs ont essayé de résoudre le problème de l'invisibilité des connaissances sans le contourner. Ces approches sont fondées sur la modélisation : imaginons ce que pourrait être une connaissance, faisons-en un modèle, produisons des hypothèses à partir de ce modèle, testons ces hypothèses, et tant qu'elles ne sont pas invalidées, considérons le modèle comme valide. Cette approche s'est révélée extrêmement féconde, donnant lieu aux théories de l'apprentissage constructivistes et cognitivistes qui ont éclairé le domaine et l'éclairent encore aujourd'hui.

Pourtant, dès les années 1960, ces approches ont buté sur un second problème. Imaginons qu'un individu maîtrise telle connaissance (appelons-la K_x) qui permet de réaliser telle tâche (appelons-la T_x). Quand on propose à cet individu de réaliser T_x (et des variantes de T_x), on observe que cet individu peut très bien parvenir à réaliser T_{x1} mais pas T_{x2} . Ce résultat, répliqué des milliers de fois, est absolument crucial car si les connaissances sont invisibles, la seule façon de les voir est de demander à l'individu de réaliser une tâche qui implique la connaissance que l'on veut évaluer. Mais si, en faisant varier les versions de la tâche, on observe que celle-ci n'est pas tout le temps réussie, alors cela veut-il dire que la connaissance n'est pas tout à fait là ? Pas tout à fait maîtrisée ? Pas tout le temps maîtrisée ? Ou, pour reprendre les mots de Daniel Kahneman, pas tout le temps disponible ? Comment alors fait-on pour évaluer si un individu maîtrise une connaissance : on fait confiance à la chance (« pourvu qu'on tombe sur la bonne variante de la tâche ! ») ?

Avec John Sweller en 2014, nous avons proposé une solution à ce problème (Tricot & Sweller, 2014), solution que l'on trouve chez d'autres auteurs en ingénierie pédagogique comme van Merriënboer et Kirschner (2018) par exemple. Notre solution consiste très simplement à considérer que ce que l'on apprend est un couple {tâche ; connaissance}. Selon cette proposition, un individu n'apprend pas le théorème de Thalès, ni à résoudre les équations du second degré, ni la règle d'accord du participe passé avec l'auxiliaire avoir, ni même la Révolution française ou « Le dormeur du val ». Il apprend des couples : tel théorème et tel problème qui peut être résolu avec ce théorème. Décrire la « maîtrise » du théorème revient à décrire l'ensemble des tâches que l'individu sait réaliser avec ce théorème.

Réciproquement, il peut exister une relation de dépendance entre telle tâche et telle connaissance, de sorte que si un individu ne maîtrise pas cette connaissance, alors il ne pourra pas réaliser la tâche. Selon notre approche, une connaissance est donc « ce qui permet de réaliser une tâche ».

Lorsque nous avons proposé cette solution avec John Sweller, nous avons pris cet exemple : le théorème de Pythagore permet de résoudre le problème « calculer le grand côté du triangle dont les deux côtés de l'angle droit mesurent respectivement 3 cm et 4 cm ». Il est même nécessaire de maîtriser ce théorème pour résoudre un problème comme « calculer le grand côté du triangle dont les deux côtés de l'angle droit mesurent respectivement 3,6 km et 4,7 km ». En revanche, quand nous avons posé le problème suivant à de jeunes professeurs de mathématiques : « Soit deux points distants de 200 mètres l'un de l'autre. À chacun de ces deux points, on fixe une corde. Une fois fixée, la corde fait 200,04 mètres ; de sorte qu'elle est trop grande de 4 centimètres, elle flotte un peu. Maintenant, on va au

milieu des deux points, à 100 mètres de chacun donc, et on soulève la corde pour qu'elle soit bien tendue. De combien peut-on soulever la corde : de 2 cm ? de 20 cm ? ou de 2 m ? », nous avons constaté que bon nombre d'entre eux ne répondaient pas correctement. Pourtant, ces jeunes professeurs semblaient maîtriser le théorème de Pythagore ; mais pas pour résoudre ce problème. On voit bien, avec cet exemple, que « connaître le théorème de Pythagore » correspond à une réalité bien vague. En revanche, décrire l'ensemble des problèmes qu'un individu sait résoudre avec ce théorème est un peu plus précis.

Notre solution au problème de la connaissance est compatible avec les théories de la connaissance dites « fonctionnalistes » (voir par exemple Inhelder & Cellérier, 1992), qui décrivent les connaissances par leur fonction, c'est-à-dire par ce à quoi elles servent, que nous proposons d'appeler « la réalisation de tâches ». Les théories fonctionnalistes sont très bien illustrées par l'organisation des connaissances chez des experts.

Prenons un exemple ancien. La mémoire des contrôleurs aériens a été largement étudiée au cours des 50 dernières années (par exemple, Yntema, 1963). Le but d'Yntema était de comprendre pourquoi « les joueurs de cartes, les contrôleurs aériens, et les personnes vaquant à leurs activités quotidiennes démontrent une habileté à traiter un grand nombre de choses en même temps » (Yntema & Mueser, 1960, p. 18). Dans la lignée de Miller (1956), (qui a « découvert » la capacité de la mémoire à court terme en remarquant que pour toutes les tâches de cette mémoire les performances des humains ne vont jamais au-delà de 7 ± 2 informations), Yntema voulait voir si les contrôleurs aériens avaient une meilleure capacité générale dans la gestion de grosses quantités d'information (puisqu'il suffit de monter dans une tour de contrôle

pour constater que c'est ce qu'ils font). Yntema a donc consacré plusieurs études à évaluer les capacités mnésiques des contrôleurs aériens avec des tests en laboratoire, du type : association de lettres et de formes, de couleurs, de signes, etc. Les résultats obtenus montrent que les contrôleurs aériens ne sont pas meilleurs que la population générale pour gérer de grosses quantités d'information. Dix ans plus tard, Bisseret (1970) a utilisé le même type de tâches, mais d'une manière différente : il a utilisé des données significatives plutôt que des tâches de laboratoire sans lien avec les connaissances professionnelles. Son expérience incluait une description de plusieurs avions ; chaque description utilisait sept variables (comme l'altitude, la vitesse, etc.). Deux facteurs étaient manipulés : le nombre d'avions et l'expérience du contrôleur aérien. Les résultats de Bisseret montrent que les performances des contrôleurs aériens vont bien au-delà des 7 ± 2 de Miller : le nombre moyen de valeurs retenues était de 22,8 pour les contrôleurs novices et de 30 pour les experts. Pour la première fois, on était capable de faire l'hypothèse que les capacités de mémoire de travail dépendent de connaissances spécifiques. Les contrôleurs aériens ne deviennent pas plus compétents en général, ils n'ont pas une plus grande capacité de mémoire, d'attention ou de concentration ! Ils ont développé une compétence spécifique. L'organisation de nos connaissances expertes est donc dépendante des tâches et des environnements.

Résumé : Ce que nous apprenons

Nous n'apprenons pas des connaissances générales mais des couples {tâche ; connaissance}. Une connaissance est ce qui permet de réaliser une tâche.

1.2. La tâche, un moyen et un but de l'apprentissage

La connaissance que les humains ont du monde est, dans une certaine mesure, non spécifique. Elle ressemble à celles que les autres animaux ont du monde : elle désigne les régularités que nous repérons dans notre environnement aujourd'hui et qui nous serviront à comprendre et à agir sur notre environnement demain, de façon plus efficace. Chaque seconde de notre vie, nous utilisons des traces du passé pour comprendre notre environnement et y agir : c'est là le rôle de notre mémoire (réciproquement, on peut appeler « sens » ce qui, dans le présent, mobilise notre mémoire et est façonné par elle). Comprendre notre environnement concerne la mise en relation d'éléments de notre environnement (par exemple, ce fruit est sur cet arbre). Agir sur notre environnement concerne la modification de notre environnement (par exemple, je cueille ce fruit, qui du coup n'est plus sur cet arbre).

C'est donc l'interaction avec notre environnement qui est le moteur et le but principal des apprentissages. Nous sommes très redevables à Piaget, qui a permis mieux que quiconque à notre communauté de comprendre que l'interaction avec l'environnement était le mécanisme fondamental de l'apprentissage, mais nous allons nous éloigner de lui sur deux points : nous allons utiliser le mot « tâche » plutôt que le mot « action » pour décrire l'interaction entre un humain et son environnement, et ce uniquement pour des raisons pratiques, car nous aurons besoin du mot « tâche » dans tout cet ouvrage ; ensuite, nous pensons que les interactions sont parfois inconscientes et passives entre un humain et son environnement, alors que l'action au sens de Piaget mettait en exergue le côté délibéré.

Quand un humain interagit avec son environnement, il est actif à plusieurs niveaux : il perçoit, il est attentif, il réfléchit, il se pose des questions et fait des hypothèses, il raisonne, il manipule et se déplace, il observe le résultat de son action, etc. Parfois, un observateur ne voit aucune action réalisée par celui ou celle qu'il observe alors que cette personne perçoit, est attentive, réfléchit, se pose des questions, fait des hypothèses, etc. Quand nous voulons décrire cette interaction entre un humain et son environnement, nous avons donc besoin de décrire ce que fait cette personne (même si ce n'est pas visible), pourquoi elle le fait et bien entendu cet environnement. Nous proposons d'utiliser le mot « tâche » pour caractériser ce triplet {action ; but ; environnement}.

L'*action* est donc utilisée dans un sens très large, puisqu'elle peut ne correspondre à aucune activité physique observable. Pourtant, des actions comme se poser des questions, faire des hypothèses, raisonner (la liste est longue) peuvent tout à fait produire des connaissances, elles permettent aux humains d'apprendre.

Le *but* joue un rôle fondamental. Dans un même environnement, une même personne va agir différemment et apprendre des connaissances différentes selon le but qu'elle poursuit. Par exemple, lire un texte pour répondre à des questions précises ou pour passer un bon moment va donner lieu à deux compréhensions différentes. Le même texte est compris différemment parce que le but de lecture est différent (Narvaez, Van den Broek, & Ruiz, 1999).

L'*environnement* enfin tient un rôle fondamental dans l'apprentissage. Mais ce n'est pas tellement un environnement au sens objectif dont il est question ici : c'est l'environnement tel que le perçoit et le connaît le sujet humain. Deux personnes différentes ont deux connaissances préalables différentes de cet environnement, deux perceptions différentes ; ce qu'elles vont apprendre est donc

différent. L'environnement est ici employé au sens subjectif. Ce qu'on apprend n'est que la modification de notre connaissance préalable de l'environnement.

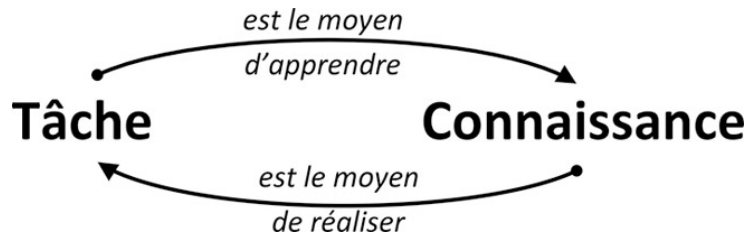
Par exemple, Schneider, Körkel et Weinert (1989) ont présenté des tâches de mémoire et de compréhension de résumés de matches de football. Les participants étaient des élèves de 3^e, 4^e et 5^e année d'école primaire en Allemagne. Ils différaient selon leur niveau de connaissances en football et leurs aptitudes verbales mesurées par un test d'aptitudes standardisé (vocabulaire, complètement de phrase, catégorisation de mots). Les participants étaient donc des experts et des novices en football, avec de faibles ou de hautes aptitudes verbales. Les résultats montrent que les experts en football avec un faible niveau d'aptitudes comprennent mieux le texte que les novices en football avec un haut niveau d'aptitudes verbales, quelle que soit la mesure de mémoire ou de compréhension. L'effet des aptitudes verbales sur la compréhension était nul chez les experts en football.

Selon cette conception de l'apprentissage donc, nous apprenons des connaissances en réalisant des tâches et ce que nous apprenons est conséquemment strictement dépendant de nos connaissances préalables et des tâches que nous réalisons. Ce que nous apprenons va donc modifier la prochaine tâche que nous réaliserons. Une même connaissance peut permettre de réaliser plusieurs tâches : dans l'exemple ci-dessus, on conçoit aisément que la connaissance sur le football peut servir à autre chose qu'à lire des résumés de matches.

Résumé : Un modèle d'interaction Connaissance-Tâche

Comme l'illustre la figure 3, apprendre c'est modifier une connaissance en réalisant une tâche. Une tâche correspond au triplet {action ; but ; environnement}. Elle nécessite de mobiliser une connaissance.

Figure 3 : Modèle d'interaction Connaissance-Tâche



Le couple {tâche ; connaissance} est l'unité de base de tout apprentissage.

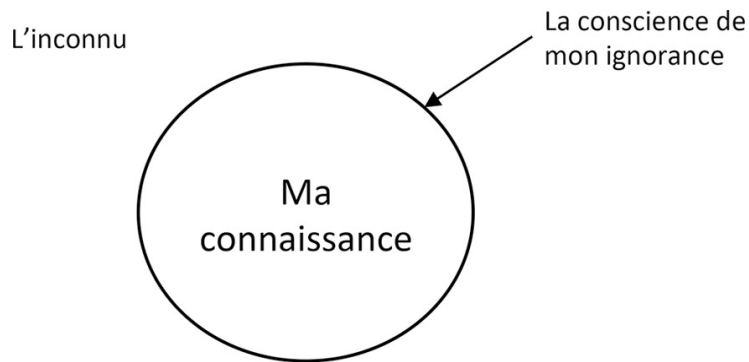
1.3. Un modèle de la connaissance

Le simple fait de vivre dans un environnement nous conduit à apprendre des centaines de milliers de connaissances que nous pouvons récupérer ultérieurement. La connaissance est donc très proche de la mémoire. Pourtant, au sein de notre mémoire, un autre type d'élément est accessible : les souvenirs. Ce sont des traces de notre passé qui concernent des événements ; nous les récupérons avec des repères de lieux, de temps, de personnes, d'actions. Cet aspect de la mémoire s'appelle mémoire épisodique. Elle correspond à ce que nous récupérons quand nous disons « je me souviens ». Par opposition, les connaissances concernent les traces de notre passé que nous sommes capables de récupérer même quand nous ne nous souvenons plus de leur source : quand les avons-nous apprises ? Où ? Avec qui ? Comment ? Cet aspect de la mémoire s'appelle mémoire sémantique. Elle correspond à ce que nous récupérons quand nous disons « je sais ». Ces deux aspects de la mémoire ne sont pas étanches l'un à l'autre. Il est tout à fait possible de récupérer une connaissance avec une composante épisodique : je me rappelle telle notion ainsi que le cours où je l'ai apprise.

Une connaissance n'est ni vraie ni fausse dans l'absolu. Un individu peut très bien avoir telle connaissance complètement contradictoire avec la connaissance d'un autre individu. Par exemple, deux élèves peuvent comprendre le même texte différemment, en fonction de facteurs qui ont été évoqués ci-dessus. Pour autant, il est parfois difficile de juger que telle connaissance est plus valide que telle autre. Deux systèmes de légitimation des connaissances différents (scientifique, religieux, social, etc.) pourront évidemment diverger dans ce jugement. Il est donc fondamental de distinguer la connaissance et la valeur de la connaissance. L'école est un système de légitimation des connaissances, certaines y sont considérées comme valides, d'autres non.

Le contraire de la connaissance n'est pas l'inconnaissance, et encore moins le doute. C'est même l'inverse qui semble se produire : plus un individu a de connaissances dans un domaine, plus la conscience de son ignorance sera grande. C'est ce qu'exprime si bien Pascal dans les *Pensées* : « Les sciences ont deux extrémités qui se touchent. La première est la pure ignorance naturelle où se trouvent tous les hommes en naissant. L'autre extrémité est celle où arrivent les grandes âmes, qui, ayant parcouru tout ce que les hommes peuvent savoir, trouvent qu'ils ne savent rien, et se rencontrent en cette même ignorance d'où ils étaient partis ; mais c'est une ignorance savante, qui se connaît. Ceux d'entre-deux, qui sont sortis de l'ignorance naturelle et n'ont pu arriver à l'autre, ont quelque teinture de cette science suffisante, et font les entendus. Ceux-là troublent le monde, et jugent mal de tout. »

Figure 4 : Illustration du paradoxe de la connaissance (Tricot, 2017a)



Autrement dit, comme l'illustre la figure 4, plus ma connaissance augmente et plus la conscience de mon ignorance augmente (et c'est réciproque) (Tricot, 2017a).

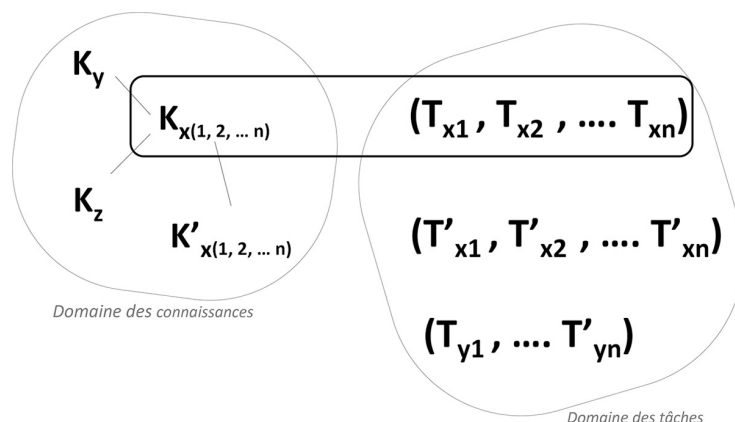
De manière très générale, la connaissance peut :
avoir différents états : être explicite ou implicite. D'une connaissance implicite, nous pouvons dire que « je sais ce que c'est » ou « je sais le faire », mais nous ne savons pas la décrire. Une connaissance explicite peut être formalisée (représentée) selon une ou plusieurs formes (linguistique, algébrique, schématique, etc.). Par exemple, nous pouvons représenter le théorème de Pythagore par une phrase, par une équation ou par une figure géométrique. Ces formes peuvent contenir une quantité d'informations plus ou moins importante selon les individus, qui peut se réduire à son appellation (par exemple, le théorème de Pythagore) ou pas.

être caractérisée par ses conditions d'utilisation, son domaine de validité, c'est-à-dire l'ensemble des critères à remplir pour que cette connaissance puisse être utilisée. Par exemple, le théorème de Pythagore ne s'applique qu'aux situations définies par un triangle rectangle.

être caractérisée par son domaine d'utilisation. Une même connaissance peut permettre de réaliser plusieurs tâches. Par exemple, la connaissance « théorème de Pythagore » peut permettre de réaliser des tâches comme « résoudre un problème qui implique le théorème », « restituer littéralement la définition du théorème », « comprendre une situation où le théorème est utilisé », « comprendre la démonstration du théorème », « poser un carrelage à angles droits », etc.

Ces caractéristiques nous permettent de préciser notre définition : ce que nous apprenons est un ensemble {connaissance ; tâche₁ ; tâche₂... tâche_n}.

Figure 5 : Ensemble {connaissance ; tâches} caractérisant un objectif d'apprentissage



Une connaissance est le moyen de réaliser un certain nombre de tâches. Caractériser un objectif d'apprentissage, c'est donc caractériser la connaissance (son état, son domaine de validité) et son domaine d'utilisation (l'ensemble des tâches qu'elle permet de réaliser). À minima (cf. figure 5), c'est délimiter un ensemble

constitué d'une connaissance K_x (et de ses différentes formes K_{x1} à K_{xn}) et des tâches (T_{x1} à T_{xn}) qu'elles permettent de réaliser.

Le niveau de maîtrise d'une connaissance est alors lié l'état de la connaissance (implicite vs explicite), son domaine de validité et son domaine d'utilisation. Plus spécifiquement, la maîtrise du niveau de ce dernier est conditionnée au nombre de tâches connues et à la maîtrise de ces tâches (*i.e.* l'utilisation de la connaissance). La maîtrise des domaines de validité et d'utilisation contribue à la mobilisation de la connaissance, c'est-à-dire au fait de penser à l'utiliser pour interagir avec l'environnement.

Si on y regarde de plus près, l'interaction forte entre tâche et connaissance peut être spécifiée par des types de connaissances et les tâches qu'elles vont permettre de réaliser.

Pour catégoriser les connaissances en fonction des tâches, nous opposons, de façon classique, les connaissances déclaratives aux connaissances procédurales. Une connaissance déclarative permet la réalisation de tâches qui concernent la mise en relation des éléments de l'environnement : par exemple, comprendre un texte, une figure géométrique, une situation ou un résultat d'expérience. Une connaissance procédurale permet la réalisation de tâches qui concernent la réalisation d'une séquence d'actions physiques ou d'opérations mentales : par exemple, réaliser un passement de jambes au football, résoudre une équation du second degré, réparer un pneu crevé. Pour autant, la plupart des connaissances ont un volet déclaratif et un volet procédural, elles permettent de réaliser des tâches qui impliquent la mise en relation d'éléments de l'environnement et aussi des tâches qui impliquent la réalisation d'une séquence d'actions ou d'opérations. Par exemple, le théorème de Pythagore permet de comprendre pourquoi $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$. Il

permet aussi de résoudre le problème de la corde de 200,04 mètres évoqué plus haut.

Nous distinguons aussi les connaissances générales (mobilisables pour réaliser de nombreuses tâches différentes) et les connaissances particulières (mobilisables pour réaliser une tâche).

Selon notre proposition, il existe six formats de connaissance, et une connaissance peut avoir un ou plusieurs formats (cf. figure 6). Pour chaque format de chaque connaissance, il peut exister plusieurs formes et conditions d'utilisation. Ce cadre est relativement proche de celui d'Anderson *et al.* (2001) qui distingue les connaissances factuelles (correspondant à nos connaissances spécifiques de situation et nos traces littérales), conceptuelles (nos concepts), procédurales (nos savoir-faire et automatismes) et métacognitives (nos méthodes les plus générales). Mais la façon dont le cadre d'Anderson *et al.* articule les formats de connaissance et les processus d'apprentissage est très différente de la nôtre. Alors que ces auteurs établissent une hiérarchie entre les formats de connaissance et un parcours pour aller du format le plus élémentaire au plus abouti, nous n'établissons pas de hiérarchie et nous considérons que certaines connaissances n'existent pas selon certains formats.

Un concept est une connaissance déclarative générale : loi, principe, théorème. Un concept est relié à d'autres concepts. Par exemple, le concept d'équilibre en mécanique est relié aux concepts de force, (d'absence) de mouvement et de repère. Un apprenant n'aura pas véritablement compris le concept d'équilibre tant qu'il n'aura pas compris ces trois concepts ainsi que leurs interrelations.

Une connaissance spécifique de situation est une connaissance déclarative particulière d'un fait, d'une situation, d'un état ponctuel du monde, etc. Une telle connaissance peut exister sans véritable lien

avec d'autres connaissances spécifiques. Cette connaissance est parfois désignée par les termes de « modèle de situation » ou « représentation mentale » dans la littérature. Par exemple, un élève peut savoir que $g = 9,81\text{m/s}^2$ sans relier cette connaissance à d'autres.

Une trace littérale est une connaissance déclarative qui correspond exactement, littéralement, à la connaissance apprise. C'est en quelque sorte la « formalisation » de la connaissance, par opposition à son « contenu ». Elle ne permet pas de comprendre ni d'agir dans une situation.

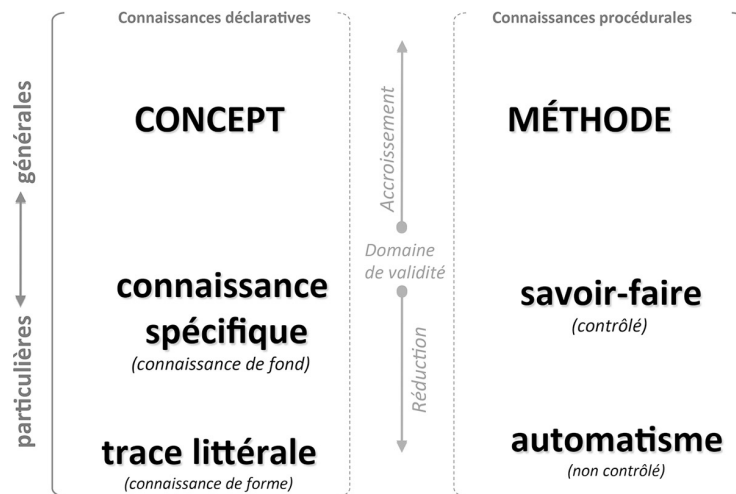
Une méthode est une procédure générale : suite d'actions physiques et/ou d'opérations mentales valable (transférable) dans des contextes différents d'un domaine de connaissances. Ces méthodes peuvent avoir comme objectif la compréhension (d'un système, d'une situation) et pas seulement l'action sur eux. Dans la littérature, on insiste souvent sur le fait que ces méthodes sont des stratégies métacognitives (des connaissances qui permettent d'organiser l'activité de l'individu).

Un savoir-faire est une procédure particulière : séquence d'actions physiques et/ou d'opérations mentales que l'on est capable de mettre en œuvre de manière contrôlée, dans un contexte particulier. Un savoir-faire n'est pas transférable.

Un automatisme est une procédure particulière dont le déclenchement est irrépressible et ne peut être interrompu. La mise en œuvre d'un automatisme ne nécessite pas d'attention.

Résumé : Un modèle de la connaissance

Figure 6 : Matrice des formats de connaissance



Selon la tâche que l'on réalise avec la connaissance, cette dernière est d'un format différent : concept, représentation de la situation, trace littérale, méthode, savoir-faire, automatisme. Autrement dit, une connaissance est spécifiée par des formats de connaissance, comme l'est un dé à six faces.



Si le couple {tâche ; connaissance} est l'unité de base de tout apprentissage, alors il est possible de décrire des couples selon la connaissance impliquée (cf. figure 7).

Quand la connaissance est un concept, les tâches réalisables sont de nature peu différente ; elles relèvent principalement de la compréhension. Mais cette compréhension peut concerner un ensemble très grand, voire infini, de situations des plus abstraites et générales aux plus concrètes et particulières. Par exemple, le concept de « fiabilité » permet de réaliser des tâches de compréhension, d'évaluation, de diagnostic, dans des domaines extrêmement divers et vastes.

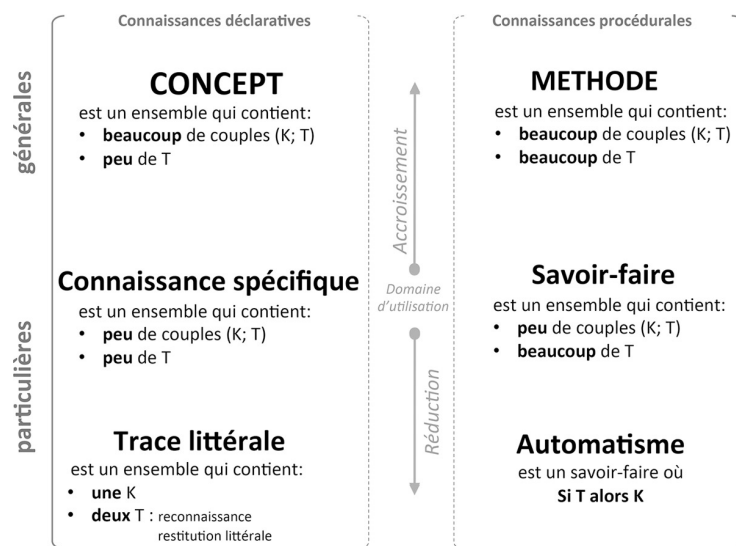
Quand la connaissance est spécifique, les tâches relèvent de la compréhension de situations analogues avec la situation, sources de

la connaissance.

Quand la connaissance est une trace littérale, les tâches relèvent de la restitution littérale, mais aussi de la reconnaissance : ce que je ne comprenais pas mais savais par cœur peut prendre sens dans une situation particulière. Car j'ai identifié que cette connaissance est pertinente dans cette situation.

Quand la connaissance est une méthode, les tâches sont en très grand nombre, elles relèvent de l'action sur le monde, cette action pouvant consister à agir directement mais aussi diagnostiquer, évaluer, préparer une intervention, etc.

**Figure 7 : Formats de connaissance et couple
(Connaissance K ; Tâche T)**



Quand la connaissance est un savoir-faire, les tâches relèvent de la mise en œuvre de procédures dans des situations analogues avec la situation, sources de la connaissance.

Quand la connaissance est un automatisme, les tâches relèvent de la même catégorie que pour les savoir-faire. Ce qui caractérise

l'automatisme réside dans la fréquence de la tâche : si une même tâche est réalisée fréquemment avec la même connaissance, cette dernière va devenir un automatisme. Le couple (K ; T) va fonctionner alors comme une unité indissociable : chaque fois que T se présente, K se déclenche de façon irrépessible, rapidement et sans interruption, avec un coût attentionnel très faible.

1.4. Un modèle de l'apprentissage

Apprendre, c'est modifier une connaissance. Les apprentissages impliquent que les connaissances préalables soient mobilisées et que les connaissances nouvelles soient réutilisées, fréquemment, dans des situations diverses (Anderson, 2000).

Apprendre peut être défini par différents buts :

Enrichir la connaissance d'un nouveau format de connaissance, d'une nouvelle forme d'explicitation ou d'une quantité d'informations.

Passer de l'état implicite à l'état explicite et inversement. Par exemple, un athlète de haut niveau qui désire améliorer ses performances sportives aura besoin d'explicitier sa pratique pour l'expertiser et l'enrichir. Puis il lui faudra à nouveau s'entraîner pour intégrer cette nouvelle connaissance et rendre sa pratique implicite.

Étendre le domaine d'utilisation de cette connaissance, en associant de nouvelles tâches à la connaissance. C'est l'une des caractéristiques de l'apprentissage de l'expertise. Savoir que nous devons aussi apprendre à reconnaître les différents états des différents problèmes auxquels la connaissance s'applique, et que ces connaissances peuvent être considérablement plus étendues et difficiles à apprendre que le simple apprentissage de la connaissance elle-même.

Apprendre peut consister à transformer une connaissance d'un format vers un autre. Par exemple, transformer le concept de théorème de Pythagore en démarche d'application du théorème de Pythagore. Un processus d'apprentissage est ce qui permet d'élaborer ou de transformer une connaissance (Bransford *et al.*, 2000). Nous proposons de distinguer six processus d'apprentissage (cf. figure 8).

La compréhension désigne le processus d'élaboration d'une connaissance spécifique d'une situation, d'un texte, d'un objet, d'une image, d'un fait, etc. (ou « élaboration d'un modèle de situation » ou d'une « représentation mentale », dans la littérature). La compréhension n'est rien d'autre que l'interprétation (vraie ou fausse) que fait quelqu'un de quelque chose, à un moment donné, en fonction de ses connaissances antérieures (des concepts, des connaissances spécifiques de situation) mais aussi de ses souvenirs. Ce processus peut donc être décrit comme la confrontation entre une source (par exemple un discours, son contenu, sa structure, etc.) et les connaissances de l'apprenant.

La conceptualisation peut être définie comme le processus d'élaboration d'un concept, c'est-à-dire de la connaissance relativement stable d'un aspect du monde. Il s'agit d'un processus très proche de la compréhension, mais alors que la compréhension est conjoncturelle et attachée à une situation, la conceptualisation est plus pérenne et générale, c'est-à-dire mobilisable dans différentes situations. Le processus de conceptualisation est largement basé sur l'induction : c'est le passage de cas particuliers à l'identification d'une structure commune à ces cas (Anderson, 2000). La conceptualisation serait fondée sur un triple processus (voir par exemple la synthèse de Barsalou, 1987) :

le repérage de traits communs, qui correspond à la construction de la catégorie (les objets qui partagent une caractéristique que les autres

objets n'ont pas, forment une catégorie) ;

l'élaboration d'une étiquette de la catégorie (les objets de cette catégorie se nomment x, ils ressemblent à x, ils correspondent à tel stéréotype, à tel exemple modèle) ;

l'établissement de relations avec d'autres concepts (par exemple, le concept x est une sous-catégorie du concept y).

Le changement conceptuel est un processus selon lequel un individu change de conception à propos d'un aspect du monde sous l'effet d'un enseignement.

La mémorisation littérale dépend d'abord de la fréquence d'utilisation de la trace : plus la trace est utilisée fréquemment, plus la probabilité pour qu'elle soit élaborée dans une forme exacte est élevée. Une telle élaboration dépend aussi de l'importance de la trace, notamment de l'importance accordée au moment de l'encodage, de l'absence de concurrence avec une autre trace et du degré d'élaboration de l'encodage de la trace.

La procéduralisation concerne soit un processus d'élaboration d'une connaissance procédurale, soit un processus de transformation d'une connaissance.

Selon Anderson (2000), le processus de procéduralisation passerait par trois étapes.

1. L'individu apprend à reconnaître dans une situation problème les connaissances qui vont être utiles à sa résolution. Il s'agit donc de l'établissement d'une association situation – connaissance.
2. L'individu apprend à associer à la situation non plus la résolution du problème mais plus directement la solution.
3. L'individu apprend à créer des règles qui consistent en l'appariement entre une condition et une action.

Selon Anderson, cet appariement pourra devenir un automatisme s'il est utilisé très fréquemment et longtemps (par exemple la lecture). Dans notre cadre cependant, nous considérons l'automatisation comme un processus spécifique. La procéduralisation aboutit à l'élaboration de procédures qui peuvent se ranger sur un continuum qui va du très général et très explicite (certaines méthodes, comme celle de Kramarski, 2004, qui consiste à enseigner à des élèves de 4^e « comment on étudie un graphique ») au très particulier et très implicite (certains automatismes, comme $3 \times 4 = ?$).

Nous proposons de distinguer deux catégories de processus de procéduralisation permettant de transformer une connaissance procédurale.

Les processus de généralisation, que sont principalement la compilation (enrichir la procédure par assemblage de procédures plus élémentaires) et l'extension du domaine de validité (on agit sur le domaine d'application, on modifie les conditions dans lesquelles on peut l'utiliser).

Un processus de particularisation : l'adaptation (ou transfert proche), où le savoir-faire est modifié pour permettre son adaptation à une situation différente mais présentant une analogie importante avec la situation habituelle d'utilisation de la connaissance.

L'automatisation est le processus de transformation d'une méthode ou d'un savoir-faire en un automatisme. Un automatisme (par exemple, savoir multiplier « par cœur », savoir visser et dévisser, marteler une forme), à l'opposé d'une méthode, est irrépressible, rapide et non contrôlé. Une connaissance automatisée est quasiment non coûteuse cognitivement. L'individu va pouvoir la mobiliser aisément, puis mettre en œuvre sans effort cognitif et en n'exerçant

pas de contrôle sur cette mobilisation et cette mise en œuvre. Ce processus d'apprentissage est surtout la conséquence de la fréquence : une connaissance devient un automatisme quand elle est fréquemment utilisée et régulièrement rencontrée.

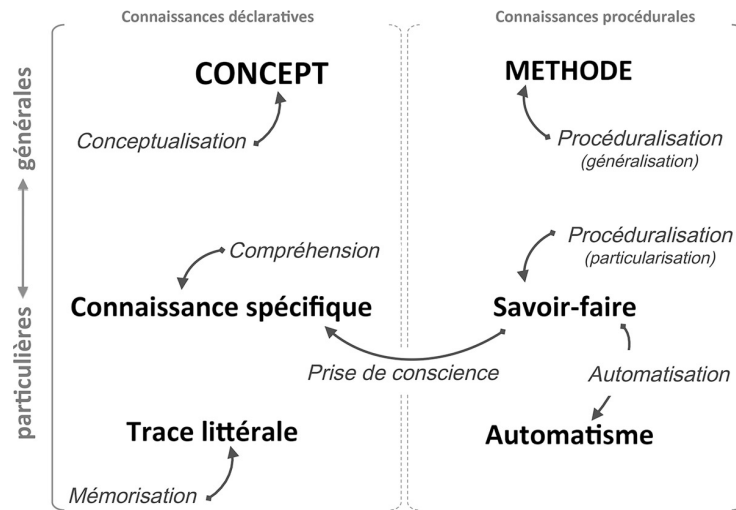
La prise de conscience désigne, ici, le processus d'élaboration d'une connaissance déclarative de quelque chose que l'on sait faire, généralement un automatisme. C'est se mettre à comprendre ce que l'on savait faire « sans réfléchir ». La prise de conscience est un processus essentiel des apprentissages langagiers à l'école élémentaire ainsi que des apprentissages en éducation physique et sportive. Elle est soutenue par deux processus distincts :

L'analyse de l'action : prendre conscience de ce que l'on fait, c'est être capable de découper une action en étapes successives, distinguer les actions élémentaires les unes des autres, les catégoriser.

L'explicitation : prendre conscience, c'est nommer ce que l'on fait, donner un nom à chaque action, c'est comme Monsieur Jourdain, apprendre que l'on fait de la « prose » quand on ne fait pas de la poésie.

En retour, la connaissance déclarative construite par prise de conscience de l'action pourra être ensuite utilisée pour planifier l'action de façon consciente et réfléchie, pour contrôler ou évaluer la mise en œuvre de l'action.

Figure 8 : Matrice des formats et des processus d'apprentissage en milieu naturel

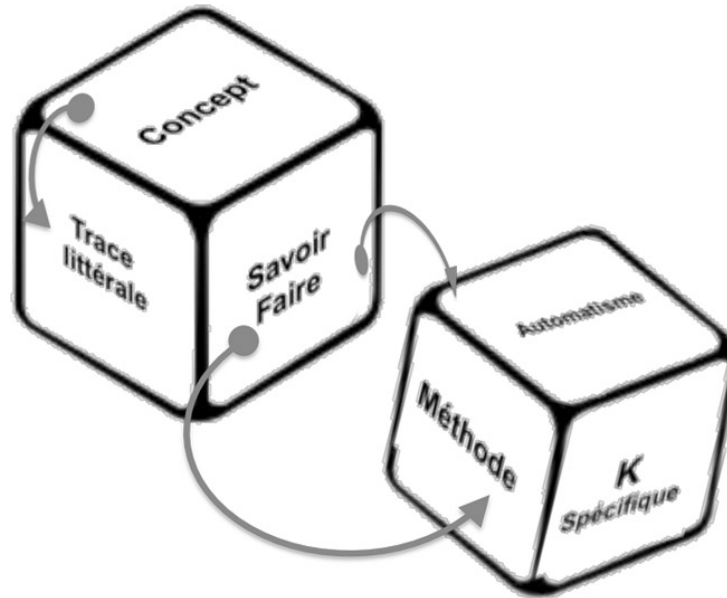


Mais apprendre peut aussi consister à augmenter le domaine d'utilisation. C'est-à-dire étendre l'ensemble des tâches que cette connaissance permet de réaliser ou, pour le formuler comme Claude Bastien (1997), « contextualiser ses connaissances ». C'est ce que nous avons évoqué plus haut. Le Domaine d'utilisation D_x d'une Connaissance_x peut s'écrire $D_x = \{T\grave{a}che_{x1} ; T\grave{a}che_{x2} ; T\grave{a}che_{x3}\}$. Cet apprentissage, appelé transfert, correspond à l'adaptation d'une connaissance à une situation nouvelle, c'est-à-dire à la réalisation d'une nouvelle tâche.

Résumé : Un modèle de l'apprentissage

Il existe différentes façons de transformer une connaissance, qui correspondent à un type de tâche que l'on va réaliser avec la connaissance. Ces tâches d'apprentissage sont dirigées par des processus d'apprentissage. Ces processus d'apprentissage sont la conceptualisation, la compréhension, la procéduralisation, l'automatisation, la prise de conscience et la mémorisation littérale (cf. figure 8).

Autrement dit, un processus d'apprentissage, c'est ce qui permet de passer d'une face à l'autre du dé.



1.5. Acquérir une compétence

1.5.1. La compétence, une spécificité de l'apprentissage ?

L'approche par compétences vient du monde du travail : au début des années 1970, on a commencé à se demander comment on pouvait reconnaître, voire rémunérer le fait qu'un salarié soit capable de bien faire ce qu'il est censé faire, alors qu'auparavant on reconnaissait et on rémunérait plutôt le diplôme ou le poste. Au sein des institutions de formation, puis des institutions scolaires, la même question s'est posée ensuite (cette sous partie reprend Tricot, 2017a) : comment caractériser le but d'une formation prenant en compte ce que les personnes formées sauront faire à l'issue de la formation ? Mais, au lieu de réduire « ce que les individus savent faire » à des savoir-faire, on a défini la compétence comme la capacité

des individus à réaliser telle tâche en spécifiant les savoir-faire, les connaissances notionnelles et les « savoir-être » impliqués dans cette réalisation, voire nécessaires à cette réalisation. Par exemple, si un objectif de la formation d'une école de journalisme est de conduire les élèves à savoir mettre en œuvre la tâche « rédiger un article journalistique » :

L'approche « savoir-faire » sera centrée sur la mise en œuvre de la tâche, qu'on va analyser comme une succession de sous-tâches, et que les étudiants s'entraîneront à réaliser l'une après l'autre, puis, progressivement toutes ensemble.

L'approche « compétences » sera centrée sur les connaissances nécessaires à la mise en œuvre de la tâche, incluant des savoir-faire rédactionnels, mais aussi des connaissances notionnelles, par exemple sur la structure rhétorique des articles journalistiques ou des savoir-être, comme l'éthique du journalisme. Ces connaissances seront mises en œuvre lors de la rédaction d'articles. La confusion entre l'approche centrée sur la tâche et celle centrée sur la compétence a fait énormément de dégâts, la première évacuant les connaissances, la seconde les plaçant au centre : utiliser l'approche par compétences pour évacuer les connaissances est un non-sens.

L'approche « académique » abordera la structure rhétorique des articles journalistiques et l'éthique du journalisme en ignorant la tâche : les élèves ne rédigeront pas ou peu d'articles pendant leurs études.

Selon le point de vue défendu ici, issu des courants de la cognition située (Brown, Collins & Duguid, 1989) et de l'approche fonctionnelle des connaissances (Inhelder & Cellérier, 1992 ; Bastien, 1997), dès qu'on enseigne, on enseigne des compétences et des connaissances ; les deux sont strictement dépendantes l'une de

l'autre. Sans tâche à mettre en œuvre, les connaissances ne sont rien ; sans connaissance, les tâches ne peuvent pas être mises en œuvre. Dans les paragraphes suivants, nous illustrons ce point de vue.

Plusieurs articles soulignent un paradoxe lié à la capacité de la mémoire de travail : alors que la mesure à des tests de capacité de la mémoire de travail est fortement corrélée à la réussite scolaire, le fait de parvenir à augmenter la réussite aux tests de mémoire de travail par entraînement n'a pas pour conséquence d'augmenter les performances scolaires (voir la synthèse de Corbin & Camos, 2013). La littérature dans le domaine interprète généralement le premier fait comme suit : la réussite scolaire est une conséquence de la capacité de mémoire de travail. Mais elle est incapable d'interpréter le second fait. Là encore, les connaissances spécifiques apprises à l'école sont un candidat sérieux pour résoudre le paradoxe : elles pourraient favoriser la réussite à ces tâches spécifiques, *i.e.* les tests. Selon notre point de vue donc, les élèves deviennent compétents pour réussir ces tests, ils apprennent des couples {connaissance ; test}.

Au début de ce chapitre, nous avons abordé le problème de la connaissance : alors qu'un individu maîtrise la connaissance nécessaire et suffisante à la réalisation d'une certaine tâche, il est fréquent d'observer que cet individu ne parvient pas à mobiliser cette connaissance pour une ou plusieurs variantes de cette tâche. Nos étudiants ou nos élèves ont bien la connaissance K_x , nous en sommes sûrs ; il faut et il suffit d'avoir cette connaissance pour réaliser une tâche T_y ; et pourtant, ils ne parviennent pas à réaliser cette dernière. On pouvait argumenter : « C'est qu'ils ne maîtrisent pas bien la connaissance K_x », mais depuis le milieu des années 1960, on admet : que cela concerne tous les êtres humains, pas que les élèves ; pour un ensemble de raisons assez complexes ; et que la seule façon d'être sûr

de savoir réaliser la tâche T_y et ses variantes avec la connaissance K_x , c'est de les réaliser souvent.

Par exemple, essayez de résoudre le problème suivant : « J'ai acheté une boule de pétanque et un cochonnet. J'ai payé le tout 1,10 €. La boule coûte 1 € de plus que le cochonnet. Combien coûte le cochonnet ? » La majorité des adultes (généralement, des étudiants) répondent « 10 centimes ». Pourtant, la réponse correcte est « 5 centimes ». Peut-on en conclure que la majorité des adultes cultivés ne savent pas faire une addition ou une soustraction ? La difficulté de ce problème réside dans le fait que « 10 centimes » nous saute aux yeux : le tout = 1,10 € ; la boule coûte 1 € et le cochonnet 10 centimes. Or il est écrit : « La boule coûte 1 € de plus que le cochonnet. » Si on vérifie : la boule à 1 € et le cochonnet à 10 centimes, ça fait 90 centimes de différence et non pas 1 €. La solution est donc bien $1,10 \text{ €} = 1,05 \text{ €} + 0,05 \text{ €}$, et $1,05 \text{ €} - 0,05 \text{ €} = 1 \text{ €}$. Ce problème est très célèbre (connu sous le nom « *Bat and ball* »), sa difficulté est généralement interprétée de la manière suivante : il faut inhiber la réponse intuitive, alors qu'elle est tout à fait crédible (Trémolière, De Neys & Bonnefon, 2014) ou, en tout cas, penser à la vérifier, pour poser correctement le problème. Or le problème ressemble tellement à un problème facile que nous ne pensons pas à vérifier la solution. Il y aurait un conflit à établir entre notre connaissance intuitive et notre connaissance rationnelle, connaissance rationnelle que nous ne déclenchons pas ici (Kahneman, 2012).

Ce problème est donc difficile à résoudre par des personnes qui pourtant ont toutes les connaissances nécessaires à sa résolution, que l'on situe ces connaissances au plan mathématique (addition, soustraction) ou stratégique (penser à vérifier). La maîtrise de la connaissance nécessaire et suffisante à la réalisation de la tâche n'est

pas prédictrice de la réalisation effective de cette dernière. C'est la raison pour laquelle l'approche par compétences nous semble intéressante : la connaissance est insuffisante pour prédire la réalisation de la tâche. Pour prédire la « capacité d'un individu à réaliser une tâche », nous avons donc bien besoin de la compétence, c'est-à-dire de l'ensemble $\{T_x ; K_{x1} ; K_{x2} ; \dots K_{xn}\}$.

Enfin, la notion de compétence ainsi définie pose dans l'absolu un problème important : l'ensemble des connaissances à maîtriser pour réaliser une tâche est potentiellement infini. Par exemple, pour résoudre le problème de la boule de pétanque et du cochonnet il faut, entre autres, comprendre l'énoncé. Pour comprendre l'énoncé, il faut notamment savoir lire. Pour savoir lire, il faut connaître les mots écrits, donc les lettres, etc. Ce qui nous intéresse dans la compétence, c'est simplement d'identifier les connaissances qui seront modifiées au cours de l'apprentissage, pas toutes celles mobilisées pour la réalisation de la tâche.

1.5.2. Qu'est-ce qu'une compétence ?

En grec ancien, le mot *arété* correspond assez bien à la compétence, avec une connotation très positive, qui a donné des traductions comme vertu ou excellence. La connotation morale donnée au mot latin *virtus* dans la tradition chrétienne nous a parfois fait oublier l'autre sens du mot vertu, que l'on retrouve dans le langage courant, par exemple quand on parle de la vertu médicinale de telle plante ou quand Molière se moquait du malade imaginaire, avec la vertu dormitive de l'opium. Chez les Grecs, l'*arété* correspondait à la capacité d'un individu à accomplir une mission, à atteindre un but, à réaliser une tâche avec succès, en faisant usage de toutes ses qualités personnelles, de ses connaissances. L'*arété* pouvait s'observer dans des domaines extrêmement divers, chez les humains

ou les animaux. Elle était selon Aristote « une disposition acquise volontaire ».

Une compétence ne correspond pas à un format spécifique de connaissance. C'est une façon de spécifier, non pas une connaissance, mais la réalisation d'une tâche.

Une compétence caractérise la capacité pour un individu de réaliser une tâche dans un certain contexte avec un certain niveau de performance. Une même connaissance peut être mobilisée dans la mise en œuvre de différentes compétences. Et une compétence peut être analysée comme mettant en œuvre différentes connaissances de différents formats.

1.5.3. Processus d'élaboration de la compétence

Acquérir une compétence, c'est devenir expert d'une tâche. Cela implique d'élaborer la connaissance, de l'associer à la tâche, de renforcer cette association par la pratique de la tâche, voire de l'automatiser.

1.5.3.1. L'élaboration de la connaissance

Apprendre, c'est modifier ses connaissances. Apprendre une compétence implique donc la modification de nos connaissances. Nous avons décrit plus haut les six processus d'apprentissage qui nous servent de cadre dans cet ouvrage. Nous avons aussi décrit l'apprentissage comme (a) un processus d'enrichissement de la connaissance ; (b) comme le passage de l'état implicite à l'état explicite et inversement ; et enfin (c) comme l'extension du domaine d'utilisation de cette connaissance. Dans la perspective de la compétence, élaborer une connaissance, c'est donc modifier nos connaissances antérieures pour pouvoir réaliser la tâche visée.

Nous voulons simplement insister sur le fait que cette élaboration de la connaissance ne se réduit pas à la réalisation de la tâche.

1.5.3.2. L'association de la connaissance à la tâche

Une autre phase importante dans l'acquisition d'une compétence est l'établissement d'une (au moins) association de la connaissance à la tâche, c'est-à-dire l'élaboration de la réponse aux questions : pour quelle(s) tâche(s) cette connaissance est-elle pertinente ? Pourquoi ? Et sous quelles conditions ? Cette phase correspond donc à ce que nous avons appelé l'établissement du domaine d'utilisation de la connaissance. Cette phase de l'apprentissage est potentiellement très étendue dans le temps, on peut passer plusieurs années à ajouter des tâches au domaine d'utilisation de la connaissance. Réciproquement, on peut ajouter énormément de connaissances à une tâche et même y consacrer une vie entière. Par exemple, pour la tâche « jouer aux échecs », les maîtres sont supérieurs aux joueurs moins bien classés non pas parce qu'ils ont acquis des stratégies de résolution de problème complexes et sophistiquées ni une capacité de mémoire générale améliorée, mais parce qu'ils ont acquis une énorme base de connaissances spécifiques constituée de milliers de configurations de problèmes ainsi que les meilleurs coups pour chaque configuration. Ainsi, les maîtres d'échecs ont acquis des connaissances de configurations (catégories de situations problèmes) et les meilleurs coups associés (routines de réalisation), en réalisant la tâche « jouer aux échecs ».

1.5.3.3. Le renforcement de l'association de la connaissance à la tâche

Élaborer une compétence, c'est aussi renforcer l'association de la connaissance à la tâche, c'est-à-dire, petit à petit, passer moins de

temps à se poser les questions : quelle connaissance est pertinente pour réaliser cette tâche ? Est-ce que les conditions d'utilisation de la connaissance sont bien réunies ? Est-ce qu'une autre connaissance ne serait pas plus pertinente ? La pratique de la tâche, et particulièrement l'analyse des erreurs de réalisation de la tâche, permet ce renforcement de l'association de la connaissance à la tâche. La présence d'autrui nous aide souvent à mieux comprendre les erreurs de réalisation de la tâche, de mieux identifier les utilisations non pertinentes de la connaissance.

1.5.3.4. L'automatisation

La répétition systématique et fréquente de l'association de la connaissance à la tâche peut aboutir à son automatisation, c'est-à-dire à l'atteinte d'un stade où la simple présentation de la tâche suffira à déclencher l'utilisation de la connaissance.

Prenons maintenant la « une » du journal *Libération* le 11 février 1986 qui illustre bien l'expertise dans un autre domaine, celui de la lecture.



Beaucoup d'entre nous (y compris l'auteur du titre, le relecteur et l'imprimeur !), à la première lecture, ne voient pas qu'il manque un « i » au mot « Italie ». Notre expertise en lecture est fondée sur des automatismes, qui font que quand nous voyons une suite de lettres nous reconnaissons très rapidement le mot qui correspond. Une des caractéristiques des automatismes est qu'ils sont très peu sensibles aux détails, même pas aux détails inhabituels. Autrement dit, même si l'environnement est plein de « bruits », notre expertise permet de gommer ces « bruits » et de percevoir puis reconnaître ce que nous avons l'habitude de percevoir et de reconnaître. L'organisation de nos connaissances expertes façonne notre environnement.

1.5.3.5. Résumé : Un modèle de la compétence

Nous définissons ici des connaissances d'expert, comme des connaissances spécifiques à la réalisation d'une tâche et issues de sa pratique (cf. figure 9). Ces connaissances contribuent à la définition de la compétence.

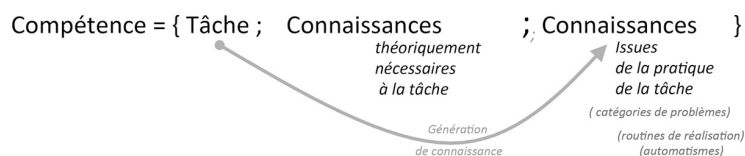
Nous définissons la compétence comme un ensemble $\{T\grave{a}che_x ; Connaissance_{x1} ; Connaissance_{x2} ; \dots Connaissance_{xn} ; Connaissances issues de la t\^ache\}$.

La compétence correspond à la capacité d'un individu à réaliser une certaine tâche et pour laquelle on peut décrire l'ensemble des connaissances nécessaires à la réalisation de cette tâche.

Parmi les connaissances, on distingue des connaissances spécifiques issues de la pratique de la tâche. Elles correspondent à des formats de connaissance automatisés, à des catégories de situations, à des routines de réalisation.

La compétence est alors conçue comme l'ensemble $\{T\grave{a}che ; Connaissances th\^eoriquement n\^ecessaires \grave{a} la t\^ache ; Connaissances issues de la t\^ache\}$.

Figure 9 : Modélisation d'une compétence



2. L'ACTE D'APPRENDRE À L'ÉCOLE

Les apprentissages scolaires obéissent à des contraintes spécifiques, qui les rendent très différents des autres apprentissages (*i.e.* ceux que l'on peut qualifier d'adaptatifs). Ce point de vue est issu de l'approche évolutionniste en psychologie de l'éducation, tel qu'il est présenté par Geary (2008), Sweller (2003, 2015), Tricot et Sweller (2014, 2016) ou Tricot (2012, 2017b). Selon cette approche, les humains apprennent de manière très différente selon que les

connaissances apprises sont primaires, *i.e.* présentes chez *Homo Sapiens* depuis les débuts de cette espèce (par exemple la reconnaissance des visages, la parole) ou au contraire secondaires, *i.e.* apparues récemment chez *Homo Sapiens* (par exemple les mathématiques ou la langue écrite).

Dans cette partie, nous allons préciser que les apprentissages scolaires concernent d'abord des connaissances scolaires et que l'apprentissage de ces dernières repose sur des contraintes spécifiques. Ensuite, nous nous attarderons sur le fait que les apprentissages scolaires reposent sur la réalisation de tâches scolaires. Enfin, nous recenserons les principales conditions de réalisation des apprentissages scolaires.

2.1. Les connaissances scolaires

Les connaissances scolaires, nous l'avons évoqué précédemment, présentent des caractéristiques spécifiques. Leur apprentissage repose sur sept contraintes spécifiques qui sont présentées maintenant.

2.1.1. 1^{re} contrainte spécifique des apprentissages scolaires : la faible valeur adaptative

Les êtres humains, comme les autres animaux, ont une capacité d'apprentissage qui correspond à leur capacité à s'adapter à leur environnement et aux changements de cet environnement. Plusieurs grandes théories de l'apprentissage comme celle de Piaget ou celle d'Anderson sont des théories de l'adaptation. Les humains sont ainsi capables d'apprendre en s'adaptant à leur environnement physique, vivant, social, culturel, linguistique, familial, affectif, etc. Par exemple, si un enfant grandit dans un contexte où on parle anglais, il

va apprendre à parler anglais, tandis que s'il grandit dans un contexte où on parle français, il va apprendre à parler français, s'il grandit dans un contexte bilingue, il va certainement devenir bilingue, etc. S'il grandit au Groenland, il apprendra à percevoir de nombreuses nuances de blanc de différentes neiges, tandis que s'il grandit à Marseille, il saura qu'il existe LA neige et qu'elle est blanche (ce qui ne veut pas dire que les habitants du Groenland disposent de nombreux mots pour désigner les différentes nuances de blanc, contrairement à ce que prétend le mythe bien répandu (Pullum, 1989). Les connaissances nous permettent de percevoir des régularités et des différences dans notre environnement, et elles sont le résultat de ces régularités et différences. Ainsi, en grandissant, l'enfant apprendra énormément de connaissances à propos de son environnement et ces connaissances lui permettront de mieux comprendre et mieux agir dans son environnement. Globalement, il apprendra ce que ses parents savent. Ces apprentissages se réalisent aussi bien dans les sociétés sans école que dans les sociétés avec écoles : par exemple, un enfant qui grandit dans un pays sans école parle aussi bien sa langue maternelle qu'un enfant qui grandit dans une société avec écoles. La grande limite de ces apprentissages adaptatifs réside dans le fait qu'ils ne sont qu'adaptatifs. Il est difficile pour un individu d'apprendre de cette manière autre chose que ce qui fait partie de son environnement quotidien.

Certaines sociétés humaines, au cours de leur histoire, créent des écoles pour pallier les limites des apprentissages adaptatifs. Ainsi, les enfants de ces sociétés, en allant à l'école, pourront apprendre des connaissances qui ne correspondent pas à leur quotidien, que leurs parents ne maîtrisent pas. Dans certaines sociétés, en effet, les adultes ont besoin d'autres connaissances que celles que leur quotidien d'enfants ou d'adolescents leur a permis d'apprendre, parce

qu'ils vivront dans un endroit différent, parce qu'ils exerceront un métier différent de celui de leurs parents, et parce que la société elle-même sera différente. Les enfants ainsi formés généreront à leur tour des connaissances utiles à la génération suivante, parce qu'ils seront ingénieurs, écrivains, artistes, chercheurs, etc. Les sociétés sans école produisent autant de connaissances, d'innovations, d'œuvres d'art, etc., que les sociétés avec écoles, mais elles n'ont pas ce dispositif extrêmement puissant de diffusion de la connaissance nouvelle et de l'innovation qu'est l'école. Certaines sociétés ont des écoles qui ont une autre fonction : transmettre la tradition, orale ou écrite, pour préserver exactement des éléments stables dans le fonctionnement social. Les sociétés avec écoles et fondées sur l'ouverture culturelle et l'innovation technologique fonctionnent donc de façon inflationniste vis-à-vis de la connaissance scolaire : elles sont fondées sur l'école et rendent l'école de plus en plus nécessaire, pénalisant de plus en plus ceux qui ne vont pas à l'école ou ceux qui en sortent tôt. Il y a seulement cinquante ans en France, un individu qui sortait du système éducatif sans aucun diplôme pouvait avoir une vie professionnelle et sociale épanouie ; beaucoup plus difficilement aujourd'hui.

Le simple fait d'être scolaire donne donc une valeur et une légitimité à une connaissance. Celle ou celui qui la maîtrise pourra revendiquer une certaine place dans la société, pourra se sentir plus légitime qu'un autre individu ayant peu de connaissances scolaires pour prendre des décisions, prendre la parole, faire des choix, etc. La connaissance elle-même prendra une valeur qui la rendra peu contestable. Par exemple, il n'existe à l'heure actuelle à peu près aucune preuve empirique que la maîtrise de la grammaire française permette de mieux parler le français. Pour autant, le simple fait d'apparaître dans les programmes légitime la grammaire. Le

théorème de Thalès est aussi dans les programmes, et cela même lui confère une légitimité, qui peut sembler peu évidente à certains élèves ; sa dénomination contient une part d'arbitraire : il n'est pas du tout sûr que Thalès soit l'auteur de ce théorème, en anglais on l'appelle le « théorème d'interception », la dénomination « théorème de Thalès » correspond en allemand à un autre théorème qui affirme que l'angle inscrit dans un demi-cercle est droit, etc. Mais un élève français doit accepter que ce qui est nommé « théorème de Thalès » dans les programmes corresponde à un théorème et pas à un autre, et qu'il ou elle doive apprendre ce théorème, quelle que soit son utilisation dans sa future vie d'adulte.

Il existe de nombreuses sociétés qui sont moins « scolarisées » que la nôtre, et dans lesquelles les enfants apprennent d'adultes autres que leurs parents, en dehors donc de situations formelles semblables à l'école (Lancy, 2016). Les deux situations que nous venons de décrire (société avec école vs sans école) sont les deux pôles d'un continuum avec de nombreuses situations intermédiaires. De même, au sein de nos sociétés occidentales riches, il existe des courants pédagogiques qui insistent sur l'importance d'ouvrir l'école à des savoirs sociaux ordinaires, qui veulent réduire l'inutilité perçue des savoirs scolaires.

Conséquence de cette première contrainte : les connaissances apprises à l'école peuvent présenter un déficit d'utilité perçue. Parfois, les élèves ne comprennent pas « à quoi ça sert d'apprendre ça ». Cette incompréhension semble toute légitime : elle constitue la raison d'être des écoles.

2.1.2. 2^e contrainte : la difficulté de généralisation

Les apprentissages adaptatifs de connaissances primaires sont aisément généralisables. Les humains généralisent avec une aisance

déconcertante dans le domaine de la reconnaissance des visages : on peut influencer leurs critères de beauté en quelques minutes seulement, les enfants comprennent le sens de milliers de mots qu'ils n'ont jamais rencontrés, etc. Les théories générales de l'apprentissage ont souvent mis la généralisation au cœur de leurs préoccupations.

Avec les apprentissages scolaires, c'est exactement l'inverse qui semble se passer : les élèves ont souvent beaucoup de difficultés à généraliser. Mais la focalisation des théories de l'apprentissage sur le processus de généralisation a sans doute conduit les chercheurs du domaine à bien peu se pencher sur le caractère spécifique des connaissances apprises à l'école (Tricot & Sweller, 2016). Pendant la plus grande partie du xx^e siècle, les psychologues ont cherché à rendre compte de capacités générales puisque c'est ce qu'ils cherchaient : ils ont appelé cette capacité « intelligence », puis « capacité à résoudre des problèmes » ou « créativité » et même « capacité d'abstraction » ou « de compréhension ». C'est Chi en 1978 qui la première a montré cette évidence : si vous voulez prédire la capacité d'un élève à résoudre tel problème de physique, ne vous demandez pas s'il est intelligent ou créatif ou indépendant à l'égard du champ, demandez-vous plutôt s'il a appris les connaissances spécifiques en sciences physiques qui permettent de résoudre ce problème.

Conséquence de cette 2^e contrainte : les connaissances apprises à l'école sont essentiellement spécifiques à un domaine et à une tâche. Les enfants qui ne parviennent pas à transférer leurs connaissances ni à les généraliser sont tout à fait ordinaires. Notre fascination pour de mystérieuses capacités générales, bien réelles avec les connaissances primaires, nous a sans doute conduits dans une impasse pour les connaissances scolaires.

2.1.3. 3^e contrainte : l'importance de l'attention

Une caractéristique essentielle des apprentissages adaptatifs de connaissances primaires réside dans le fait que ceux-ci sont implicites : on apprend sans savoir ce que l'on apprend ni même ce que l'on est en train d'apprendre. Une caractéristique des apprentissages implicites de connaissances primaires réside dans le fait qu'ils ne nécessitent pas d'effort attentionnel : l'enfant n'a pas besoin de faire attention pour apprendre.

Avec les apprentissages scolaires, il semble que cela soit exactement l'inverse. Ces apprentissages sont explicites et, en tant que tels, ils mobilisent de l'attention. Et, comme nous l'avons vu précédemment, les apprentissages scolaires mobilisant une tâche que l'on peut distinguer de la connaissance à apprendre, l'effort attentionnel des élèves est double : ils doivent mobiliser leur attention pour réaliser la tâche et pour apprendre.

Conséquence de cette troisième contrainte : les apprentissages scolaires sont exigeants sur le plan attentionnel, les élèves doivent être attentifs, concentrés pour apprendre.

2.1.4. 4^e contrainte : les processus d'apprentissage

Comme nous avons vu dans la partie précédente, les apprentissages adaptatifs de connaissances primaires sont essentiellement implicites. Ils résident dans la détection non volontaire et automatique de régularités dans l'environnement. C'est en quelque sorte l'immersion dans l'environnement qui permet l'apprentissage.

Cela fonctionne aussi avec les apprentissages adaptatifs de connaissances secondaires. Par exemple, quand on exerce le métier de technicien de maintenance de véhicule automobile, on apprend

même après avoir achevé sa formation initiale, mais « sur le tas », « par la pratique », des connaissances apparues très récemment. Cette fois, l'apprentissage est fondé sur la pratique délibérée, consciente, coûteuse lorsque l'on est novice et de moins en moins coûteuse quand l'expertise augmente. Cet apprentissage est bien strictement adaptatif comme peuvent s'en rendre compte les techniciens qui ne travaillent que pour une marque de véhicules pendant 10 ans et qui changent de marque après être devenus experts : le temps d'adaptation est particulièrement coûteux.

Avec les connaissances scolaires, les apprentissages sont non seulement explicites, mais ils requièrent un enseignement parce que la pratique délibérée ne peut pas être mise en œuvre. La connaissance scolaire étant non adaptative, elle impose donc cette double contrainte. On peut appeler apprentissage scolaire celui qui est mis en œuvre quand les élèves savent ce qu'ils apprennent, pourquoi ils vont l'apprendre alors que ce n'est pas eux qui l'ont décidé, comment ils l'apprennent, et quand cet apprentissage est régulé par un enseignant. Ainsi, les processus d'apprentissage mis en œuvre lors des apprentissages scolaires subissent des contraintes très différentes des apprentissages adaptatifs. Mais les processus d'apprentissage sont les mêmes (ils sont présentés ci-dessus dans ce chapitre, à la partie 1.1.4).

Conséquence de cette quatrième contrainte : les processus d'apprentissage scolaires et adaptatifs sont les mêmes ; à l'opposé, les conditions de mise en œuvre de ces apprentissages sont tout à fait spécifiques à l'école.

2.1.5. 5^e contrainte : les situations d'apprentissage

Les apprentissages adaptatifs se réalisent en immersion et de manière extrêmement rapide. Mais quand on regarde de plus près ce

que font les mammifères sociaux au cours de leur enfance, on constate qu'ils font bien plus que cela : ils jouent, ils explorent leur environnement et ils interagissent entre pairs. Ces trois activités sont assez systématiquement présentes et cette omniprésence a conduit les chercheurs du domaine à émettre l'hypothèse d'une utilité de ces activités : elles permettraient d'apprendre, elles seraient les moteurs des apprentissages adaptatifs (Geary, 2008). Ces espèces auraient ainsi évolué pour que ces activités soient une source de plaisir ou de motivation. S'engageant par plaisir dans cette activité, les mammifères sociaux maximisent la fonction d'apprentissage adaptative. Devenant adultes dans un environnement stable, ils joueront moins, exploreront moins, interagiront moins... sauf pour se nourrir et se reproduire.

Les apprentissages scolaires, nous venons de le voir, sont très différents. Ils sont beaucoup plus lents et fondés sur la mise en œuvre de tâches comme la résolution de problèmes, la lecture de textes, la recherche documentaire, la préparation d'exposés, ou même le simple fait d'écouter un enseignant qui explique quelque chose.

Les pédagogies nouvelles, depuis plusieurs siècles, tentent de réutiliser dans la classe les moteurs des apprentissages adaptatifs : le jeu, l'exploration et les interactions entre pairs. C'est sans doute une très bonne idée, tant que cela ne se traduit pas par une trop grande augmentation de l'exigence cognitive de la tâche, c'est-à-dire tant que cela ne se transforme pas en une « pédagogie pour bons élèves », qui oublie l'importance du guidage (Kirschner, Sweller & Clark, 2006). De la même manière, quand on oublie la différence entre les apprentissages scolaires et non scolaires, on peut laisser certaines tâches et connaissances scolaires dans un état implicite, confiant aux élèves le soin de deviner ce qu'il y a à faire ou à apprendre, souvent au détriment des élèves les plus fragiles (Bautier & Rayou, 2009).

Conséquence de cette cinquième contrainte : les situations d'apprentissage scolaires sont très différentes des apprentissages adaptatifs.

2.1.6. 6^e contrainte : l'importance de la motivation

Les apprentissages adaptatifs ne sont pas concernés par la motivation : il n'est pas besoin d'être motivé pour apprendre sa langue maternelle ou la reconnaissance des visages. En revanche, avec les apprentissages scolaires, à cause du déficit d'utilité perçue évoqué plus haut, mais aussi à cause de l'exigence attentionnelle des apprentissages et des tâches, la motivation joue un rôle essentiel. Ce rôle est tellement important, le ratio utilité perçue/coût attentionnel et temporel est tellement défavorable, que la motivation des élèves a souvent besoin d'être soutenue par un ou plusieurs tiers (parents, enseignants, camarades).

La motivation pour les apprentissages scolaires ne concerne pas que la plus ou moins grande croyance des élèves dans l'utilité de l'apprentissage visé. Elle concerne aussi leur croyance dans leur capacité à réussir la tâche scolaire et l'apprentissage. Les aspects motivationnels et métacognitifs de l'apprentissage sont très intimement liés.

Conséquence de cette sixième contrainte : ici et maintenant, il est *a priori* tout à fait rationnel de ne pas être motivé par les apprentissages scolaires.

2.1.7. 7^e contrainte : la différence entre le but et la tâche d'apprentissage

Lors d'un apprentissage adaptatif, les individus font ce qu'ils apprennent et apprennent ce qu'ils font. C'est en parlant et en écoutant que les enfants apprennent à parler, en forgeant qu'on

devient forgeron, etc. Pendant longtemps, on a cru que l'action dans l'environnement était une condition nécessaire à l'apprentissage, mais on sait depuis une vingtaine d'années que ces apprentissages fonctionnent aussi de façon passive. Le simple fait d'être dans un environnement permet d'apprendre des régularités de cet environnement. Par exemple, si on présente une liste de mots non connus à des bébés de 6 mois, ces mots étant prononcés de façon correcte en majorité, mais certains étant prononcés avec un déplacement de l'accent tonique, on voit le bébé réagir physiquement : manifestement, quelque chose ne va pas (Curtin *et al.*, 2005). Alors que les bébés de cet âge sont encore très loin de produire des mots dans leur langue maternelle, ils ont manifestement appris des caractéristiques phonologiques de leur langue, notamment quand celle-ci contient un accent tonique de mot non seulement marqué mais régulier (italien ou espagnol par exemple).

Des travaux plus récents, moins répliqués, à propos des pleurs ou des cris des bébés, semblent montrer que de tels apprentissages pourraient commencer *in utero*. Mampe *et al.* (2009) ont enregistré, en France et en Allemagne, des cris de bébés âgés de trois jours. Ces pleurs sont différents. Le plus souvent, les bébés français produisent des cris « descendants » (le volume sonore est plus haut au début) tandis que les bébés allemands produisent des cris « ascendants » (le volume sonore est plus haut à la fin). L'environnement sonore intra-utérin, et particulièrement l'environnement phonologique, présente des régularités qui seraient apprises par les bébés avant leur naissance. Ce qui conduit Ullal-Gupta et ses collègues (2013) à écrire : « Le cerveau musical est façonné par son environnement sonore au cours du développement. L'expérience auditive ne commence pas à la naissance, mais au cours des mois qui précèdent la naissance. »

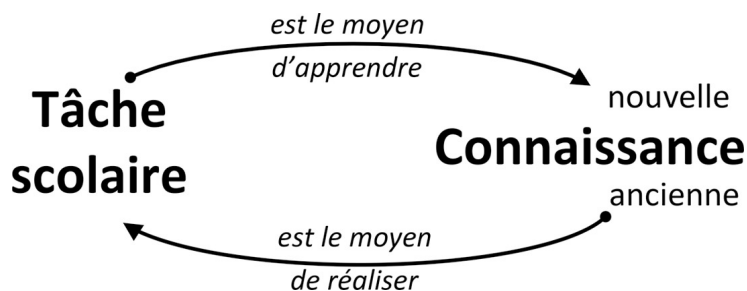
Avec les apprentissages scolaires, comme nous venons de le souligner, un tel apprentissage adaptatif ne fonctionne pas. Il semble que, dans l'immense majorité des cas, les apprentissages scolaires soient fondés sur la distinction entre ce que l'on fait (la tâche) et pourquoi on le fait (l'apprentissage d'une connaissance). Par exemple, en Mathématiques, un enseignant donne un problème à résoudre à ses élèves, non pas dans le but qu'ils résolvent le problème, mais pour qu'à travers la résolution de ce problème, ils comprennent telle notion, identifient telle propriété, mettent en œuvre telle procédure. En Français, l'enseignant va donner un texte à lire non pas pour que les élèves le lisent mais pour que, au cours de la lecture, ils comprennent la situation décrite par le texte, la notion abordée, l'émotion que l'auteur a voulu susciter. Il est donc important que les élèves maîtrisent la mise en œuvre de la tâche pour que celle-ci, qui n'est qu'un moyen, ne représente pas un obstacle.

Conséquence de cette septième contrainte : les élèves doivent apprendre à maîtriser la mise en œuvre des tâches scolaires, et non pas « apprendre à apprendre ». Dans la partie suivante, nous allons nous arrêter sur ce dernier point : les apprentissages scolaires reposent sur la réalisation de tâches scolaires.

2.2. Les tâches scolaires

Nous avons évoqué précédemment la relation de dépendance entre les tâches et les connaissances en apprentissage naturel.

Figure 10 : Modèle d'interaction Connaissance-Tâche à l'école



La conséquence logique de cette dépendance est que les tâches scolaires sont parfois utilisées pour mobiliser et mettre en œuvre des connaissances scolaires anciennes, d'autres fois pour apprendre des connaissances nouvelles (cf. figure 10).

2.2.1. Les tâches d'utilisation de connaissances

Ces tâches ont plusieurs fonctions, dont deux sont majeures : le renforcement des connaissances et l'évaluation.

Le renforcement des connaissances correspond aux cas où l'on refait ce que l'on sait déjà faire, on réexplique ce que l'on a compris, on récite ce que l'on sait par cœur, etc. Cette première fonction, sans doute découverte très tôt (dès l'Antiquité) par les enseignants, étayée par les résultats d'Ebbinghaus dès la fin du XIX^e siècle avec sa « courbe de l'apprentissage », repose sur une « loi » que l'on pourrait formuler aujourd'hui de la manière suivante : si vous voulez que la connaissance apprise soit disponible, alors il faut l'utiliser souvent.

L'évaluation des connaissances correspond aux cas où l'on veut vérifier qu'un élève maîtrise bien une connaissance. Comme l'ont bien montré les travaux sur le *testing effect* au cours de ces vingt dernières années, ces tâches d'évaluation jouent un rôle tout à fait majeur dans les apprentissages, car non seulement elles permettent à l'enseignant

d'identifier les acquis et les lacunes en termes de connaissances, mais elles informent l'élève sur ces acquis et ces lacunes. Elles le conduisent à apprendre plus la fois suivante, elles améliorent l'organisation des connaissances et le transfert des connaissances, elles permettent de mobiliser des connaissances qui n'ont pas été préalablement évaluées. Elles améliorent le contrôle métacognitif, elles préviennent l'interférence avec les contenus préalables quand on aborde un nouveau contenu, elles encouragent les élèves à apprendre (Roediger, Putnam & Smith, 2011).

Voici donc quelques exemples de tâches d'utilisation des connaissances :

les tâches de mémoire littérale, où il faut restituer exactement une connaissance apprise, selon une forme spécifique ;

les tâches d'explication ou d'auto-explication où il faut expliquer, généralement à un autre élève, ou au professeur, ce que l'on a compris, avec ses propres mots, son propre schéma ;

les tâches d'exécution, où il faut faire ce que l'on sait déjà faire au cours de la réalisation d'une tâche analogue à celle qui a été utilisée lors de l'apprentissage ;

les tâches de transfert proche où il faut utiliser une connaissance apprise pour réaliser une tâche nouvelle, typiquement résoudre un problème ; nous parlons bien là de transfert proche, la connaissance va être utilisée telle quelle, la tâche à réaliser présentant une proximité importante avec la tâche utilisée lors de l'apprentissage.

2.2.2. Les tâches pour apprendre

Les tâches pour apprendre sont fondées sur les tâches d'utilisation de connaissances. Il est en effet impossible de réaliser une tâche si l'on ne dispose d'aucune connaissance pour cela (imaginez par

exemple que l'on vous demande de traduire un poète japonais ayant vécu il y a 400 ans ou que l'on vous demande de faire décoller un A380 : il est probable qu'au moins une de ces deux tâches soit totalement irréalisable pour vous). Ce qui caractérise les tâches pour apprendre, c'est qu'elles vont permettre la modification d'une connaissance antérieure.

Dans l'ouvrage que nous avons publié en 2012, nous avons dressé la liste des principales tâches d'apprentissage :

les tâches d'étude : écouter un cours, lire un texte, lire un texte procédural, traiter un document multimédia, étudier un cas ;

les tâches de résolution de problème : problèmes « ordinaires », problèmes mal définis (projets), problèmes ouverts, exercices, problèmes résolus, diagnostic et détection d'erreurs ;

les tâches de recherche d'information : préparer un exposé, réaliser une enquête documentaire ;

les tâches de dialogue : la co-élaboration, l'aide, le questionnement ;

les tâches de production : rédaction, dissertation, conception et réalisation d'un objet technique ;

les jeux ;

toutes les combinaisons entre les tâches précédentes.

La littérature est très riche sur le point suivant : quand un élève ne sait pas réaliser telle tâche, alors celle-ci fonctionne comme un obstacle. Toutes les ressources dévolues à la mise en œuvre de la tâche ne seront pas disponibles pour apprendre et, plus encore, si la tâche n'est pas réalisée, alors il n'y aura pas d'apprentissage (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). C'est aussi simple que cela : les élèves en difficulté scolaire sont souvent en difficulté pour réaliser les tâches

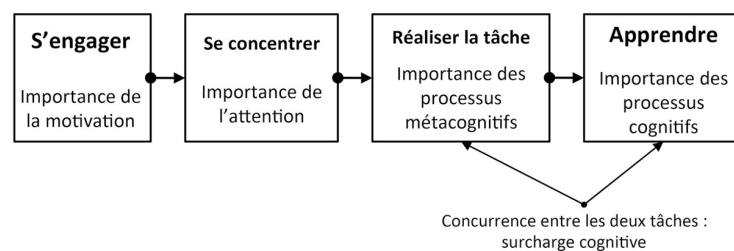
scolaires. Alors que ces dernières ne sont que des moyens, le défaut de moyen empêche l'atteinte du but.

La littérature empirique montre aussi de façon très cohérente que quand un élève en difficulté apprend le mode opératoire de telle ou telle tâche scolaire, alors ce dernier progresse notablement. Par exemple, la tâche « lire un texte pour le comprendre », qui peut sembler si naturelle à un élève qui sait lire, bénéficie fortement d'un enseignement de la tâche, comme on le sait depuis longtemps (Goodman, Burke, & Sherman, 1980) et ce dès le plus jeune âge, comme on le sait depuis peu (van den Broek, Kendeou, Lousberg, & Visser, 2017).

2.3. Les conditions de l'apprentissage à l'école

Les contraintes spécifiques des apprentissages scolaires que nous venons de présenter permettent d'envisager que pour réussir à apprendre à l'école, un certain nombre de conditions doivent être remplies. Nous allons maintenant présenter ces conditions (cf. figure 11).

Figure 11 : Schéma des conditions de l'apprentissage à l'école



2.3.1. Les conditions d'engagement

L'engagement traduit deux notions : le fait de se donner le but d'avoir envie de faire quelque chose (la motivation) et l'intensité de l'effort cognitif que l'on produit pour atteindre ce but (l'engagement cognitif).

2.3.1.1. Le processus de motivation

La motivation est un processus qui relie les buts d'une personne aux moyens qu'elle engage pour atteindre ces buts.

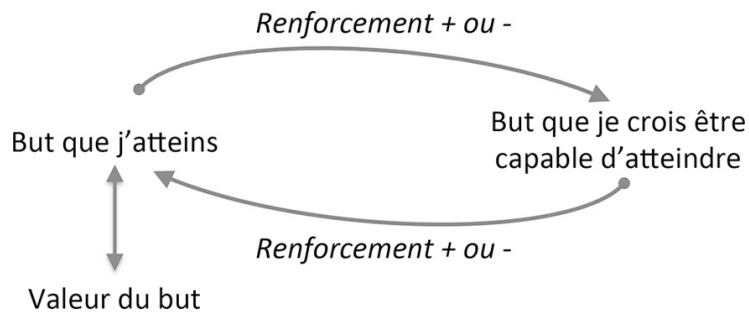
Les buts (les motifs) d'une personne sont évidemment très divers, ils peuvent venir de la personne elle-même (buts personnels) ou d'autrui (buts assignés), ils peuvent être dirigés vers la personne elle-même (buts d'épanouissement, recherche de plaisir, par ex.) ou vers autrui (buts de comparaison, volonté de faire plaisir par ex.). À l'école, on peut caractériser les buts d'apprentissage exactement de la même manière (Cosnefroy, Nurra & Dessus, 2016) : l'élève s'engage dans un apprentissage parce qu'il ou elle l'a décidé ou parce que son professeur le lui a demandé, il ou elle s'engage pour lui-même (par plaisir, pour progresser par ex.) ou pour autrui (pour se comparer à un camarade, pour faire plaisir à ses parents par ex.). Comme nous l'avons largement évoqué plus haut, les apprentissages scolaires se caractérisent aussi par le fait qu'ils ne correspondent généralement pas à un gain immédiat dans la vie courante : l'utilité des connaissances scolaires est souvent décalée dans le temps. La valeur des buts d'apprentissage est largement affaire de convictions personnelles et sociales, de croyances : une personne croit fermement qu'il est utile pour elle d'apprendre tel théorème, tandis que telle autre est persuadée que « les maths, ça ne sert à rien ».

Les moyens qu'une personne engage pour atteindre ses buts sont bien entendu fonction des connaissances et des compétences de cette personne : celle-ci ne va pas s'engager pour atteindre un but qui n'est absolument pas à sa portée. Mais les travaux de recherche dans le domaine montrent avec constance depuis une cinquantaine d'années que ce sont surtout les croyances des individus à propos de leurs connaissances et compétences qui déterminent leur décision de s'engager ou pas pour atteindre tel but. Leurs croyances en la matière sont souvent le résultat de leurs expériences antérieures de réussite et d'échec dans le domaine concerné par le but. Ces croyances sont aussi fortement influencées par les discours d'autrui à propos des réussites et des échecs antérieurs.

En première approximation, on pourrait donc croire que la décision de s'engager pour atteindre un but relève du calcul rationnel : (a) quelle est la valeur de ce but pour moi ? (b) combien d'efforts, de temps, l'activité pour atteindre ce but va-t-elle me coûter ? (c) quelle est la probabilité pour que j'atteigne ce but ? Mon engagement = $(a/b) \times c$.

Mais les travaux dans le domaine montrent que ce calcul rationnel est « biaisé » ou en tout cas « modulé » par les croyances sur soi. En seconde approximation, on pourrait donc représenter de la manière suivante (figure 12) le processus de base de la motivation :

Figure 12 : Schéma du processus de base de la motivation

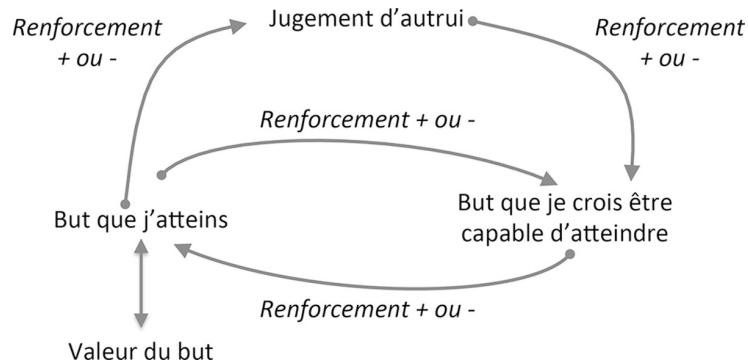


L'expérience répétée de réussite dans l'atteinte de tel but va alors souvent produire un renforcement de l'engagement de l'individu pour ce but.

A contrario, l'expérience répétée d'échecs à atteindre tel but va alors souvent produire un désengagement de l'individu pour ce but, soit en baissant la valeur de ce but (« les maths, ça ne sert à rien »), soit en développant un fort sentiment d'incompétence, rendant tout effort inutile (« je suis tellement nul en maths que ce n'est même pas la peine d'essayer de résoudre ce problème »).

Les travaux ont aussi montré l'importance des autrui(s) dans ce processus (cf. figure 13). Me voyant réussir une tâche, un professeur va peut-être m'attribuer la compétence à réussir cette tâche. Quand un professeur croit que je suis compétent pour atteindre tel but, alors cela renforce ma croyance dans ma capacité à réussir. Cela renforce alors mon engagement pour atteindre ce type de buts : soit pour le plaisir de montrer ces réussites à autrui, soit par une satisfaction plus personnelle à me voir progresser, à mieux comprendre les choses, à approfondir ma connaissance d'un domaine. Réciproquement, si je ne réussis pas à atteindre tel but, non seulement je vais avoir tendance à croire que je n'en suis pas capable, mais autrui peut faire de même. La valeur du but va diminuer et mon engagement aussi.

Figure 13 : Schéma du processus de la motivation



S'il ne suffit pas d'être motivé pour apprendre, la motivation a un effet très positif sur les apprentissages (Ryan & Deci, 2000 ; Ellis, 2008).

Enfin, contrairement à ce que l'on a cru pendant longtemps, il semble aujourd'hui que la récompense fournie par autrui ait peu d'effet sur le processus de motivation. Ce n'est pas tant le fait de « donner une bonne note » à un élève qui agirait sur sa motivation, mais plutôt le fait de lui donner un retour qui lui montre qu'il est capable d'atteindre tel ou tel but (Hattie & Timperley, 2007). L'engagement dans des actions dont les conséquences sont désirables (récompense par exemple) est fondamentalement lié à l'atteinte d'un résultat séparable de l'action (Legault, 2016).

2.3.1.2. Les niveaux d'engagement

Quand les conditions de motivation sont remplies, il est aussi nécessaire que l'élève soit engagé cognitivement dans la tâche, par exemple en se posant des questions, en essayant de comprendre, en produisant des hypothèses, des arguments et des contre-arguments, etc. La littérature dans le domaine peine à montrer que telle tâche est plus efficace que telle autre : à chaque fois, cela

dépend de l'apprentissage visé et de l'avancement des élèves. Chi et Wylie (2014) ont récemment proposé de distinguer les tâches scolaires et les niveaux d'engagement des apprenants dans la tâche. Elles définissent quatre de ces niveaux :

Passif : lorsque les élèves sont focalisés sur et reçoivent des explications, ils leur accordent de l'attention.

Actif : lorsque les élèves manipulent sélectivement et physiquement les supports d'apprentissage.

Constructif : lorsque les élèves génèrent de l'information au-delà de ce qui a été présenté (ils comprennent plus que ce qu'on leur explique par exemple).

Interactif : lorsque deux (ou plus) élèves collaborent à travers un dialogue à une co-construction.

Les niveaux d'engagement de Chi et Wylie constituent une catégorisation de ce que nous avons appelé les moteurs des apprentissages ci-dessus, quand nous parlons des apprentissages primaires adaptatifs. À partir d'une analyse de la littérature empirique, ces auteures montrent que chaque fois que tout est comparable (même connaissance à apprendre, même tâche, mêmes apprenants), alors il est possible de classer l'efficacité des modes d'activité : passif < actif < génératif < interactif. Ainsi, une même tâche, comme « lire un texte », peut être réalisée de manière plus ou moins engageante : Juste lire, lire à haute voix < Souligner, surligner, résumer avec des copier-coller < Fabriquer des tableaux, des schémas, résumer avec ses propres mots < Élaborer un résumé commun, mettre en discussion les schémas de chacun. Cette plus grande efficacité et ce plus grand engagement dans la tâche s'accompagnent d'une plus grande exigence : la tâche est plus longue

à réaliser, elle est moins à la portée des élèves ayant le moins de connaissances, elle nécessite plus d'accompagnement.

2.3.2. Les conditions d'attention

Un élève engagé dans l'apprentissage pourra consacrer ses ressources attentionnelles à cet apprentissage. Pour autant, il n'est pas certain que toutes ses ressources attentionnelles soient effectivement dévolues à l'apprentissage. Si la tâche représente un coût cognitif trop élevé, toutes les ressources attentionnelles seront dévolues à la réalisation de la tâche, et il n'en restera plus pour apprendre, pour modifier les connaissances. De même, si des informations inutiles à l'apprentissage viennent consommer des ressources attentionnelles, cela représentera des ressources en moins pour apprendre.

Pour que les élèves puissent apprendre, il est donc nécessaire que leurs ressources attentionnelles soient mobilisées de façon optimale : non seulement que le maximum de ressources soit engagé, mais que ces ressources soient dévolues à l'apprentissage lui-même et pas à autre chose.

2.3.3. Les conditions métacognitives

Comme nous l'avons indiqué plus haut, les apprentissages scolaires se caractérisent par le fait que l'on peut presque toujours distinguer le but d'apprentissage (la connaissance scolaire) et le moyen d'apprendre (la tâche scolaire). Les travaux consacrés à la façon d'enseigner le mode opératoire des tâches scolaires (voir la synthèse d'Hacker, Dunlosky & Graesser, 2009) ont permis de renoncer à l'idée que l'on pouvait « apprendre à apprendre » puisque de façon adaptative tous les animaux, dont les humains, apprennent

très bien. Ce que l'on peut enseigner dans ce domaine concerne la mise en œuvre des tâches spécifiquement scolaires.

La troisième condition de réussite des apprentissages est donc que la réalisation de la tâche ne fasse pas obstacle à l'apprentissage par déficit de maîtrise du mode opératoire de cette tâche.

2.3.4. Les conditions cognitives

Pour qu'un élève apprenne, il est nécessaire qu'il dispose de ressources cognitives pour apprendre. Nous venons de voir les trois principales conditions de cette disponibilité. Il faut ajouter pour finir que les processus d'apprentissage mis en œuvre doivent être pertinents, i.e. qu'ils correspondent à la connaissance à apprendre. Par exemple, si un élève mémorise une définition ou le résumé d'une leçon alors que l'enjeu est de le comprendre, son engagement dans l'apprentissage sera en partie vain. De très nombreux travaux montrent que ces malentendus sont très fréquents en classe (Bautier & Rayou, 2009, 2013).

3. UN OUTIL DE FORMALISATION DE L'APPRENTISSAGE SCOLAIRE

Afin de mieux définir les conditions cognitives de l'apprentissage à l'École, nous proposons de caractériser l'apprentissage scolaire en termes d'objectif d'apprentissage et de moyen pour l'atteindre (c'est-à-dire de processus d'apprentissage).

3.1. Une formalisation des objectifs d'apprentissage scolaire

Comme nous l'avons proposé, les connaissances K et les tâches T sont fonctionnellement indissociables. La tâche est à la fois le moyen d'apprendre des connaissances et ce qui peut être réalisé avec des connaissances. Cela veut dire que tout objectif d'apprentissage peut être décrit comme un couple {tâche T ; connaissance K } ou, à plus long terme, comme un ensemble de couples {(tâche₁ ; connaissance₁) ; (tâche₁ ; connaissance₂) ; (tâche₂ ; connaissance₂)...}.

Aussi, un objectif d'apprentissage à caractère déclaratif, c'est-à-dire utile pour comprendre le monde, sera décrit par un couple (connaissance K_d ; tâche $T_{\text{comprendre}}$). Un objectif d'apprentissage à caractère procédural, c'est-à-dire utile pour agir sur le monde, sera décrit par un couple (connaissance K_p ; tâche T_{agir}).

Cependant, on peut « orienter » la description d'un objectif d'apprentissage (cf. figure 14) :

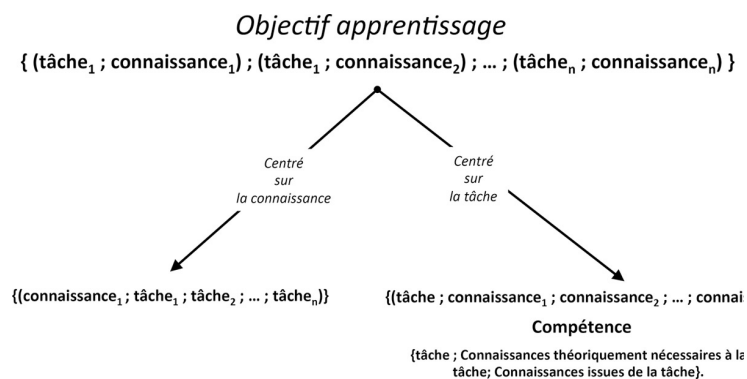
Quand on centre la description de l'objectif sur la connaissance, cela veut dire que l'enjeu d'apprentissage réside dans la description de la connaissance elle-même (son contenu, son format) mais aussi du domaine d'utilisation de cette connaissance, c'est-à-dire de l'ensemble des tâches qu'elle permet de réaliser. On décrit donc un ensemble {(connaissance ; tâche₁ ; tâche₂ ; ... ; tâche_n)} ou encore {(K_x ; T_{x1} ; T_{x2} ; ... ; T_{xn})}.

Quand on centre la description de l'objectif sur la tâche, cela veut dire que l'enjeu d'apprentissage réside dans la description de la tâche elle-même (son but, l'environnement concerné) mais aussi sur l'ensemble des connaissances nécessaires à sa réalisation. Soit un

ensemble $\{(t\grave{a}che ; connaissance_1 ; connaissance_2 ; \dots ; connaissance_n)\}$ ou encore $\{(T_x ; K_{x1} ; K_{x2} ; \dots ; K_{xn})\}$.

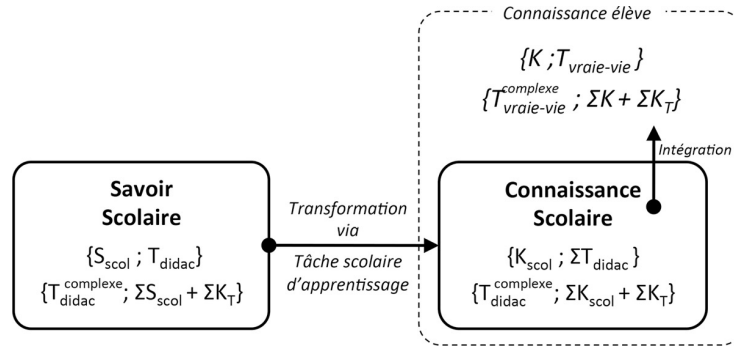
Dans le cas de la compétence, on peut décrire l'objectif comme l'ensemble $\{t\grave{a}che ; connaissances théoriquement nécessaires à la tâche \& connaissances issues de la t  che\}$ ou encore $\{(T_x ; \Sigma K_{x1} ; K_{Tx})\}$.

Figure 14 : Typologie des objectifs d'apprentissage à l'  cole



Dès lors, nous proposons de décrire l'apprentissage à l'  cole comme un processus d'enrichissement de la connaissance de l'élève. Comme l'illustre la figure 15, ce processus se caractérise par la transformation d'un savoir scolaire (S_{scol}) en connaissance scolaire (K_{scol} ou $T_{didac}^{complexe}$) grâce à des tâches scolaires d'apprentissage. (Ce qui est notable, c'est la relation d'isomorphisme qu'entretient la connaissance scolaire avec le savoir scolaire.)

Figure 15 : Processus de l'Acte d'APPRENDRE à l'école



Les connaissances scolaires seront ensuite (ou pas) intégrées, tout ou en partie, aux connaissances de la « vraie vie », celles acquises en dehors de l'École. Si l'intégration ne se produit pas, alors la connaissance scolaire reste étrangère, *i.e.* juxtaposée, à la connaissance de la « vraie vie ». Par exemple, pour un adolescent, la lecture est une connaissance scolaire qu'il mobilise naturellement dans la « vraie vie » ; ce dont, selon nous, ne peut se prévaloir le théorème de Thalès.

3.2. Une matrice des formats et processus d'apprentissage scolaire

Si apprendre c'est modifier des connaissances, alors il est possible de décrire différents processus de l'apprentissage, qui correspondent à des objectifs d'apprentissage différents.

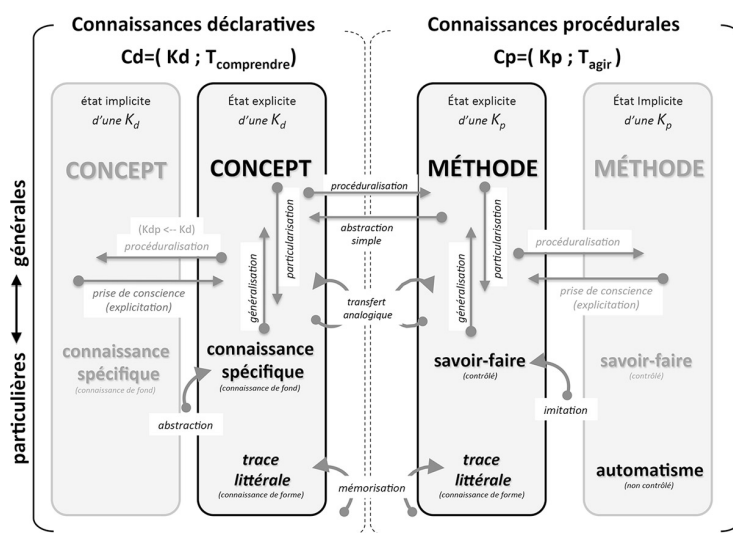
Ces objectifs d'apprentissage pourront concerner des connaissances déclaratives, utiles pour comprendre le monde (on les note : $C_d = (\text{connaissance } K_d ; \text{tâche } T_{\text{comprendre}})$) et des connaissances procédurales, nécessaires pour agir sur le monde (on les note $C_p = (\text{connaissance } K_p ; \text{tâche } T_{\text{agir}})$).

Comme nous l'avons déjà écrit, il nous semble important de distinguer le caractère implicite ou explicite d'une connaissance dans un contexte scolaire. L'état explicite d'une connaissance est la référence commune et nécessaire entre l'élève et l'enseignant.

Tout en convoquant les processus d'apprentissage en milieu naturel (décrits précédemment), nous avons voulu proposer une caractérisation de l'apprentissage, dans un contexte scolaire, qui soit avant tout un outil d'aide à la conception de situations d'enseignement-apprentissage. Pour des raisons (de clarté) fonctionnelles, nous avons préféré adopter un vocabulaire plus univoque.

Notre proposition prend la forme d'une matrice (figure 16) qui distingue deux grandes catégories de processus d'apprentissage à l'école : ceux spécifiques à la transformation des connaissances explicites entre elles et ceux agissant sur la transformation du caractère explicite ou implicite d'une connaissance.

Figure 16 : Matrice des formats et processus d'apprentissage à l'école



3.2.1. Processus d'apprentissage transformant des connaissances explicites

On y trouve six processus que sont « la généralisation », « la particularisation », « le transfert analogique », « la procéduralisation », « l'abstraction (simple) », et l'« imitation ».

La généralisation correspond au processus d'élaboration d'une connaissance générale à partir de connaissances particulières. Par exemple, élaborer le concept de polygone à partir des concepts de triangle, rectangle, hexagone.

La particularisation est le processus inverse.

Le transfert analogique correspond à l'élaboration d'une connaissance d'un niveau de généralité à partir d'une autre connaissance de même niveau de généralité. Par exemple, élaborer une procédure d'utilisation d'un logiciel de traitement de texte à partir de la procédure connue d'un autre logiciel de traitement de texte.

La procéduralisation est la transformation d'une connaissance déclarative en une connaissance procédurale. Par exemple, transformer le concept de dissertation en démarche explicite d'élaboration d'une dissertation. Il renvoie au stade cognitif de la théorie ACT (*Adaptative Character of Thought*) d'Anderson (1983).

Le processus inverse s'appelle l'**abstraction simple**. Il consiste à caractériser le résultat de l'action (Piaget, 1974). Par exemple, la mayonnaise est le résultat d'un mélange (actions) d'ingrédients.

L'**abstraction** est une double opération mentale qui considère à part un ou plusieurs éléments d'une perception en négligeant les autres (Barth, 2011) ; autrement dit, c'est l'isolation d'attributs spécifiques, dans le sens d'être en mesure de les considérer indépendamment d'autres attributs. Elle est adossée à une opération de connexions de

ces attributs isolés (Jeannotte, 2015). Ce processus se distingue de celui de la généralisation en ce sens qu'il ne propose pas d'ascension : la connaissance produite est singulière. Par exemple, élaborer une connaissance sur la Révolution française à partir de faits historiques.

L'imitation est un processus spécifique à l'élaboration de savoir-faire. Il repose sur la reproduction d'une action à partir de son observation.

3.2.2. Processus d'apprentissage transformant le caractère implicite ou explicite d'une connaissance

Le passage entre ces deux états mobilise des processus d'apprentissage spécifiques : la prise de conscience pour la transformation d'une connaissance implicite en connaissance explicite et la procéduralisation pour la transformation inverse.

La prise de conscience (ou explicitation) correspond à la mise en mots de connaissance implicite.

La procéduralisation dont on parle ici correspond aux deux derniers stades de la théorie ACT d'Anderson (1983) : le stade associatif (coexistence de connaissance explicite et d'actions) et le stade d'automatisation (les procédures deviennent de plus en plus rapides, voire automatisées)

Pour les connaissances déclaratives, le processus de procéduralisation vise à « mettre en action » la connaissance déclarative (Tardif, 1992). Par exemple, comment utiliser le concept de pentagone ou, autrement dit, comment reconnaître un pentagone quand j'en vois un. Il demande à élaborer une démarche d'utilisation de la connaissance déclarative, c'est-à-dire transformer une connaissance déclarative K_d , en une connaissance procédurale K_{dp} : $C_d(K_d ; T) = > C_d(K_{dp} ; T)$.

Chapitre 2

2. Théorie de l'acte d'enseigner

1. **Un modèle de l'acte d'enseigner**
2. **Les processus de l'acte d'enseigner**
3. **Des processus d'enseignement emblématiques**
4. **Les tâches d'enseignement-apprentissage**

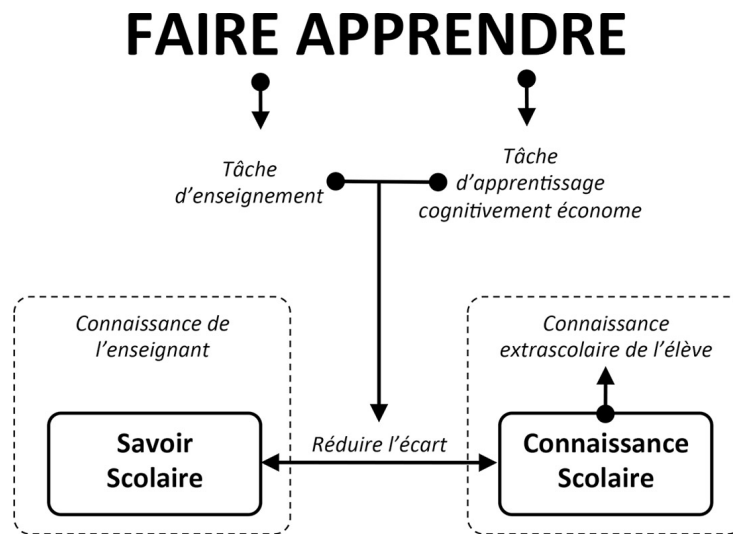
Ce deuxième volet de notre théorie de l'ingénierie pédagogique a pour objet la présentation d'une théorie descriptive de l'acte d'enseigner fondée sur notre théorie de l'« acte d'apprendre à l'école » : c'est-à-dire « comment enseigner pour favoriser tel type d'apprentissage ». Nous commençons par caractériser l'acte d'enseigner en termes de principes pour ensuite en préciser les composantes : les processus et les tâches d'enseignement.

1. UN MODÈLE DE L'ACTE D'ENSEIGNER

Les écoles ont pour principale fonction de permettre aux élèves d'apprendre des connaissances et ceci pour de futures tâches dans de futurs environnements. Cependant, l'école pose ses conditions, ses contraintes : l'élève ne dispose pas du même temps pour apprendre ni de la manière de s'y prendre pour acquérir le savoir que lorsqu'il apprend en dehors de l'école. Mais, l'école doit aussi les assumer : mettre l'apprentissage à la portée de l'élève.

En tant qu'expert (celui qui sait comment on apprend des savoirs scolaires), l'enseignant se doit d'aider l'élève, ce novice, à apprendre. Autrement dit, enseigner, c'est-à-dire « faire apprendre », c'est associer la part de travail de l'enseignant (le « faire ») à la part de travail de l'élève (l'« apprendre ») dans une relation d'étayage maîtrisée par l'enseignant, expert de la tâche « apprendre à l'école ». Notre modèle est donc proche de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2011) : dans une classe l'enjeu est que, ensemble, l'enseignant réussisse à enseigner et les élèves réussissent à apprendre. L'objectif de l'acte d'enseigner est d'aider l'élève à réduire l'écart entre sa propre connaissance et le savoir scolaire (cf. figure 17). L'enseignant accomplit cet acte avec sa propre connaissance du savoir, ce qui rend la tâche plus délicate.

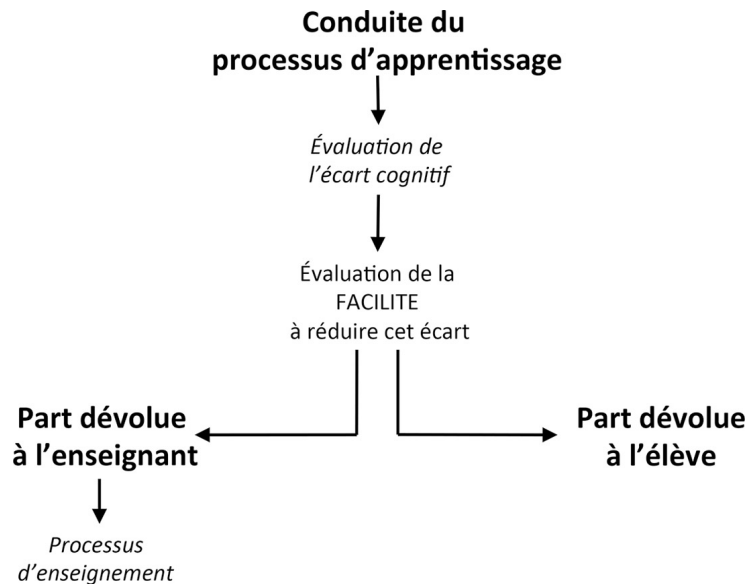
Figure 17 : Modèle de l'Acte d'enseigner



L'ensemble des tâches que chacun (enseignant ou élève) mène conjointement a pour enjeu l'apprentissage par l'élève. De ce point de vue, l'élève doit apprendre une certaine connaissance (que l'on peut caractériser notamment par son format, cf. chapitre précédent) grâce un processus d'apprentissage (cf. chapitre précédent) et à l'aide de moyens (notamment une tâche d'apprentissage et un support). Si on sait que l'on ne peut pas élaborer le format de connaissance à la place de l'élève, l'enseignant peut l'aider en « prenant à son compte » tout ou partie des processus d'apprentissage convoqués. Comme le soulignait Giordan (2006), « seul l'élève apprend ; mais il ne peut pas apprendre tout seul ».

Cette « prise à son compte » du processus d'apprentissage renvoie à la dévolution de la conduite du processus d'apprentissage, c'est-à-dire à la délégation à l'élève, par l'enseignant, du pouvoir d'apprendre. La « prise à son compte » par l'enseignant du processus d'apprentissage donne corps au processus d'enseignement (cf. figure 18).

Figure 18 : Principe de dévolution de la conduite d'un processus d'apprentissage



1.1. Le processus d'enseignement

Nous proposons de définir le processus d'enseignement comme « la prise à son compte » par l'enseignant du processus d'apprentissage. Tout comme le processus d'apprentissage régit la tâche d'apprentissage, le processus d'enseignement régit la tâche d'enseignement. Ce transfert de conduite de l'acte d'apprendre nous semble relever de trois principes : celui de dévolution, d'économie cognitive et d'étayage efficient.

1.1.1. Le principe de dévolution

Ce principe de dévolution du pouvoir d'apprendre est comparable à celui du pouvoir de déplacer un véhicule d'auto-école. Le moniteur d'auto-école est en capacité de conduire le véhicule depuis la place du passager (à l'avant). Il décide de laisser exécuter certaines tâches de conduite à l'apprenti-conducteur, comme orienter le véhicule, freiner,

accélérer... (tout en ayant le contrôle sur ces tâches) mais continue de « prendre à son compte » d'autres tâches, comme planifier le trajet, passer les vitesses ou s'adapter à une modification subite de l'environnement.

On peut imaginer une échelle de dévolution qui serait respectivement bornée par une dévolution maximale à l'élève (comme la résolution d'un problème mal défini, en totale autonomie) et une dévolution minimale à l'élève (comme écouter un exposé oral ou lire telle page d'un manuel scolaire). Une caractéristique intéressante de l'enseignement réside dans le fait que, même pour les situations où la dévolution est minimale, c'est-à-dire les cas où la situation est complètement gérée par l'enseignant, l'apprentissage dépend toujours strictement de l'engagement de l'élève dans la tâche.

Prenons l'exemple de l'apprentissage d'un concept général (comme celui de mammifère) à partir de concepts particuliers (comme ceux de vache, d'homme, de baleine ou encore de souris). On peut imaginer différents niveaux de dévolution (de prise à son compte) du processus d'apprentissage comme :

Une dévolution *a minima* pour laquelle l'enseignant prend à son compte le processus de conceptualisation par généralisation et propose à l'élève une tâche d'écoute de cours. Son exposé oral, soutenu par des diapositives, sera construit autour d'une rhétorique dirigée par un processus de comparaison et d'abstraction des caractéristiques définitoires du concept.

Une dévolution plus partagée où l'enseignant donne à l'élève des tâches d'études de cas en co-élaboration (travail de groupe suivi d'une séance plénière).

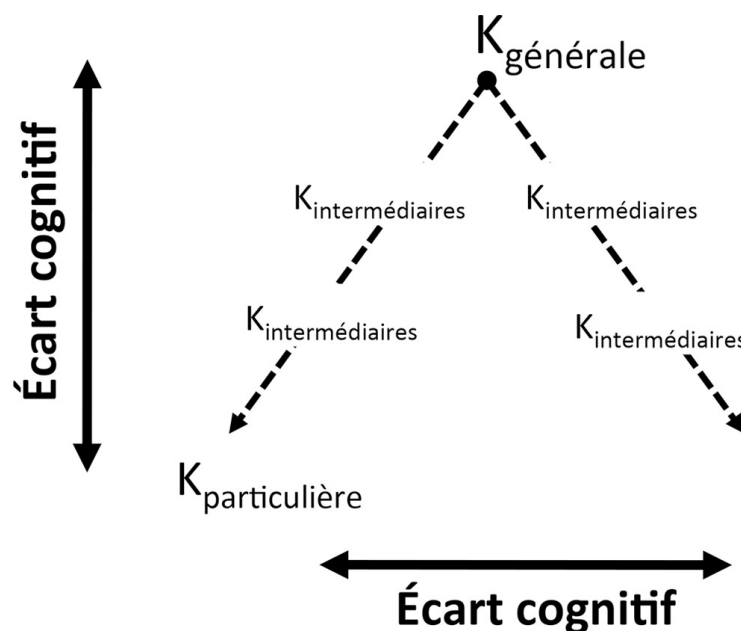
La dévolution est décidée par l'enseignant. Le positionnement du curseur sur l'échelle de la dévolution dépend (a) de l'écart cognitif

qui sépare la connaissance de l'élève de celle à atteindre et (b) de la facilité estimée avec laquelle l'élève semble en mesure de le réduire.

L'écart cognitif peut être dû :

au nombre de niveaux de généralité/abstraction qui séparent la connaissance visée de la connaissance de l'élève (cf. figure 19) ou encore le nombre de connaissances nouvelles à élaborer.

Figure 19 : illustration de l'écart cognitif



à l'applicabilité de la connaissance. Dans ce cas, l'écart cognitif exprime le caractère inutilisable d'un savoir. Il ne peut être mis en œuvre, car il ne peut être contextualisé. Mettre en œuvre une connaissance générale ($K_{générale}$) dans une situation concrète (particulière) nécessiterait de « passer » par les connaissances particulières ($K_{particulière}$). Ce processus de particularisation est coûteux, car il faut choisir la bonne connaissance particulière ou la construire

si elle n'existe pas. Ce qui est difficile, c'est de particulariser ; plus difficile que de généraliser.

Par exemple, en stratégie de jeu, en situation d'attaque, un principe de franchissement de la ligne adverse consiste à « ouvrir la porte ». Cette connaissance générale, appliquée au rugby signifie qu'il faut créer un espace dans la ligne de joueurs adverse, grâce à un effet de leurre. Ce dernier a pour but d'obliger un joueur à modifier la distance qui le sépare de ses voisins respectifs et ainsi laisser un espace plus important, dans lequel un joueur attaquant va pouvoir s'engouffrer. Cette connaissance ($K_{\text{intermédiaire}}$) prend la forme de savoir-faire technique (appelé combinaison de jeu) comme la célèbre « 89 inversée » ($K_{\text{particulière}}$). En situation de match, il est plus facile et rapide d'appliquer la connaissance particulière (la « 89 inversée ») que le principe général ($K_{\text{générale}}$) « ouvrir la porte ».

au niveau de complexité de la connaissance visée (Sweller, 2012), et notamment de sa nature concrète ou abstraite.

à la nature du processus d'apprentissage : l'induction présente plus de risque d'élaboration de connaissance erronée (phénomène d'assimilation oblitératrice) que la déduction. Le changement conceptuel s'avère extrêmement coûteux.

à la présence d'obstacles cognitifs (Villepoux, 1997).

1.1.2. Le principe d'économie cognitive

Selon nous, l'acte d'enseigner est aussi régi par un principe d'économie cognitive (en temps et en charge cognitive), inhérent au contexte de l'apprentissage scolaire.

En convoquant le concept d'économie, on pourrait définir l'économie cognitive comme le fait de bien administrer l'apprentissage de l'élève, c'est-à-dire lui faire consommer un

minimum de ressources cognitives en vue de réaliser un maximum de profits en termes de connaissance. En d'autres termes, l'économie cognitive sous-tend l'efficacité cognitive, c'est-à-dire la performance (apprendre, c'est-à-dire réduire l'écart entre savoir et connaissance) à un moindre coût cognitif (cf. figure 20).

Figure 20 : Expression de l'économie cognitive

$$\text{Economie cognitive} \rightarrow \text{Efficacité cognitive} = \frac{\text{Apprendre}}{\text{Coût cognitif}} = \frac{\text{Ecart Savoir-Connaissance}}{\text{Durée} + \text{Charge cognitive}}$$

On sait qu'apprendre à l'école nécessite du temps et des efforts (Schneider & Stern, 2010). Aussi, permettre à l'élève d'optimiser le coût cognitif implique de :

lui faire gagner du temps pour transformer le savoir en connaissance. Il s'agit de réduire le nombre d'éléments à mobiliser pour fabriquer de la cohérence. Par exemple, en recherchant et en convoquant les informations pertinentes définissant le savoir scolaire ou encore en proposant un parcours d'apprentissage pertinent pour transformer le savoir scolaire en connaissance scolaire. Cela relève de la rationalité (cf. chapitre 1).

l'engager cognitivement : exiger beaucoup de chaque apprenant, mais sans excès (Istance & Dumont, 2010). La solution à cette équation est conditionnée à une charge cognitive pertinente (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) : c'est-à-dire pour laquelle la charge cognitive inutile est minimisée et pour laquelle la charge cognitive utile est optimisée.

Il ne s'agit nullement ici d'entamer un débat, en apparence contradictoire, entre la théorie de la charge cognitive et la théorie des *desirable difficulties*. Nous souhaitons simplement préciser la

complémentarité et la convergence de ces deux théories : selon la première, on améliore l'apprentissage en réduisant les efforts cognitifs inutiles ; selon la seconde, on améliore l'apprentissage en augmentant les ressources cognitives que l'élève va mobiliser pour apprendre, c'est-à-dire en augmentant son engagement cognitif.

L'apprentissage à l'école n'est pas (toujours) agréable et facile. Il ne requiert pas uniquement des processus cognitifs, mais également des processus émotionnels, attentionnels et motivationnels. Le coût est donc pluriel : émotionnel, motivationnel, attentionnel et cognitif.

1.1.3. Étayage vs engagement cognitif

La dévolution relève de la responsabilité de l'enseignant-expert des apprentissages (celui qui sait comment on apprend des savoirs scolaires). Il lui revient de décider (a) de la nature du processus d'apprentissage et (b) à quelle hauteur il « prendra à son compte » la mise en œuvre du processus d'apprentissage.

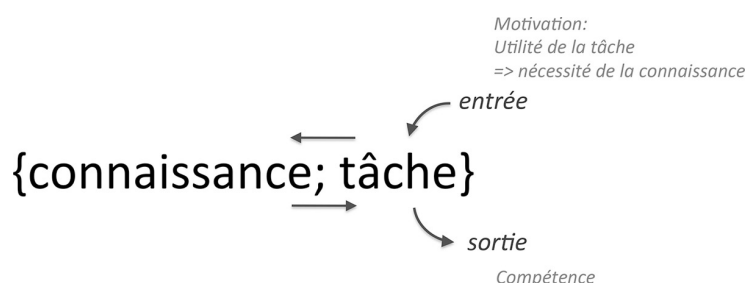
La fonction d'étayage de la tâche d'enseignement, ainsi induite, est conditionnée par le principe d'économie cognitive. Elle repose sur la recherche d'un équilibre entre engagement cognitif (Chi & Wyllie, 2014) et soutien du traitement cognitif (relevant d'une charge cognitive pertinente). L'étayage ne doit pas nuire à l'engagement cognitif ; le risque étant de mettre l'élève en sous-charge cognitive et de nuire à l'efficacité cognitive.

2. LES PROCESSUS DE L'ACTE D'ENSEIGNER

Comme nous l'avons défini dans notre théorie de l'acte d'apprendre, apprendre, c'est élaborer un couple {Connaissance K ;

Tâche T}. Dès lors, enseigner, c'est faire élaborer ce couple et lui donner du sens. Selon nous, cet enjeu participe de la dynamique d'un enseignement-apprentissage, à la fois comme source et comme finalité. Aussi, et comme l'illustre la figure 21, la conduite du processus d'élaboration du couple {Connaissance K ; Tâche T} peut relever d'une approche qui va de la connaissance K vers la tâche T ou inversement. Mais la dynamique sera enclenchée (motivation à apprendre) par l'utilité de la tâche T et/ou le besoin de la connaissance K pour la réaliser (en guise d'entrée), et maintenue par une perspective d'élaboration d'une compétence (en guise de sortie).

Figure 21 : Schéma de la dynamique d'enseignement-apprentissage



Cette dynamique d'enseignement peut être précisée à la lumière des quatre grandes catégories de processus caractérisant l'apprentissage scolaire que sont :

Le processus d'apprentissage (processus cognitif)

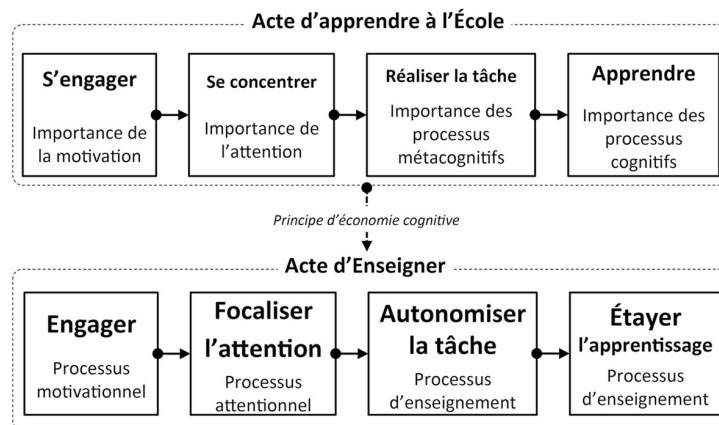
Le processus d'engagement (ou processus motivationnel)

Le processus attentionnel

Le processus de la réalisation de la tâche d'apprentissage (processus métacognitif)

Aussi, selon les principes définis précédemment, l'acte d'enseigner peut être décrit comme une approche intégrant ces quatre catégories de fonction cognitive (comme le décrit la figure 22).

Figure 22 : Fonctions cognitives de l'acte d'apprendre et de l'acte d'enseigner



L'intégration des quatre processus nécessite de penser les équilibres requis à chaque niveau pour atteindre l'apprentissage ciblé. Par exemple, la réalisation de la tâche et la réussite de l'apprentissage pourraient être en concurrence. Si la tâche est trop exigeante, si la tâche est trop difficile, l'élève peut complètement s'engager dans la tâche et cet engagement dans la tâche va se faire au détriment de l'apprentissage. C'est là que le principe d'économie cognitive prend sens et s'impose à l'enseignant.

Mais l'intégration de ces quatre processus de l'apprentissage scolaire permet aussi de dégager quatre fonctions de l'acte d'enseigner.

Engager l'élève dans l'apprentissage et la tâche d'apprentissage

C'est une des conséquences des contraintes de l'apprentissage scolaire : l'importance de la motivation. Il est *a priori* tout à fait

rationnel de ne pas être motivé par les apprentissages scolaires (comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les connaissances scolaires ne répondent pas aux besoins quotidiens immédiats des élèves). Réussir à engager les élèves, être passionnant constitue un enjeu majeur pour les enseignants.

L'acte d'enseigner se caractérise par la mise en œuvre de processus de motivation.

Ne pas disperser l'attention de l'élève

C'est une autre conséquence des contraintes de l'apprentissage scolaire : l'importance de l'attention. Les apprentissages scolaires sont exigeants sur le plan attentionnel, les élèves doivent être attentifs, concentrés pour apprendre ; les enseignants doivent non seulement mobiliser l'attention des élèves, mais limiter autant le partage attentionnel entre plusieurs sources d'information.

L'acte d'enseigner se caractérise par la gestion de processus attentionnel.

Autonomiser la tâche d'apprentissage

Il est important que les élèves maîtrisent la mise en œuvre de la tâche pour que celle-ci, qui n'est qu'un moyen, ne représente pas un obstacle. En conséquence de cette contrainte, les élèves doivent apprendre à maîtriser la mise en œuvre des tâches d'apprentissage. Mais cette nouvelle exigence cognitive pour les élèves constitue un enjeu majeur pour les enseignants. Autrement dit, ne pas laisser le soin à l'élève d'apprendre la tâche d'apprendre pendant qu'il apprend mais lui enseigner avant.

L'acte d'enseigner se caractérise par des processus d'enseignement des tâches métacognitives.

Étayer le processus d'apprentissage

Avec les connaissances scolaires, les apprentissages sont non seulement explicites, mais ils requièrent un enseignement parce que la pratique délibérée ne peut pas être mise en œuvre.

La connaissance scolaire étant non adaptative, elle impose donc cette double contrainte.

Comme nous l'avons précisé précédemment, l'acte d'enseigner se caractérise par la mise en œuvre de processus d'enseignement qui soutiennent les processus d'apprentissage.

Ces quatre fonctions spécifiant l'acte d'enseignement font appel à trois catégories de processus que sont les processus motivationnels, les processus de gestion de l'attention et les processus d'enseignement. On se propose de les caractériser.

2.1. Le processus motivationnel

Nous avons vu que la motivation scolaire (Viau, 2009) est déterminée par ce qui pousse l'élève à :

s'engager activement dans le processus d'apprentissage ;

adopter les comportements qui le conduiront vers la réalisation de ses buts d'apprentissage ;

persévérer devant les difficultés.

La motivation scolaire est fondée sur la façon dont les élèves se représentent les buts d'apprentissage (utile et atteignable) et la façon dont ils se représentent les tâches d'apprentissage qu'on leur propose (utile et atteignable). Soutenir la motivation de l'élève repose sur un processus qui s'articule autour de l'engagement dans l'apprentissage, l'acceptation de l'effort et la persévérance dans (l'effort) l'apprentissage (Ames & Archer, 1988).

L'engagement dans l'apprentissage repose sur la mise en exergue :

du manque de connaissance pour atteindre un but de performance ou de progrès ;

de l'utilité (du sens) de la nouvelle connaissance (Hulleman & Harackiewicz, 2009 ; Hulleman *et al.*, 2010). Il s'agit de répondre aux questions : à quoi sert cette connaissance ? Que va-t-elle permettre de faire ? Quels problèmes va-t-elle permettre de résoudre ? Quelles situations va-t-elle permettre de comprendre ?

La réponse se construit dans la recherche de buts de progrès et/ou de performance personnels et proximaux ;

de l'utilité de la tâche d'apprentissage proposée (Schechter *et al.*, 2011). Il s'agit de répondre à la question « pourquoi apprendre de cette façon ? »

L'acceptation de l'effort est liée à une qualité essentielle de la tâche d'apprentissage : elle doit être à la portée des élèves et être perçue comme telle. Autrement dit, c'est montrer et faire accepter le fait que la tâche présente un degré de défi raisonnable (ni trop facile ni trop difficile).

L'acceptation de l'effort repose aussi sur l'établissement d'une relation de confiance avec les élèves : « si je vous propose cette tâche, c'est parce qu'elle est faisable par tous ». C'est en s'efforçant de ne proposer que des tâches à la portée de tous (et non pas de la moitié de la classe) que l'on gagnera la confiance des élèves. Et chaque nouvelle tâche sera perçue comme réalisable.

La persévérance dans (l'effort) l'apprentissage peut convoquer plusieurs principes :

Proposer des tâches nouvelles, diverses, variées, voire des détours.

La motivation consiste à surprendre les élèves par les tâches proposées. Il ne s'agit pas de changer le type de connaissance à apprendre ni même l'organisation ou le temps de la séance

d'enseignement, mais bien les tâches, c'est-à-dire ce que les élèves ont à faire. Le but est simplement de fuir la routine, avec par exemple le support des nouvelles technologies (vous trouverez des centaines d'études qui montrent l'effet positif des nouvelles technologies sur la motivation).

Un moyen particulièrement intéressant de changer de tâches est d'utiliser ce qui est généralement connu sous le nom de « détour » : on conçoit une tâche qui porte une signification éloignée de l'apprentissage visé et des tâches habituelles (par exemple, échanger par mail avec des élèves d'une classe, d'une école située à l'autre bout du monde, pour apprendre à appliquer les règles de grammaire et d'orthographe).

Diminuer la difficulté de la tâche (par exemple : difficulté du problème, difficulté de compréhension de l'énoncé, difficulté due au nombre d'étapes de raisonnement à franchir, au nombre d'informations à prendre en compte) sans diminuer l'enjeu d'apprentissage, c'est-à-dire sans dénaturer la connaissance à apprendre.

Se focaliser sur la régulation de la situation : c'est au cours de la réalisation de la tâche que l'enseignant peut se rendre compte que celle-ci n'est pas directement atteignable. Il peut alors proposer à l'élève de l'aider, réduisant ainsi la difficulté de la tâche.

Utiliser l'évaluation pour motiver plutôt que de démotiver (Ames & Archer, 1988) :

La centration sur le progrès. Cela consiste à rendre compte à l'élève d'une différence entre ce qu'il sait ou sait faire aujourd'hui et ce qu'il savait ou savait faire auparavant. Cette technique se prête particulièrement bien à l'enseignement en séquences ou en cycles de quelques semaines. Une évaluation connaissances est réalisée en

début de séquence. Une autre en fin de séquence. Les deux évaluations sont au même niveau d'exigence. Elles concernent les mêmes connaissances. Le retour de l'enseignant vers l'élève concerne le progrès réalisé et non pas la performance en fin de séquence. Ainsi, faire des progrès est autant à la portée des élèves en difficulté que des élèves en facilité.

La centration sur la maîtrise. Il s'agit de centrer l'évaluation la maîtrise de la connaissance plutôt que sur la performance atteinte : peu importe le résultat, l'erreur de calcul ou d'exécution, ce qui compte c'est que l'élève ait identifié la procédure, la connaissance à mettre en œuvre et maîtrise cette connaissance, sache mettre en œuvre la procédure.

Faire des évaluations privées, non publiques. Il s'agit simplement de ne pas annoncer les notes obtenues par chaque élève à toute la classe, mais à chaque élève en particulier.

Valoriser l'effort personnel. Plutôt que de mettre en valeur les performances des élèves, le professeur valorise les efforts de ceux-ci, quels qu'en soient les résultats.

Encourager la conception de l'erreur comme inhérente à l'apprentissage. Il s'agit de considérer que l'important est dans l'apprentissage et dans l'effort. Ainsi, un élève qui fait une erreur est en train d'essayer, il fait un effort, il apprend. Un élève qui ne fait rien... ne fait pas d'erreur !

2.2. Le processus de gestion de l'attention et de l'apprentissage

Le processus attentionnel vise à permettre à l'élève de cibler son attention sur la tâche d'apprentissage. L'enjeu repose sur un constat simple : pour apprendre, il faut réaliser une tâche d'apprentissage.

Dit autrement, on ne peut pas apprendre sans rien faire. Mais, ce n'est pas parce qu'on réussit la tâche que l'on réussit l'apprentissage. Néanmoins, on constate que l'enjeu motivationnel (avec le système de croyances sur soi) et l'enjeu attentionnel (à quoi il faut faire attention) peuvent produire des effets contraires.

Pour caractériser ce processus, nous nous fondons sur les travaux de la théorie de la charge cognitive de John Sweller et ses collaborateurs (2011).

Selon ce cadre, la charge cognitive se compose d'une charge utile et intrinsèque (celle dévolue à la tâche d'apprentissage), d'une charge utile et pertinente (celle dévolue à l'apprentissage) et d'une charge inutile (ou extrinsèque). Cette charge inutile est due à la « mauvaise » façon dont la tâche d'apprentissage est présentée : elle ajoute une autre tâche, concurrente, qui requiert de l'attention. La réalisation de la tâche d'apprentissage exige, elle, un certain niveau de charge cognitive : ni trop élevé (surcharge cognitive) ni trop faible (perte de vigilance, sous-engagement).

Le processus de gestion des ressources cognitives de l'élève par l'enseignant concepteur consiste donc à réduire la charge inutile et à optimiser la charge utile en rendant la tâche d'apprentissage idéalement exigeante tout en libérant un maximum de ressources mentales pour l'apprentissage.

Nous présentons les principes (figure 23) qui visent à réduire la charge cognitive pour les élèves les moins avancés pour l'apprentissage visé / maintenir une exigence de la tâche pour les élèves les plus avancés pour l'apprentissage visé. Chaque ligne correspond à deux présentations d'un même problème. L'exemple présenté ci-dessus correspond à la troisième ligne du tableau

(intégrer physiquement les informations que l'élève devra mettre en relation mentalement pour rendre cette information intelligible).

Figure 23 : Principes pour gérer la charge cognitive

Avec les élèves les plus en difficulté pour l'apprentissage visé, on peut faire baisser la charge liée à la tâche et ainsi libérer des ressources pour apprendre	Avec les élèves les plus avancés pour le même apprentissage visé, on peut laisser une charge plus importante car ces élèves disposent de plus de ressources
Ne pas trop spécifier le but du problème, indiquer plutôt à l'élève qu'il doit atteindre tous les buts qu'il peut atteindre, faire tout ce qu'il sait faire	Spécifier le but du (même) problème
Donner à l'élève le problème résolu et lui demander d'étudier la solution Alternier les problèmes résolus et les problèmes à résoudre Donner le problème avec une solution partielle	Donner le (même) problème à résoudre
Intégrer physiquement les informations que l'élève devra mettre en relation mentalement pour rendre cette information intelligible Éliminer toutes les informations inutiles ou décoratives Présenter les sources d'information que l'élève devra mettre en relation dans des modalités différentes (auditive et visuelle)	Éviter la redondance : ne pas répéter inutilement ce qui peut être présenté une seule fois d'une seule manière
Si l'information à présenter est complexe (beaucoup d'éléments et de relations), alors la présenter progressivement, partie par partie	Présenter le tout d'emblée plutôt que par parties, pour que l'élève puisse apprendre les relations entre les sections
Varier les exemples, avec parcimonie en début d'apprentissage	Présenter l'information avec beaucoup de variabilité pour que l'élève puisse apprendre quelles variables sont pertinentes et quelles variables ne le sont pas

Faire disparaître le guidage progressivement	D'emblée, ne pas guider, laisser l'élève explorer librement
Demander à l'élève de mémoriser les relations les plus importantes	Demander à l'élève de s'auto-expliquer les relations les plus importantes
Ne pas présenter d'information transitoire continue (oral, vidéo) ; présenter plutôt des informations statiques, faire des pauses aux moments pertinents et guider l'attention sur les parties pertinentes	Présenter de l'information transitoire continue (oral, vidéo)
Proposer du travail en groupe (selon un scénario précis) quand l'apprentissage visé est éloigné des élèves ; sinon, le travail peut être réalisé seul	Si l'accès aux connaissances d'autrui est nécessaire, alors le travail en groupe est utile. Sinon, le travail individuel peut être mis en œuvre.
Mettre en exergue ce qui est important Expliciter les liens entre les parties d'un tout	Ne pas tout expliquer : engager les élèves dans des activités de production d'inférences, d'hypothèses, de conjectures

2.3. Les processus d'enseignement

Nous avons défini le processus d'enseignement comme la « prise à son compte » par l'enseignant du processus d'apprentissage. Nous souhaitons présenter ici un cadre théorique de référence des processus d'enseignement issus des processus d'apprentissage.

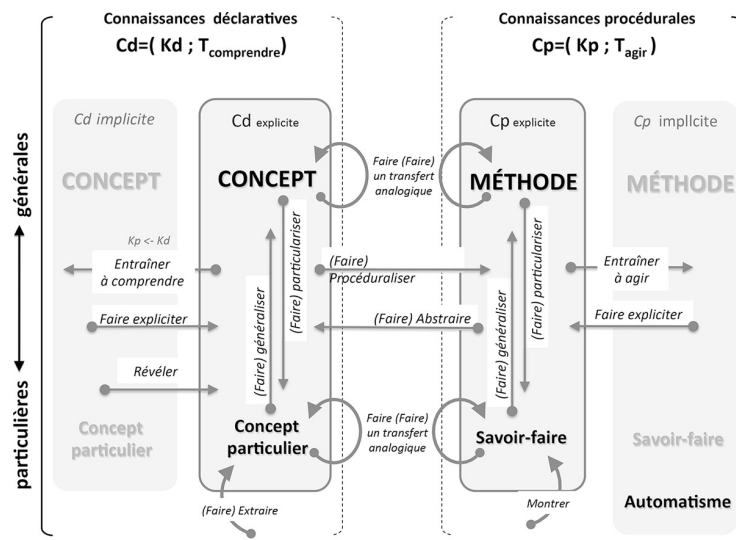
La figure 24 présente l'ensemble des processus du « faire apprendre » dans un contexte scolaire, sous forme d'une matrice. Cette matrice est une transposition de la matrice des processus d'apprentissage (cf. Volet « acte d'apprendre à l'école » de notre Théorie de l'ingénierie pédagogique).

On y distingue deux grandes catégories de processus d'enseignement :

ceux spécifiques à la transformation des connaissances explicites entre elles comme « (Faire) généraliser », « (Faire) particulariser », « (Faire) procéduraliser », « (Faire) extraire », « Montrer » ou encore « Faire (faire) un transfert analogique » ;

ceux agissant sur la transformation du caractère explicite ou implicite d'une connaissance que sont « entraîner », « faire expliciter » et la « révéler ».

Figure 24 : Matrice des processus d'enseignement



2.3.1. (Faire) généraliser

Ce processus consiste à faire élaborer une connaissance générale explicite à partir de plusieurs connaissances particulières explicites, qu'elles soient déclaratives ou procédurales. Il convoque le processus de conceptualisation, dont les principes favorisants sont :

La comparaison d'objets ou de situations différentes pour identifier des traits communs (la construction d'une catégorie) et rejeter tout ce qui les distingue.

La caractérisation d'un stéréotype et/ou l'identification à un exemple modèle (la catégorisation).

L'institutionnalisation du contenu par l'élaboration d'une étiquette de la catégorie et par des représentations externes : verbalisation formelle, écriture symbolique, schéma, dessin, etc.

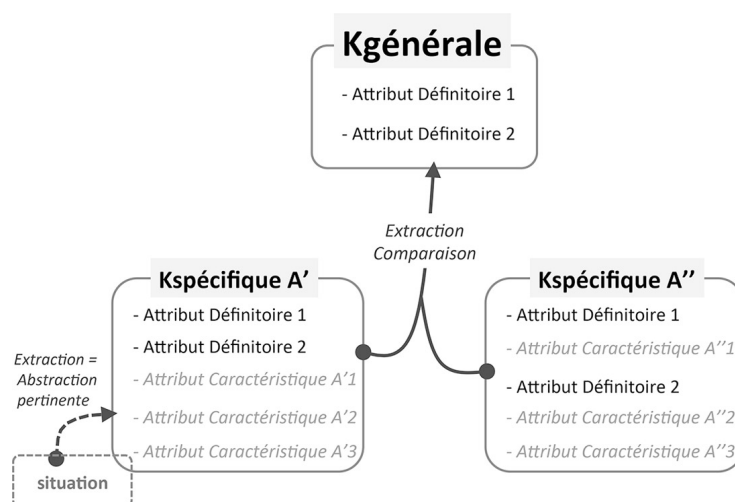
La mise en relation avec d'autres concepts (par exemple, le concept x est une sous-catégorie du concept y . Ce concept x est différent de ce concept proche y).

Par exemple, les machines d'exercices physiques comme le tapis roulant, le vélo d'appartement, le vélo elliptique ou encore le rameur ont en commun de faire reproduire à l'utilisateur un mouvement qui le ferait se déplacer s'il n'était pas sur la machine. Ces machines ont été regroupées sous l'appellation d'ergomètre.

Si l'on s'intéresse au format de connaissance lui-même, ce processus vise à faire élaborer un nouveau couple $\{K_{\text{gen}} ; T_{\text{gen}}\}$, pour lequel la connaissance K_{gen} aura moins d'attributs qu'une connaissance K_{spe} et la tâche T_{gen} sera la somme des tâches T_{spe} (et constituera alors une catégorie de tâches). La connaissance K_{spe} sera ainsi constituée des attributs de la connaissance K_{gen} (attributs définitoires, Barth, 2011) et enrichie par d'autres attributs spécifiques (attributs caractéristiques, Barth, 2011).

Comme l'illustre la figure 25, le processus à conduire pour élaborer la connaissance K_{gen} à partir de plusieurs connaissances K_{spe} , convoque deux opérations mentales clés : l'abstraction et la comparaison.

Figure 25 : Schéma de conduite d'un processus de généralisation



En quelque sorte, c'est comme si le fait de s'élever (monter en généralité) nécessitait d'alléger l'information. Mais c'est aussi s'éloigner de l'instance (« de la chose concrète »). C'est accepter de perdre de la précision pour gagner en puissance (DISCAS, 2006). Ce processus est aussi communément appelé « approche inductive ». Les démarches de découverte, telles que la démarche d'investigation, la main à la pâte, la démarche de projet, se réclament de cette approche inductive.

Barth (2011) propose une démarche structurée pour conduire le processus de conceptualisation en situation d'enseignement. Cette démarche s'articule autour de phases de perception, de comparaison, d'inférence et de vérification d'une règle particulière, puis de sa généralisation.

La conduite du processus relève de la responsabilité de l'enseignant : contrairement aux apprentissages naturels, l'élève n'enclenche pas seul les mécanismes de généralisation (catégorisation, étiquetage, caractérisation...). De plus, l'élève ne va pas percevoir l'indice pertinent : celui qui est commun à toutes les

situations comparées. Par exemple, il n'est pas du tout naturel de percevoir les communs entre un tapis de course et un vélo d'appartement qui correspond à la catégorie « ergomètre ». La difficulté, pour le professeur, à conduire le processus réside donc dans le fait de discerner la « proposition élève » pertinente : celle qui va permettre d'avancer vers la connaissance, de celle qui va s'en éloigner (l'élève propose – l'enseignant dispose). L'entrée par le particulier est très intéressante pour l'apprentissage, même si la crainte (légitime) est de penser que le cas particulier d'entrée reste attaché à la connaissance. Outre ce biais, l'accès à la connaissance passe par une profondeur de traitement (un nombre d'opérations mentales) importante de la part de l'élève et participe donc à un ancrage à plus long terme. Par ailleurs, en permettant à l'élève de découvrir par lui-même le « pourquoi du comment » ou l'origine d'une connaissance factuelle, elle offre la possibilité de développer conjointement compréhension et intérêt.

Cependant, parfois, ce processus relève d'un effet *Canada Dry* [En France, dans les années 1980, le slogan publicitaire du *Canada Dry* a longtemps été : « Canada Dry est doré comme l'alcool, son nom sonne comme un nom d'alcool... mais ce n'est pas de l'alcool. »] : on ne fait que présenter une seule connaissance particulière avant la règle générale. Par exemple, faire découvrir que l'air, qui est un gaz, a une masse, puis étendre cette caractéristique à l'ensemble des gaz. Ou encore établir les règles du théâtre classique à partir de l'étude d'une œuvre de Molière. Il s'agit peut-être d'une stratégie « boiteuse » (surtout du point de vue de la démarche scientifique) mais qui, comme l'analogie, permet de gagner du temps. Elle implique de bien choisir l'exemple traité. Cet exemple, au sens d'« exemple générique » (Balacheff, 1988), qualifié aussi d'« exemple modèle », « exemple stéréotype » ou tout simplement de « bon exemple » (Defossez,

2014), doit posséder une propriété qu'il permet de mettre en évidence et qui peut être étendue au cas général. Une autre difficulté est de trouver l'exemple proche des élèves, et que l'on peut généraliser à partir d'un cas (même si c'est probablement bien dangereux).

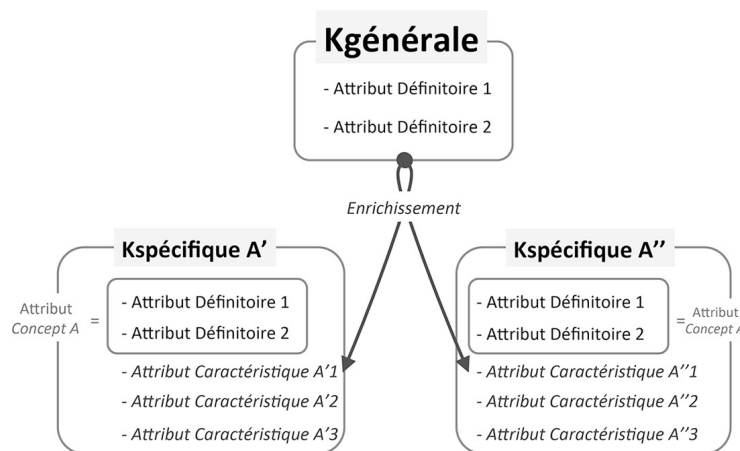
2.3.2. (Faire) *particulariser*

Ce processus relève d'un mécanisme inverse à celui de la généralisation. Il consiste à faire élaborer une connaissance particulière explicite à partir d'une connaissance générale explicite. Il repose sur un procédé de spécialisation de la connaissance.

Par exemple, un métal est conducteur du courant électrique. Alors, le fer ou encore l'or sont aussi conducteurs du courant électrique.

Le processus de particularisation convoque un mécanisme d'enrichissement. La figure 26 illustre le processus à conduire pour élaborer plusieurs connaissances spécifiques $K_{\text{spécifique}}$ à partir d'une connaissance $K_{\text{générale}}$.

Figure 26 : Schéma de conduite d'un processus de particularisation



Par exemple, le tissu biologique est un ensemble de cellules semblables *et de même origine, regroupées en amas, réseau ou faisceau (fibre)* et elles concourent à une même fonction. Le tissu musculaire est formé de cellules contractiles et permet le mouvement.

Dans ce cas, le procédé de spécialisation de la connaissance consiste à venir adosser un élément descriptif supplémentaire à la connaissance générale (Caplat, 2002).

Le processus de particularisation se caractérise aussi par une réduction du domaine de validité de la connaissance générale, c'est-à-dire une limitation de son utilisation à une catégorie de situations. Quel avantage y a-t-il à faire cela ? Quelle est la fonction d'enseignement de la particularisation ?

Par exemple, le théorème d'Al-Kashi permet d'établir des relations mathématiques entre les dimensions d'un triangle quelconque. Si un des angles du triangle est droit, alors ce théorème se transforme en théorème de Pythagore. Ce dernier s'applique uniquement aux triangles rectangles. Dans ce cas, le procédé de spécialisation relève de la transformation d'une formule mathématique et de l'ajout du qualificatif rectangle à l'attribut triangle.

La mise en œuvre du processus pourra être favorisée par :

- le rappel des connaissances générales, à l'aide de tâches qui mettront en exergue les éléments clés de la connaissance ainsi que le domaine de validité ;
- la caractérisation des situations d'utilisation de la connaissance, afin de bien appréhender le nouveau domaine de validité.

Ce processus est aussi communément appelé « approche déductive ». Ce processus ne doit pas être confondu avec celui de l'entraînement qui soutient le processus d'assimilation.

2.3.3. (Faire) extraire

Extraire, c'est décrire le caractère singulier d'une chose. Le processus d'enseignement consiste à faire élaborer une connaissance particulière explicite à partir de l'étude d'un cas : une situation, un objet, un événement, etc. Il met en œuvre le processus d'abstraction. C'est une double opération mentale qui considère à part un ou plusieurs éléments d'une perception en négligeant les autres (Barth, 2011). C'est le fait d'isoler des attributs spécifiques, dans le sens d'être en mesure de les considérer indépendamment d'autres attributs. Elle est adossée à une opération de connexions de ces attributs isolés (Jeannotte, 2015). Ce processus didactique se distingue de celui de la généralisation en ce sens qu'il ne propose pas d'ascension : la connaissance produite est singulière.

Par exemple, caractériser la Révolution française à partir de ressources historiques.

On pourra favoriser ce processus en s'appuyant sur les actions suivantes :

Faire mobiliser les connaissances antérieures qui seront utilisées pour abstraire.

Définir clairement le but de l'abstraction.

Proposer des tâches de compréhension d'une situation qui s'appuient sur un mécanisme d'analyse-synthèse. On peut mettre en exergue des éléments importants dans la situation à comprendre, « guider l'attention » de l'élève sur les points à observer, notamment en lui posant des questions sur ces éléments importants (Rouet & Vidal-Abarca, 2002 ; Mautone & Mayer, 2007).

2.3.4. (Faire) procéduraliser

Ce processus d'enseignement vise à faire élaborer une connaissance procédurale explicite à partir d'une connaissance déclarative explicite. Par exemple, établir la procédure qui permet d'établir un schéma d'observation en sciences naturelles. Ou celle qui permet d'élaborer une dissertation de français.

Il traite de la relation « produit par » qui existe entre ces deux formats de connaissance : la connaissance déclarative est le « produit » de la connaissance procédurale. Par exemple, le concept « *le texte* » est le produit de la procédure « *rédiger un texte* ». Il s'agit de (faire) expliciter et organiser les actions et moyens qui mènent au résultat, en l'occurrence la connaissance déclarative elle-même. Cette dernière est en quelque sorte le cahier des charges de la connaissance procédurale, *i.e.* l'ensemble des caractéristiques du but à atteindre.

Les principes favorisant sont :

Faire comprendre la situation problème : il est tout d'abord important que l'élève comprenne la situation dans laquelle on lui demande d'agir, l'état initial, l'état but et les étapes qui séparent les deux. En effet, il est généralement plus efficace que les élèves comprennent d'abord le problème et la solution, pour ensuite essayer de résoudre par eux-mêmes des problèmes analogues, que l'inverse (*e.g.* Carroll, 1994 ; Miller, Lehman, & Koedinger, 1999 ; Paas & van Gog, 2006 ; Reisslein, Atkinson, Seeling, & Reisslein, 2006).

Gérer l'équilibre entre tâtonnement et guidage de l'élève : ainsi, il n'est pas toujours efficace de placer l'élève dans une situation où il doit découvrir par lui-même, à force de tâtonnements, une façon de faire. Si l'élève découvre rapidement par lui-même une façon de trouver la solution, c'est sans doute le plus efficace (*e.g.* Pierce, Duncan, Gholsn, Ray, & Kambi, 1993). Mais s'il ne découvre pas par

lui-même, il est bien plus efficace de guider l'élève vers la solution (voir les synthèses de Kirschner, Sweller, & Clark, 2006 et de Mayer, 2004). Autrement dit, c'est dans un équilibre entre le tâtonnement et le guidage que la procéduralisation serait favorisée.

L'institutionnalisation du contenu par l'élaboration d'une étiquette de la catégorie et par des représentations externes : verbalisation formelle, écriture symbolique, schéma, dessin, etc.

2.3.5. Montrer comment faire

On utilise aussi le terme de « monstration ». Ce processus d'enseignement vise à faire élaborer un savoir-faire par observation de la pratique de l'enseignant *in situ* ou via une vidéo (les « Tutos »). Il met en œuvre le processus d'imitation et correspond à une tâche d'étude de cas.

Montrer comment faire un geste ou comment manipuler un appareil est une situation courante en éducation physique et sportive, ou en formation professionnelle comme la coiffure, la carrosserie, la restauration et bien d'autres.

L'enjeu de ce processus réside dans la construction d'une trace mentale de référence (Sheffield, 1961). Durant l'observation, l'élève stocke en mémoire l'image mentale, visuelle et auditive, encodée en images et en mots, de ce qu'il perçoit. Ce modèle, cette « trace de référence » constitue une forme de la procédure de guidage – forme déclarative d'une connaissance procédurale spécifique – qu'il utilisera pour produire la réponse motrice (comme la notice d'un jeu LEGO). L'image visuelle devient un instrument d'anticipation et de correction de l'action. En ce sens, la démonstration de l'enseignant vise à proposer cette trace de référence, image à reproduire, par simplification, exagération et/ou déformation, qui doit rester atteignable et utilisable par l'élève.

Montrer comment faire un geste ou comment manipuler un appareil ne se fait que très rarement sans paroles, le discours sur le geste ou l'appareil venant soutenir la compréhension, l'apprentissage par imitation peut très bien dépasser les aspects strictement procéduraux.

On montre aussi parfois un raisonnement : situation typique d'une séance de cours magistral ou d'une séance de correction d'exercices (en mathématiques ou en sciences physiques, par exemple). À l'école, on utilise aussi le terme « démonstration ». Cette tâche d'étude peut participer soit à l'acquisition d'un concept (par exemple, un théorème mathématique) ou à l'acquisition d'un raisonnement spécifique qui constitue un savoir-faire permettant de résoudre une catégorie singulière de problèmes (résoudre un type d'équation trigonométrique, retrouver la formule d'une loi physique). Dans ce cas, comme lorsqu'on montre un geste, l'observation de la prestation de l'enseignant doit permettre à l'élève d'élaborer une « trace de référence ». Aussi, les tâches de ce dernier visent à mettre en perspective les sous-buts et les liens qu'ils entretiennent entre eux, la nature des procédures utilisées et leurs conditions de mobilisation. Cette image mentale, qui peut être visuelle et/ou auditive, est à dissocier du « corrigé écrit », qui n'est que la solution au problème. Cette dernière constitue par sa forme une référence au regard de canons institutionnels de rédaction. La « trace mentale de référence » pourra cependant proposer sous forme de trace papier, comme aide méthodologique, ou même intégré au « corrigé écrit ».

Un des obstacles à l'atteinte du but procédural (de l'observation) d'une démonstration est qu'elle devienne l'enjeu d'un rapport de force et que le professeur utilise cette démonstration comme un tour de force pour installer son autorité. En d'autres termes, le professeur

montre qu'il sait faire cette démonstration pour montrer à ses élèves à quel point il est plus fort qu'eux.

2.3.6. *Faire (faire) un transfert analogique*

Ce processus propose de créer des connaissances par analogie. Il permet d'élaborer un format en s'appuyant sur un format de même niveau, sans faire appel à un autre, sans évoquer le format de niveau supérieur. L'objet cible est appréhendé à partir d'une des structures de relations qui caractérisent l'objet source. Cette appréhension consiste à raisonner, faire des inférences dans le domaine source et transférer les résultats obtenus dans le domaine cible.

Par exemple :

Écrire sur un tableau blanc interactif est analogue à écrire sur un tableau blanc.

La maintenance est aux appareils ce que la médecine est à l'homme.

Planifier un enseignement, c'est comme planifier un trajet entre deux lieux.

2.3.7. *Révéler*

Ce processus réflexif vise à entraîner une modification d'une connaissance explicite par un mécanisme de prise de conscience. L'exemple le plus célèbre est celui de Monsieur Jourdain qui découvre qu'il « *fait de la prose* » (résultat de l'action). Cet éclairage soudain (*insight*) permet de saisir que tel aspect de ma connaissance est faux, que tel autre se nomme ainsi, ou encore justifier son existence. Mais aussi, que telle connaissance permet aussi de réaliser tel type de tâches (ou pas) pour comprendre ou agir sur le monde. Par exemple, les photos d'un appareil numérique sont stockées sous forme de fichiers numériques dans une unité de stockage (type clé USB) intégrée à l'appareil. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'utiliser le logiciel

associé à cet appareil pour en extraire les photos, mais il suffit d'appliquer simplement la procédure d'importation de données à partir d'un disque dur externe, par exemple.

Ce processus est notamment impliqué dans le changement conceptuel (cf. Vosniadou & Verschaffel, 2004). Il demande une bonne connaissance préalable des connaissances des élèves.

2.3.8. Entraîner

Pour ce processus d'enseignement, l'enseignant quitte son habit de *coach*-théoricien pour endosser celui d'entraîneur et permettre à son « athlète en devenir » d'appréhender ou d'agir dans des situations nouvelles, en mobilisant avec aisance et pertinence la connaissance. On entre dans une phase d'entraînement destinée (à faire apprendre) à utiliser et mobiliser la connaissance dans des situations différentes de celle(s) où elle a commencé à être élaborée (explicitée et expliquée).

Cette phase, appelée aussi phase « d'application », contribue à la transformation d'une connaissance explicite en une connaissance implicite. Le but est de rendre la connaissance dynamique, c'est-à-dire la mettre en action (Tardiff, 1992).

Le processus d'entraînement met en œuvre le processus cognitif de transfert des apprentissages : « le processus par lequel des connaissances construites dans un contexte particulier sont reprises dans un nouveau contexte, que ce soit pour construire de nouvelles connaissances, pour développer de nouvelles compétences ou pour accomplir de nouvelles tâches » (Presseau, 2000).

L'autonomie est (sûrement) l'enjeu majeur de ce processus didactique. Elle concerne à la fois l'autonomie d'action dans la mise en œuvre de la connaissance mais aussi l'autonomie de décision (le « quand » et le « pourquoi »). Aussi, ce processus repose sur un

principe de répétition au service d'un principe d'exploration du domaine de validité du savoir scolaire de façon exhaustive, à défaut de façon représentative.

Le processus d'entraînement a donc vocation à enrichir la connaissance, et ce sur les aspects liés à sa mise en œuvre (situations et tâches). La recherche de cette valeur ajoutée consiste à répondre aux deux questions suivantes :

« Quelles sont les conditions (le moment ou le contexte, *i.e.* la situation) qui donnent le droit d'utiliser la connaissance ? » Les éléments de réponse définissent le *domaine de validité* de la connaissance.

« Quelle est l'utilité de la connaissance ? » Les tâches associées constituent le *domaine d'utilité* de la connaissance.

Ces éléments d'utilisation de la connaissance favoriseront la construction de compétences.

Le processus d'entraînement, en tant que transfert d'une connaissance explicite, semble conditionné par deux postulats :

La distance d'application : elle interroge le principe d'applicabilité de la connaissance et plus spécifiquement son aisance. Plus la connaissance est générale et plus il sera coûteux cognitivement de la mettre en œuvre dans une situation donnée. Par exemple, si on désire savoir si un câble électrique est défectueux, il sera plus coûteux d'appliquer la procédure « Contrôler le bon fonctionnement d'un objet » que la procédure « Contrôler la continuité électrique d'un câble à l'aide d'un multimètre ». Autrement dit, si l'on veut utiliser une connaissance, alors il faut qu'elle soit spécifique à la tâche, ou en tout cas associée à la tâche (Tricot & Sweller, 2014). Ce qui implique de transformer la connaissance générale en une connaissance

contextualisée. Nous disons, ici, que ce processus de particularisation doit être spécifié et sa faisabilité évaluée.

La compréhension de la situation étudiée.

Afin de favoriser le processus d'assimilation, les tâches d'enseignement pourront intégrer les principes suivants (Presseau, 2000) :

Anticiper, faire connaître des applications ultérieures des connaissances.

Faire établir des liens entre les différents contextes dans lesquels ces connaissances peuvent être pertinentes (Jonnaert, 2002).

Proposer des situations très distinctes pour éviter la résolution par analogie.

Roegiers (2000) préconise l'exploitation de différentes situations significatives issues de la même famille.

Proposer des situations de réutilisation de plus en plus éloignées de la situation source : de situations scolaires vers des situations de la « vraie vie », en passant par des situations appartenant à d'autres disciplines scolaires.

Inciter au rappel de situations déjà rencontrées.

Centrer l'attention de l'élève sur les éléments de la situation qui permettent de mobiliser ou valider la mobilisation d'une connaissance.

Institutionnaliser le contenu de chacun des deux domaines (validité et utilité).

Nous proposons de distinguer le soutien au processus d'assimilation d'une connaissance déclarative (ou assimilation déclarative) de celui de l'assimilation d'une connaissance procédurale (ou assimilation procédurale), bien que ces deux processus aient en

commun de se construire à partir de la compréhension de la connaissance explicite et de relever d'une procéduralisation.

2.3.8.1. Entraîner à comprendre

Le processus d'assimilation déclarative pose d'emblée la question de l'utilisabilité de la connaissance déclarative : comment la rendre utilisable ? La réponse passe par l'élaboration d'une procédure (transformation de la connaissance déclarative Kd) qui fera l'objet d'un processus d'assimilation procédurale. On peut penser que cette procéduralisation de l'information déclarative tombe sous le sens pour un élève... mais cela reste une supposition. Il nous semble plus raisonnable d'être dans l'anticipation, c'est-à-dire dans la proposition d'une action didactique explicite et de concourir ainsi à une économie cognitive pour l'élève. Surtout quand la connaissance devient plus complexe ou très abstraite.

Le processus d'assimilation déclarative consiste donc à préciser comment on s'y prend pour appliquer la connaissance déclarative. En effet, connaître le concept de *tissu biologique* n'implique pas de savoir comment s'y prendre pour reconnaître un *tissu biologique*. C'est ce mode d'emploi qui sera ensuite mis en œuvre dans les situations de transfert.

Autrement dit, le processus d'assimilation appelle à une transformation de la connaissance déclarative, plus précisément de son information déclarative Kd, en une connaissance procédurale Kp : $Cd(Kd ; T) = > Cd(Kp ; T)$. C'est cette dernière qui va permettre de « *mettre en action* » la connaissance déclarative (Tardif, 1992). Par exemple, reconnaître que le viaduc de Millau est un pont à haubans nécessite de mobiliser une procédure d'appariement (injectif) entre les attributs du concept de pont à haubans et les éléments structurels constituant le pont de Millau. Autre exemple avec le théorème de

Pythagore qui décrit une propriété du triangle rectangle sous la forme d'une formule mathématique. Appliquer le théorème, c'est écrire cette formule en utilisant les spécificités de triangle rectangle donné (dénomination des côtés et/ou longueur de ses côtés). Le processus cognitif consiste donc ici à établir une procédure de reformulation contextualisée. Elle s'articulera autour d'une procédure d'identification des trois côtés du triangle (l'hypoténuse et les deux cathètes) et d'une procédure de caractérisation de ces côtés du triangle (dénomination et grandeur).

Ce mécanisme de transformation, qu'Anderson (1983) nomme *interprétation*, est fortement corrélé à la tâche T. En effet, pour une tâche de rappel en mémoire du théorème de Pythagore (le réciter par cœur), l'information Kp sera de tout autre nature.

2.3.8.2. Entraîner à agir

Le processus d'assimilation procédurale, quant à lui, doit prendre en compte les trois phases d'apprentissage d'une connaissance procédurale (cf. chapitre 1, 1.2 théorie de « l'acte d'apprendre à l'école ») : la phase cognitive (mise en œuvre laborieuse de l'information explicite), la phase associative (application directe et plus aisée qui ne nécessite plus les informations explicites utilisée en début d'apprentissage) et la phase autonome (étapes de réglages et d'affinement des productions ; appelée aussi « tuning »).

Ce processus d'enseignement s'appuie sur des tâches de résolution de problèmes qui favoriseront progressivement la mise en œuvre de la règle. Notamment au travers d'exercices de difficulté croissante : sans doute en commençant par des exercices résolus, puis des problèmes partiellement résolus, puis des transferts vers des tâches très différentes entre elles, et notamment des tâches d'expertise de problèmes résolus (Sweller, 2010).

L'effet d'imagination (Leahy & Sweller, 2004, 2005, 2007) montre que, dans les apprentissages procéduraux, le fait d'imaginer le geste plutôt que de le réaliser peut être une alternative très efficace si elle est temporaire. Comme nous venons de le souligner, cet effet est bien connu et depuis fort longtemps dans l'entraînement des sportifs de haut niveau. Ce modèle mobilisé par simulation mentale contribuerait à l'automatisation du savoir-faire (comme le font en phase de préparation les pilotes de voltige aérienne ou les skieurs de haut niveau).

On peut continuer à proposer des tâches, où l'on vise la répétition de la procédure, au-delà d'un critère de performance satisfaisante (ou consolidation) : c'est le surapprentissage (Perruchet, 1988). Cela favorise une meilleure résistance à l'oubli après une durée de rétention plus longue (« faire du vélo, ça ne s'oublie pas »). À terme, il génère des automatismes.

2.3.9. La main cachée du processus d'entraînement

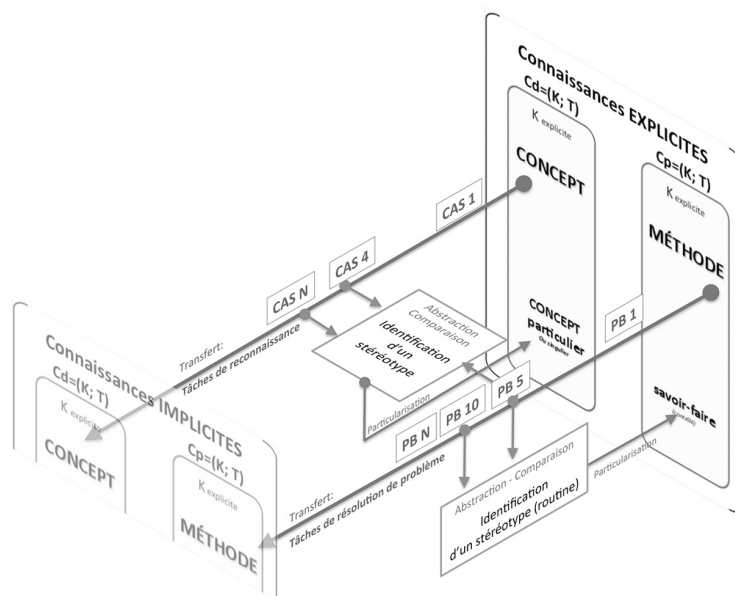
Le processus d'entraînement, qu'il soit déclaratif ou procédural, est aussi source d'élaboration de connaissances explicites particulières, aussi bien déclarative que procédurale.

Au cours des situations d'entraînement, un ensemble des tâches scolaires, notamment celles de résolution de problème, peut présenter des récurrences (Dumas-Carré & Goffard, 1993 ; Biondi & Cartonnet, 1996) en termes de contexte, de résultats ou encore de procédures. Ces récurrences, par leur pertinence au regard d'un savoir scolaire, peuvent faire l'objet d'un processus d'abstraction-comparaison (cf. figure 27) et donner lieu ainsi à l'institutionnalisation d'une connaissance spécifique. Ce processus d'enseignement fait clairement appel à l'expertise de l'enseignant dans le domaine des pratiques scolaires de références (cf. chapitre 1,

1.2. théorie de l'« acte d'apprendre à l'école »). Il peut donner naissance soit à des connaissances déclaratives comme des exemples stéréotypes (ou exemples parfaits), typiques ou singuliers, ou encore des situations types de problèmes scolaires (énoncé, questionnement, résultat), soit à des connaissances procédurales comme des routines, à caractère stratégique (SI présence de tel et tel élément, ALORS faire ceci...) ou opératoire (FAIRE ceci, puis cela...).

Ces connaissances constituent de véritables connaissances d'expert des savoirs scolaires (cf. chapitre 1, 1.2 théorie de l'« acte d'apprendre à l'école »). Certaines d'entre elles pourront être mobilisées dans des processus d'enseignement afin d'optimiser des connaissances procédurales précédemment établies, favorisant ainsi la construction de compétence.

Figure 27 : La main cachée du processus d'entraînement



2.3.10. Faire expliciter une connaissance

Ce processus d'enseignement consiste à aider l'élève à verbaliser ses connaissances implicites, les mettre en mots ou en images (dessin, croquis, schéma). Il s'appuie sur le processus de compréhension et conduit à la prise de conscience de ce que l'élève sait ou sait faire, et de la manière dont il le sait : on parle de prise de conscience convoquée. Cependant, on se propose de distinguer le processus d'explicitation déclarative du processus d'explicitation procédurale.

Le processus d'explicitation déclarative consiste à faire élaborer par l'élève un discours descriptif de sa connaissance sur « *Comment sont les choses ?* ». On peut s'appuyer sur une tâche de dialogue, pour faire émerger la structure cognitive de sa connaissance déclarative (cf. chapitre 1, 1.2 théorie de l'« acte d'apprendre à l'école ») : attributs, structure et organisation, exemple stéréotypes, etc., mais aussi l'utilité et le domaine de validité de cette connaissance.

Dans le processus d'explicitation procédurale (processus inverse de l'assimilation procédurale), l'enseignant endosse son habit de coach-théoricien réflexif : il aide son « *athlète en devenir* » à mettre des mots sur le déroulé temporel de son action (à fabriquer la pellicule du film de l'action). Ce processus didactique s'appuie sur celui de *prise de conscience de l'action* décrit par Piaget (1974) puis élargi aux adultes par Vermersch (2004).

Le procédé consiste à découper une action en étapes successives, à distinguer les actions élémentaires les unes des autres, à les catégoriser et enfin les nommer.

Cependant, à notre connaissance, il existe peu de travaux empiriques qui pourraient être utilisés comme pistes de travail « fondées sur des preuves » pour favoriser la prise de conscience. On retiendra tout de même :

le tutorat réciproque, c'est-à-dire un binôme où chaque élève endosse successivement le rôle de tuteur puis de tutoré (Ensergueix & Lafont, 2010).

l'utilisation de représentations externes visuelles (un schéma, une animation multimédia ; Pinchas & Katz, 2008).

Balas-Chanel (2002) a exposé les tenants et aboutissants d'un *entretien d'explicitation à visée pédagogique*. Bien qu'elle limite la portée de cet entretien, mené par l'enseignant, aux connaissances procédurales (« *le déroulement de sa propre action* »), nous suggérons d'étendre son domaine de validité à celui des connaissances déclaratives (« *je sais quoi de ce mot* »), en se centrant sur leurs caractéristiques (attributs, liens structurels ou fonctionnels, exemples).

L'enjeu de ce processus d'enseignement réside dans l'élaboration d'une connaissance explicite qui sera mise en confrontation avec le savoir scolaire, ou d'autres connaissances explicites produites par d'autres. Ce processus relève de la régulation des connaissances scolaires de l'élève. Comme le précise Balas-Chanel (2002), « c'est le point de départ d'une remédiation durant laquelle l'enseignant peut renforcer la prise de conscience, favoriser l'acquisition de connaissances manquantes, guider vers l'élaboration de nouvelles manières d'agir ou d'apprendre ».

3. DES PROCESSUS D'ENSEIGNEMENT EMBLÉMATIQUES

Nous souhaitons dans cette partie éclairer certains processus emblématiques d'enseignement, à l'aide de notre cadre théorique des processus d'enseignement. Parmi ces processus, nous avons retenu :

« Faire comprendre un savoir », « Enseigner à faire quelque chose », « Enseigner une compétence » et « Enseigner l'autonomie ».

3.1. Faire comprendre un savoir

Comprendre, c'est mettre en lien des parties pour faire un tout cohérent, en mobilisant des connaissances antérieures (Kintsch, 1998). Faire comprendre, c'est donc aider l'élève à réaliser cette mise en lien.

À l'école, *Faire comprendre* peut porter sur un savoir, une tâche scolaire ou une situation didactisée (ou pas). Notre propos se limite ici à la compréhension d'un savoir, même si son contenu est transposable à la compréhension d'une tâche ou d'une situation.

Selon nous, *Faire comprendre* un savoir repose sur un double processus de mise en lien (cf. figure 28) :

L'explicitation, qui correspond à une mise en lien des composantes du savoir scolaire entre elles ou avec d'autres savoirs (ou composantes). Il s'agit de fabriquer une cohérence interne au savoir. Cette mise en lien, qui a pour fonction d'énoncer formellement, est régie par les principes de clarté et de pertinence (*i.e.* répondant à la commande institutionnelle).

L'explication, qui correspond à une mise en lien des composantes du savoir scolaire avec les connaissances des élèves. Il s'agit de fabriquer une cohérence externe au savoir. Cette mise en lien, qui a pour fonction d'aider l'élève à sélectionner la bonne connaissance à mobiliser, répond à des principes d'adaptation (*i.e.* utilisant les connaissances des élèves) et de pertinence (*i.e.* répondant à la méconnaissance des élèves).

L'explication peut être simultanée à l'explicitation, notamment si les savoirs sont connus des élèves.

Ces deux processus d'enseignement entretiennent une relation de dépendance : le nombre de mises en lien internes au savoir (densité de l'explicitation) est limitée à la possibilité de mises en lien (externe) avec la connaissance des élèves. L'explicitation et l'explication sont contraintes par un nécessaire équilibre entre savoir et connaissance.

Nous savons que la connaissance scolaire de chaque élève n'est pas une copie en bonne et due forme du savoir institutionnel. L'organisation des connaissances est d'abord individuelle (Spiro et Jengh, 1990 dans Tricot *et al.*, 2016). Elle se veut fonctionnelle, c'est-à-dire qu'elle dépend des buts que nous poursuivons et de la façon dont nous mobilisons nos connaissances pour atteindre ces buts (Bastien, 1997 dans Tricot *et al.*, 2016). Mais, il est clair que le savoir scolaire doit être enseigné (les élèves ne vont pas l'inventer) dans sa forme correcte (Bastien & Bastien-Toniazzo, 2005), sa forme institutionnelle. Ce processus est non seulement normal, mais c'est la condition même de l'efficacité de notre système cognitif (Bastien & Bastien-Toniazzo, 2005). Pour être conservées et transmissibles, les connaissances doivent présenter un format accessible à tous : leur « organisation rationnelle » (Bastien, 1997, p. 49). Et comme le précise Bastien (1997), c'est cette organisation qui est nécessairement présentée dans les situations d'apprentissage par enseignement et c'est elle qui, en raison de l'organisation fonctionnelle des connaissances individuelles, subit une transformation au cours de l'acquisition.

**Figure 28 : Schéma explicatif du processus d'enseignement
« FAIRE COMPRENDRE un savoir »**



3.1.1. L'explicitation d'un savoir scolaire

L'explicitation est généralement le processus liminaire à l'explication. Le principe clé réside ici dans la mise en lien de notions caractérisant le savoir scolaire avec d'autres savoirs (on peut qualifier cette mise en lien d'interne au savoir).

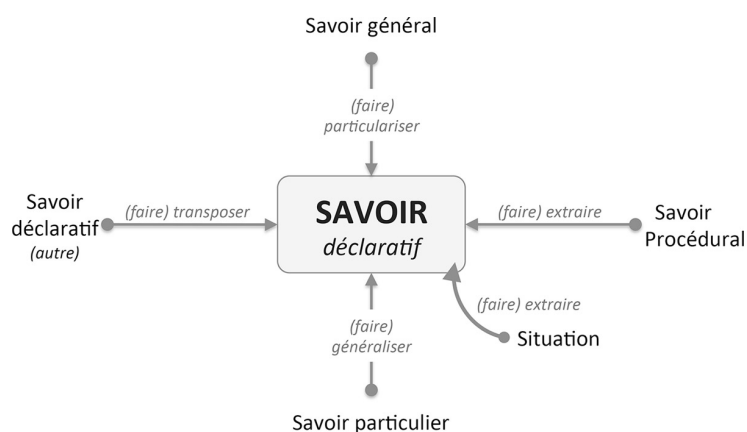
Cette mise en lien est supportée par les différents processus d'enseignement (cf. figure 29). Ainsi, l'explicitation d'un savoir peut se faire à partir d'un savoir plus général ou d'un savoir particulier, d'un autre savoir de même nature (déclaratif ou pas) ou de nature différente ou encore d'une situation.

Le but est de façonner le savoir scolaire en tant que couple (K ; T), c'est-à-dire une information autonome (K) utilisable dans un domaine de situations (tâches T réalisables). Le travail d'explicitation concerne donc deux registres.

Le premier registre est celui de sa description. Il s'agit de préciser de quoi est fait le savoir mais aussi de le situer par rapport à d'autres, faisant partie du même réseau notionnel. On parle respectivement de

caractérisation intrinsèque et extrinsèque du savoir. La première consiste à présenter ses propriétés, ses caractéristiques, ses composants les plus importants, sa structure, son organisation, etc. La seconde précise les relations qu'il entretient avec d'autres savoirs (en tant que partie d'un tout) comme l'appartenance (ou l'exclusion), l'opposition, la causalité, la temporalité, antériorité, etc.

Figure 29 : Processus d'enseignement participant à l'explicitation d'un savoir ou d'une tâche



Cette description repose, certes, sur une verbalisation claire et univoque du savoir mais aussi sur une représentation (description) de la structure notionnelle interne et externe de ce savoir scolaire (Ainsworth, 2006).

Le second registre concerne la fonctionnalité du savoir : à quoi sert-il et quand sert-il ? Cela consiste à préciser les tâches (via la spécificité des situations) pour lesquelles le savoir est utilisé et utilisable : son domaine d'application et son domaine de validité.

Mais définir l'utilité du savoir, sous forme de tâches, est clairement une anticipation sur les conditions de leur assimilation : en termes de transfert (Presseau, 2000) mais aussi de source de

motivation (Hulleman & Harackiewicz, 2009 ; Hulleman *et al.*, 2010). Cependant, montrer l'utilité d'une connaissance ne suffit pas : il est aussi nécessaire de bien mettre en exergue l'utilité de la tâche proposée (Schechter *et al.*, 2011) (cf. chapitre sur la motivation).

L'explicitation de l'utilité (T) du savoir peut s'appuyer sur les questions suivantes : À quoi sert cette connaissance ? Que va-t-elle permettre de faire ? Quels problèmes va-t-elle permettre de résoudre ? Quelles situations va-t-elle permettre de comprendre ? Cette utilité peut être interne ou externe à l'institution scolaire.

3.1.2. L'explication d'un savoir scolaire

Adossé à explicitation, on trouve le processus d'explication. Il consiste à mettre en lien des notions caractérisant le savoir scolaire avec les connaissances de l'élève (on peut qualifier cette mise en lien d'externe au savoir). Elle peut se limiter aux connaissances collectives, mais peut nécessiter d'être étendue à des connaissances individuelles.

3.1.3. Procédés favorisant la compréhension d'un savoir scolaire

Afin de favoriser ce processus d'enseignement, on pourra mettre en œuvre les procédés suivants, qui mobilisent des principes favorisant la compréhension.

3.1.3.1. L'ostension (la désignation)

On peut favoriser la mise en lien d'éléments importants du savoir scolaire en guidant l'attention des élèves sur ces derniers. Cette *mise en exergue* peut être obtenue notamment via des marqueurs visuels (souligner, mettre en gras, aller à la ligne, mettre un intertitre, etc. ; Lorch & Lorch, 1996) ou oraux (des expressions telles que

« soulignons que... », « Ce chapitre comprend 3 parties », « Dans cette partie, nous allons aborder... » ou l'intonation ; Tricot *et al.*, 2016). La compréhension sera favorisée si l'on demande à l'élève de réaliser lui-même cette mise en exergue (Chi & Wylie, 2014).

Mais cette ostension peut aussi relever du *principe de référencement mutuel des parties* (Sweller *et al.*, 1990, 2010), qui peut s'énoncer par la formule « *Si les informations sont agencées, alors agencez-les* ». On veillera à ne pas disperser les éléments de l'information de façon dispersée ou éloignée mais en les regroupant : par exemple, en plaçant cette information sur une page et non deux (principe de continuité référentielle), ou en incorporant le texte aux schémas, et placé immédiatement à côté du dessin correspondant (mode de représentation intégré). On peut noter que ce principe est celui qui régit le discours oral de l'enseignant pour faire comprendre le contenu d'une diapositive.

3.1.3.2. Le discours multimodal

On favorise la compréhension quand on utilise des *modalités complémentaires* de présentation du savoir (schéma, image, objet réel, commentaire oral, commentaire écrit, équation, exemples divers, contextes divers, etc.) mais sans être redondant, c'est-à-dire sans présenter deux fois le même message (*e.g.* Cerpa, Chandler, & Sweller, 1996 ; Craig, Gholson, & Driscoll, 2002 ; Mayer, Heiser, & Lonn, 2001). Par exemple, un schéma et son commentaire oral sont complémentaires. Un commentaire oral et le même commentaire écrit sont redondants.

La *double modalité* dépend du caractère novice ou expert de celui qui doit comprendre : par exemple, cela s'avère inutile d'ajouter le texte « œuf » en dessous de l'image d'un œuf. Par contre, la photo

d'un voilier vu de face, sur un plan d'eau, incliné par vent de travers, contribuera à la compréhension du concept de « gîte ».

La compréhension deviendra encore plus profonde, et le transfert en sera favorisé, si l'on demande à l'élève de représenter graphiquement le contenu de ce qu'il comprend (Chi & Wylie, 2014) sous forme de dessin, de schéma ou de graphe (comme les cartes conceptuelles).

3.1.3.3. L'illustration

Donner du sens à un savoir, par l'exemple, est une pratique courante pour ne pas dire naturelle. Ce procédé requiert cependant de convoquer des exemples qui valident certaines qualités.

L'exemple devra être représentatif, c'est-à-dire posséder la même combinaison d'attributs que le savoir illustré (Barth, 2011). Pour cela, nous proposons de chercher en priorité des exemples « modèles » (stéréotypes). Par exemple, choisir l'exemple « berger allemand » pour illustrer le concept de chien, plutôt que celui de « basset ». Cependant, il y a le risque que l'élève ne substitue l'exemple à la connaissance ; c'est-à-dire considère des caractéristiques de l'exemple comme des attributs définitoires du savoir (par exemple, tous les oiseaux ne volent pas) ou retienne un attribut non pertinent (par exemple, titi est sympa et adorable comme tous les canaris). Nous invitons à chercher une collection d'exemples représentatifs (à défaut d'être exhaustifs). Par exemple, on proposera une collection d'instances « vélo de course », « vélo de ville » et « vélo tout terrain » pour illustrer le concept de vélo.

On cherchera la plus grande *proximité* avec les connaissances du public.

L'exemple devra aussi être lisible. Il doit permettre de focaliser l'attention sur les éléments clés et ne pas distraire par des informations non pertinentes. Par exemple, on préférera un moineau à un perroquet pour illustrer une instance du concept d'oiseau.

L'exemple pourra aussi être engageant cognitivement, c'est-à-dire obligeant l'élève à valider la présence de tous les attributs définitoires et leur combinaison (Barth, 2011). On pourra faire appel à des exemples insolites et/ou énigmatiques : comme un « vélo couché » pour illustrer le concept de « vélo », ou un « pont-rivière » pour le concept de pont, ou encore une « antilope... dans un musée » pour illustrer celui de « document » (célèbre exemple de Suzanne Briet, qui étend ainsi le domaine de validité du concept de document).

Ce procédé, une fois l'exemple convoqué, oblige à une phase d'identification de la combinaison des attributs du savoir sur l'exemple, via une application injective entre le savoir et l'exemple. Par exemple, préciser en quoi titi peut être qualifié de canari. Cette tâche, menée par l'enseignant ou l'élève, contribue à rendre la connaissance utilisable ; elle est le siège de la *mise en action* de l'information déclarative nécessaire à son transfert (cf. processus d'entraînement).

C'est notamment le cas quand l'enseignant réalise (ou fait réaliser) une expérience devant les élèves. Dans le cas où les phénomènes observés constituent l'objet de l'apprentissage, et non le protocole expérimental (cf. plus loin, processus de monstration).

3.1.3.4. Le partitionnement

Ce procédé relève d'une approche analytique du savoir et convoque deux principes favorisant la compréhension.

Le premier principe est celui du « *traitement des parties* ». Quand le savoir est particulièrement complexe (dans le sens où ils sont composés de nombreuses parties reliées entre elles par des relations elles-mêmes nombreuses et diverses), il est souvent plus efficace de commencer par la compréhension des composantes avant d'aborder la compréhension de l'ensemble, mais sans croire que la compréhension de l'ensemble sera déduite de la compréhension des parties (e.g. Pollock, Chandler & Sweller, 2002 ; Ayres, 2006).

Le second principe, qui peut apparaître comme une transposition du premier, suggère une approche « *du statique vers le dynamique* ». Quand l'objet du savoir est dynamique, par exemple le fonctionnement interne du cœur, une présentation qui commence par la succession d'états et s'achève par la véritable dynamique est généralement plus efficace qu'une présentation qui irait du dynamique au statique (voir la synthèse de Jamet, Bétrancourt & Rouet, 2008). Autrement dit, il est préférable d'observer la bobine d'un film avant de regarder le film lui-même. Ce principe n'est pas du tout valable pour l'apprentissage de savoirs moteurs-procéduraux (Höffler & Leutner, 2007), comme pétrir de la pâte par exemple. L'observation du geste dynamique reste plus efficace.

3.1.3.5. La reformulation adaptée

C'est le fameux « dit autrement... » Ce procédé s'appuie sur le principe de *proximité* et convoque le concept didactique de *niveau de formulation* (Giordan & De Vecchi, 1987). On formule le savoir en un énoncé permettant de s'adapter aux différents paliers de compréhension de l'élève. Il prend en compte le niveau scolaire, les acquis des élèves et les représentations antérieures. Par exemple, l'énoncé de l'efficacité énergétique, « stratégie qui permet de réduire

les consommations d'énergie, à service égal rendu, et qui entraîne la diminution des coûts écologiques liés à la production et à la consommation d'énergie » (Cochet, 2000), peut être reformulé par « c'est faire mieux avec autant, pour *protéger la planète* ».

3.1.3.6. Le traitement analogique

Ce procédé est un moyen souvent utilisé pour favoriser la compréhension. Cela relève presque du réflexe lorsqu'un élève éprouve des difficultés à comprendre une notion ou à acquérir un savoir-faire.

Ce procédé s'appuie sur une mise en lien, de type « c'est pareil que », du savoir avec la connaissance. Au-delà de son aspect compulsif, il s'avère intéressant par son caractère économique en ce qu'il permet des rapprochements, voire des sauts, interdits ou inaccessibles au raisonnement « logique » (Bastien, 1997). C'est un excellent procédé didactique et pédagogique pour un enseignant expert de la discipline.

On distingue deux types de traitement analogique : l'analogie et la métaphore (Richard *et al.*, 1990).

L'analogie formule l'existence d'une relation identique entre deux paires d'éléments sans jamais l'exprimer explicitement : la relation qu'entretient (A) avec (B) est la même que celle qu'entretient (a) avec (b). Par exemple, la maintenance est à la machine ce que la médecine est à l'homme. Ce procédé permet de comprendre une connaissance particulière (maintenance) sans utiliser la connaissance générale (une discipline qui s'intéresse à la protection des choses, en l'occurrence biens ou personnes).

La métaphore désigne le savoir par une connaissance de l'élève (mot, objet ou idée) liée au savoir par une analogie. On utilise un

connu de l'apprenant novice (connaissance) pour présenter un tout (savoir) de manière cohérente (faire comprendre) sans que l'apprenant novice accède aux attributs du tout (savoir) de manière profonde. Par exemple, afin de favoriser la compréhension de concept de « formats de connaissance », nous avons proposé une métaphore du « dé à six faces ». Nous l'avons enrichie d'une seconde métaphore : celle qui consistait à considérer chaque face du dé comme celle d'un casier, qui contient les informations définissant le format. Aussi, si ce casier porte, par exemple, en face l'étiquette d'un format général, il porte en face arrière, son pendant, celui d'un format particulier. Cette métaphore cherche à expliciter le lien qui existe entre connaissance générale et connaissance particulière. Parmi les plus célèbres, les plus connues, on note le modèle de Rutherford qui consiste à postuler un « modèle planétaire » pour l'atome, la toile (d'araignée) pour internet ou encore l'exemple du cerveau pour expliquer ce qu'est une unité centrale d'un ordinateur ou réciproquement.

La critique principale qui est adressée à cette démarche est que, dans tout traitement analogique, la correspondance n'est jamais totale : il y a toujours des aspects non pertinents et la difficulté est que l'élève n'a pas toujours le moyen de détecter ce qui est pertinent et ce qui ne l'est pas (Richard *et al.*, 1990). Il faut donc veiller à bien préciser la propriété qui est pertinente pour le terme auquel est appliquée la métaphore.

D'autre part, ce qui constitue un bénéfice au début de l'apprentissage peut constituer un gros handicap par la suite (si on se met à croire que la mémoire de l'humain correspond au disque dur de l'ordinateur, on compromet pour longtemps la possibilité de comprendre ce qu'est la mémoire humaine... il en est de même pour le modèle de Rutherford).

3.1.4. En guise de synthèse

Comme l'illustre la figure 30, FAIRE COMPRENDRE un savoir, c'est :

EXPLICITER son contenu et son utilité au travers d'une mise en lien intrinsèque : c'est-à-dire une mise en relation des éléments internes au savoir (afin de former un TOUT),
mise en lien extrinsèque : c'est-à-dire le situer par rapport à d'autres savoirs faisant partie du même réseau (en tant que partie au sein d'un TOUT),

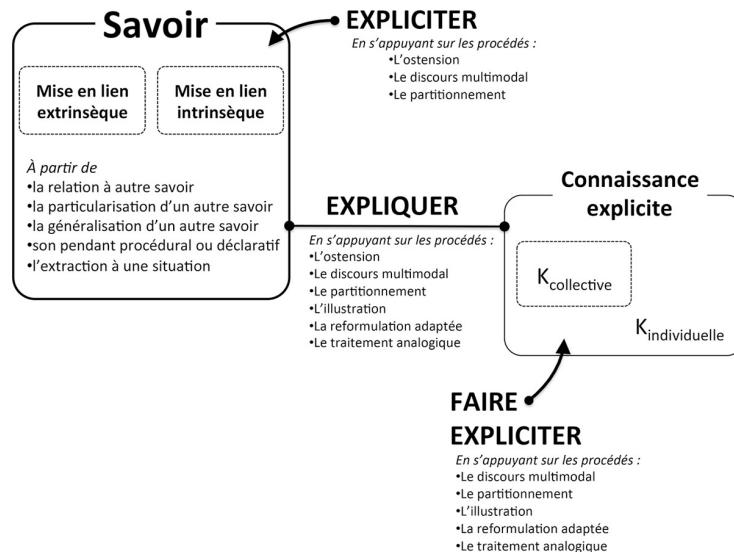
en s'appuyant sur des processus d'enseignement et des procédés favorisant la compréhension.

EXPLIQUER la forme institutionnelle du savoir au travers de mises en lien avec la connaissance de l'élève.

Devoir, au préalable, FAIRE EXPLICITER les connaissances implicites des élèves en s'appuyant sur des procédés favorisant la compréhension.

Ce processus *Faire comprendre* ne suffit pas à enseigner le savoir scolaire. La connaissance scolaire doit être assimilée, via un processus de transfert (afin de la rendre utilisable) : c'est le rôle du processus d'*entraînement*. Autrement dit, *Faire comprendre* se conjugue obligatoirement avec *Entraîner*.

**Figure 30 : Organisation du processus d'enseignement
FAIRE COMPRENDRE un savoir**



3.2. Enseigner à faire quelque chose

Comment enseigner à faire quelque chose, *i.e.* comment enseigner une connaissance procédurale ? Le fait de savoir ce qu'il y a à faire (ex. écrire un poème, réaliser une mesure) donne le but à atteindre et ses caractéristiques, mais ne suffit pas pour apprendre comment le faire. Pour enseigner une connaissance procédurale, il est nécessaire d'élucider la connaissance déclarative correspondante et la connaissance procédurale elle-même.

Élucider la connaissance déclarative, c'est réaliser une analyse notionnelle, c'est-à-dire rechercher les notions constitutives et des liens logiques multiples qu'elles entretiennent entre elles. Cette analyse donnera en quelque sorte le « cahier des charges », *i.e.* l'ensemble des caractéristiques du but à atteindre (ex. c'est quoi un poème ? C'est fait de quoi ?).

Élucider la connaissance procédurale, c'est analyser la tâche à réaliser, c'est-à-dire rechercher la suite des actions à mettre en œuvre pour passer de l'état initial (généralement la consigne donnée à l'élève) à l'état but (qui correspond à la connaissance déclarative et en a les caractéristiques). C'est quand ce que l'on fait correspond à ce que l'on cherche à faire, que l'on sait que l'on a fini. La réalisation de chaque action correspond à l'atteinte d'un sous-but.

Le couplage entre l'analyse de la forme déclarative et procédurale permet de répondre à la question : pourquoi telle action permet d'atteindre tel sous-but ? C'est pour correspondre à telle caractéristique du but final, *i.e.* de la forme déclarative / tel élément du cahier des charges (ex. l'action « trouver des mots qui se terminent par le même son » renvoie à la notion de « rime »).

Le degré de précision de l'analyse de la tâche dépend des connaissances préalables des élèves. Si ces derniers maîtrisent déjà telle action, alors il n'est pas besoin de l'analyser plus avant, car il ne sera pas besoin de l'enseigner. Par exemple, si la connaissance procédurale « écrire un poème » contient l'action « tout relire à la fin pour vérifier l'orthographe » et que cette action est déjà maîtrisée par les élèves, il n'est pas besoin d'analyser cette action. Il suffit de dire aux élèves que pour « écrire un poème » il est nécessaire de « tout relire à la fin pour vérifier l'orthographe ». Autre exemple : l'instruction « mettre sous tension l'appareil » peut suffire comme niveau d'information, mais peut nécessiter d'être précisée par « appuyer sur la face notée 1 du bouton vert qui se trouve en partie inférieure de la face avant de l'appareil », en fonction des connaissances préalables des élèves.

Ainsi, enseigner à faire quelque chose s'appuie sur l'explicitation de ce qu'il y a à faire et de comment le faire, explicitation qui concerne ce que les élèves ne savent pas déjà. Il se poursuit par la

mise en place d'un programme d'entraînement pour permettre à l'élève d'assimiler les connaissances nouvelles.

3.3. Enseigner une compétence

Comme nous l'avons défini dans le volet 1.2 « L'acte d'apprendre à l'école » de notre théorie, une compétence caractérise la capacité pour un individu de réaliser une tâche complexe T, en mobilisant une ou des connaissances (K) dans un certain contexte avec un certain niveau de performance.

La tâche complexe se caractérise par le fait qu'elle combine des éléments que l'élève connaît, maîtrise, qu'il a déjà utilisés plusieurs fois, mais peut-être de façon séparée, ou dans un autre ordre ou dans un autre contexte (Gérard, 2007). Elle fait appel, pour chaque élève, à des ressources internes (connaissances) et des ressources externes fournies par le professeur (fourniture de ressources et/ou accès à internet, dictionnaires, encyclopédies, manuels...) (M.E.N., 2010). Elle vise à transférer ce qui a été appris à l'école (ou en formation) à la vie quotidienne et au travail (Kirschner & Van Merriënboer, 2008).

L'apprentissage d'une compétence (scolaire) est un apprentissage complexe qui nécessite, de la part de l'élève, plus que la maîtrise de chacune des procédures à appliquer (Crahay & Detheux, 2005). Quand les connaissances sont incomplètes, il y a trois manières principales de s'occuper du problème (Tricot *et al.*, 2016) :

essayer de le résoudre en utilisant des essais et erreurs (par tâtonnement) ;

chercher des informations, par exemple dans un document ;

chercher de l'aide, généralement oralement, auprès d'une personne ayant les connaissances spécifiques pertinentes ou qui participera à la

résolution du problème.

Si l'on cherche à respecter le principe d'économie cognitive, enseigner une compétence c'est devancer la demande d'aide de l'élève, et ce en lui enseignant ces connaissances spécifiques pertinentes, qui relèvent d'un savoir organisé de l'expert (Reif & Heller, 1982). Ce qui est pertinent dans la compétence, c'est simplement d'identifier les connaissances qui seront modifiées au cours de l'apprentissage, pas toutes celles mobilisées pour la réalisation de la tâche. On y trouve des connaissances fondamentales, comme des concepts, lois, formules, et procédures. Mais aussi, et surtout, des connaissances auxiliaires issues de la pratique de la tâche complexe (Tricot & Sweller, 2014, 2016) comme des configurations prototypes, des catégories de problèmes ou des routines de réalisation (*routines de résolution, routines d'identification de catégories de questionnement, rhétorique de questionnement, résultats de routine*). Ces connaissances auxiliaires, qui relèvent de l'expertise de l'enseignant dans le domaine, constituent une *économie cognitive* significative pour l'élève (le novice) si elles lui sont enseignées.

En conséquence de quoi, nous avons décrit la compétence (scolaire) comme une Connaissance Spécifique de Domaine (CSD), caractérisée par toutes les connaissances mobilisées pour réaliser une tâche complexe $T_{\text{cplx_D}}$. Elle peut être spécifiée sous la forme :

$$\text{CSD} = \{T_{\text{cplx_D}} ; \Sigma K_D + \Sigma K_{T_{\text{cplx_D}}}\}, \text{ avec}$$

$T_{\text{cplx_D}}$: Tâche complexe du domaine (combinaison de tâches décomposables en sous-tâches)

ΣK_D : Ensemble des connaissances fondamentales convoquées pour réaliser la tâche (externes : convoquées pour la tâche) : *concepts, lois, formules, procédures*

ΣK_{Tcplx_D} : Ensemble des connaissances auxiliaires issues de la pratique de la tâche (internes : produites par la tâche) : *configurations prototypes, des catégories de problèmes ou des routines de réalisation.*

Enseigner une compétence, c'est faire apprendre cette connaissance spécifique de domaine (CSD). Toutes ces connaissances peuvent être transmises de manière proposée. Mais elles peuvent correspondre à des problèmes simplifiés (Gobet, 2018) : proposer des tâches d'élève et pas forcément des tâches d'expert (écrire un poème comme un élève et pas comme un poète). Trois processus complémentaires entre eux peuvent être mobilisés :

Enrichissement de la CSD par intégration de connaissances (K ; T). Par exemple, résoudre des calculs d'aire de surface en intégrant de nouveaux outils mathématiques.

Extension de la CSD par agrégation d'autres CSD. Par exemple, verbaliser ses idées par écrit en intégrant ses compétences en orthographe et en traitement de texte.

Enrichissement de la CSD par intégration de connaissances auxiliaires d'expert de la tâche. Par exemple, résoudre une épreuve de baccalauréat en intégrant les situations privilégiées et les routines de résolutions caractéristiques des épreuves durant les dix dernières années.

Cependant, l'acquisition d'une compétence mobilise un savoir-faire plus difficile à acquérir, d'autant plus qu'il est étroitement lié à l'information perceptuelle (Gobet, 2018). La fameuse intuition de l'expert ou encore le « sixième sens ». Mais l'intuition n'est rien de plus et rien de moins que de la reconnaissance (Simon, 1992). Les personnes « compétentes » perçoivent certaines caractéristiques comme saillantes et ne prêtent pas attention aux autres (Dreyfus et Dreyfus, 1986). « Le développement d'une expertise intuitive dépend

essentiellement de la qualité et de la rapidité du retour, ainsi que de la possibilité de pratiquer » (Kahneman, 2012, p. 291).

Van Merriënboer et Kirschner (2018) proposent un modèle de planification du développement des compétences pour les domaines d'apprentissage complexes (4C-ID / Ten Steps). Il s'inscrit dans une approche holistique de la compétence. Elle propose de placer les individus dans des situations contextuelles pour lesquelles ils font face à des tâches et des problèmes de la vie réelle. Leur complexité évolue progressivement en faisant appel à des connaissances étroitement coordonnées et intégrées. Étant donné l'hypothèse selon laquelle des éléments discrets sous-tendent les connaissances d'experts (Gobet, 2018), elle favorise une progression de résolutions de problèmes plutôt que la résolution d'un seul problème.

3.4. Enseigner l'autonomie

Derrière ce titre un tantinet provocateur, nous abordons ici la nécessité d'accompagner davantage l'élève dans la résolution du problème d'apprendre. L'aider à devenir autonome, c'est-à-dire à le rendre capable de se conduire lui-même et de faire face ; parce que l'autonomie n'est pas innée et ne s'achète pas au supermarché.

Puisque les élèves apprennent les connaissances scolaires en réalisant des tâches, une partie importante de la réussite des apprentissages réside dans la capacité des élèves à réaliser ces tâches. Ce qui veut dire simplement que, si en philosophie une tâche est de rédiger une dissertation, nous devons pouvoir enseigner aux élèves la réalisation de cette tâche.

Parmi elles, on recense des tâches (dites métacognitives) de planification, de contrôle ou de régulation de la réalisation de certains méta-apprentissages que sont : apprendre à comprendre, à

mémoriser ; à résoudre les problèmes, à gérer le temps ; ou encore prendre des notes.

On peut aider les élèves à apprendre en les accompagnant dans la réalisation des tâches scolaires ou en leur enseignant la façon de réaliser ces tâches. Il nous faut être concrets, dire précisément de quoi nous parlons.

Nous avons développé quelques repères pour aider les élèves à apprendre dans notre ouvrage *Comment concevoir un enseignement ?* (Musial, Pradère & Tricot, 2012). Nous renvoyons aussi le lecteur aux fiches méthodologiques de Sumeracki et Weinstein (2018).

4. LES TÂCHES D'ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE

L'acte d'enseigner s'observe au travers de tâches d'enseignement. La tâche d'enseignement est sous-tendue par un processus d'enseignement, c'est-à-dire par la « prise à son compte » par l'enseignant d'une partie du processus d'apprentissage, lui-même soutenu par une tâche d'apprentissage. À l'instar du yin et du yang, une tâche d'enseignement et une tâche d'apprentissage n'existent pas en dehors de cette relation qui les lie.

Parmi les tâches d'enseignement, on distingue celles qui relèvent de la préparation d'un enseignement (qui fait l'objet du troisième volet de notre théorie de l'ingénierie pédagogique) et celles qui se déroulent au cours de la conduite d'un enseignement.

4.1. Les grandes catégories de tâche d'enseignement-apprentissage

Nous distinguons quatre types de tâches d'enseignement mises en œuvre lors d'une séance d'enseignement-apprentissage.

4.1.1. La tâche d'exposé

Elle peut porter sur un savoir, une tâche ou une situation et s'appuyer sur un discours verbal et visuel et/ou sur une gestuelle.

Elle est adossée à des tâches d'apprentissage comme les tâches d'étude de cours et peut être sous-tendue par n'importe quel processus d'enseignement (excepté l'explicitation déclarative et procédurale).

4.1.2. La tâche de maïeutique

Elle vise à faire expliciter une connaissance implicite ou abstraire une information d'une situation (souvent via une modalité de questionnement ou de dialogue). Elle est régie par les processus d'explicitation déclarative ou procédurale et le processus d'abstraction.

Elle est adossée à la tâche d'apprentissage d'étude de cas.

4.1.3. La tâche de soutien-entraînement

Elle porte sur l'utilisation et la mobilisation d'un savoir pour comprendre ou agir sur une situation. Elle correspond à ce que fait l'enseignant pour adapter ses interventions aux capacités des apprenants ainsi que tous ses processus d'ajustements (Grandaty, 2011). Elle est régie par l'interaction de tutelle et renvoie aux fonctions d'étayage de Bruner (1983).

Elle est adossée à toutes les tâches d'apprentissage que sont l'étude de cas, l'étude de texte (ou procédure) ou d'un document multimédia, les tâches de résolution de problème ou de recherche d'informations.

4.1.4. La tâche d'évaluation de la connaissance et de son utilisation

Cette tâche d'enseignement est à part, en ce sens où elle est adossée à toutes les autres tâches d'enseignement et constitue la fonction centrale de la régulation d'un enseignement (modifier ce qui est en cours, ce qui a été prévu).

De par sa nature et ses biais, c'est sûrement la tâche d'enseignement la plus complexe et la plus délicate à mener. Elle doit être conçue, mais elle nécessite d'être menée de façon opportuniste.

Son rôle est de permettre à l'élève et à l'enseignant d'accéder à la connaissance scolaire (en termes de contenu et d'utilisation), d'en mesurer l'écart avec le savoir scolaire et de décider des actions didactiques et/ou d'apprentissage à mener pour poursuivre l'élaboration de la connaissance.

Nous voulons ici rappeler l'importance des formats de connaissances dans l'évaluation. Il nous semble donc important, lorsque l'on conçoit une tâche pour évaluer une connaissance (de façon anticipée ou opportuniste), d'être bien au clair sur le format de cette connaissance. Ainsi, concevoir une évaluation, c'est concevoir une tâche qui correspond précisément au contenu et au format de la connaissance que l'on veut évaluer. Nous avons développé quelques repères sur la tâche d'évaluation dans notre ouvrage *Comment concevoir un enseignement ?* (Musial, Pradère & Tricot, 2012).

4.2. Configuration de mise en œuvre d'une tâche d'enseignement-apprentissage

Une tâche d'enseignement-apprentissage peut aussi être spécifiée par la configuration d'enseignement-apprentissage : l'enseignant face aux élèves, l'enseignant interagissant avec un groupe d'élèves, l'enseignant accompagnant un élève, etc.

Molenda (1995, dans Reigeluth, 1996, p. 23) a proposé une typologie de ces configurations.

Chapitre 3

3. Théorie de l'acte de concevoir

1. **L'ingénierie comme moyen pour préparer un enseignement**
2. **Modélisation de l'activité de conception pédagogique**
3. **Une démarche systémique de conception pédagogique**

Ce troisième volet de notre théorie de l'ingénierie pédagogique propose une « théorie de l'élaboration d'un enseignement » (*Elaboration Theory* ; Reigeluth, 1999), c'est-à-dire un modèle de préparation d'un enseignement qui aide à prendre des décisions sur quoi enseigner et dans quel ordre. Cette théorie du « COMMENT S'Y PRENDRE » syncretise celle d'« APPRENDRE à l'École » et celle du « FAIRE APPRENDRE » pour préciser « *Comment planifier un enseignement si l'on vise tel résultat d'apprentissage à propos de tel savoir* ».

1. L'INGÉNIERIE COMME MOYEN POUR PRÉPARER UN ENSEIGNEMENT

1.1. Une analogie en guise d'introduction

Imaginons que l'école soit un « tour opérateur » qui propose à des élèves un long séjour au « pays du savoir ». Elle s'adresse pour cela à un (des) concepteur(s)-créateur(s) de séjour de voyage.

L'enseignant ou le formateur qui prépare un enseignement est comme le concepteur-créateur de voyage qui élabore un produit touristique. Spécialisé sur une zone géographique (continent, pays ou ville...), il doit très bien connaître la région dont il s'occupe. Son travail de création consiste notamment à établir un circuit, choisir des lieux de visite, des hôtels et modes de transport. Mais il doit composer pour proposer un bon rapport qualité/prix. Il s'appuie pour cela sur des ressources lui donnant des informations d'ensemble (comme les cartes topographiques) et des informations de détails (comme le descriptif technique d'un lieu de visite). Le produit élaboré sera ensuite présenté dans des brochures de voyage sous forme de descriptifs, de fiches techniques et d'une sélection de photos.

Tout comme le concepteur-créateur de voyage, la mission de l'enseignant relève de l'élaboration d'un produit de découverte d'une région méconnue du « pays du savoir », dont il est un spécialiste (sa discipline scolaire). À la différence du concepteur-créateur de voyage, l'enseignant ne choisit pas les lieux de visite (ce qui n'est pas le cas pour un formateur) : ils lui sont précisés par une institution, dans un programme, sous forme de libellés succincts. Mais à lui de créer un circuit de visite de la région du « pays du savoir » et de définir les modalités de découverte, en s'appuyant sur des ressources donnant des informations d'ensemble et des informations de détails. Mais à la

notable différence près que les cartes topographiques du « pays du savoir » ne sont guère ou pas disponibles. Et par conséquent, c'est à l'enseignant de les élaborer, à partir d'un travail d'analyse de la matière à enseigner.

Tout comme le concepteur-créditeur de voyage, l'enseignant doit composer pour proposer un bon rapport qualité/prix au voyage : proposer les moyens optimaux d'enseignement pour favoriser un apprentissage au coût cognitif optimal. Une bonne connaissance de la clientèle est un atout : sa nationalité, ses spécificités culturelles et sociales, ses motivations...

L'enseignant qui prépare son enseignement sait qu'il endossera ensuite l'habit de guide touristique, aux fonctions d'accompagnateur, d'interprète et de conférencier. Il sait qu'il ne doit rien laisser au hasard afin que les élèves profitent pleinement de leur visite d'une région du « pays du savoir »... pendant et après. Il sait qu'il doit être en capacité de s'adapter *in situ* à la clientèle et à ses singularités, grâce à des variantes qu'il aura prévues, sans pour autant nuire aux attentes collectives et aux enjeux du voyage. Il sait qu'il devra enrichir les souvenirs des élèves et favoriser leur transformation en connaissances, grâce à son discours d'expert, adapté et pertinent, en suggérant des photos et en proposant des brochures descriptives de la région et des lieux visités (les documents de la leçon).

À travers cette analogie, nous avons voulu signifier que l'acte d'enseigner repose sur une activité de préparation qui se veut pertinente (répondre au besoin d'apprendre) et efficiente (au meilleur rapport apprentissage/coût.). Sa finalité est de définir le couple {tâche d'enseignement ; tâche d'apprentissage}. Elle consiste à préciser et cartographier le savoir à enseigner, à en esquisser un parcours de découverte et à définir les modalités de cette découverte. Autrement dit, préparer un enseignement, c'est définir le « quoi

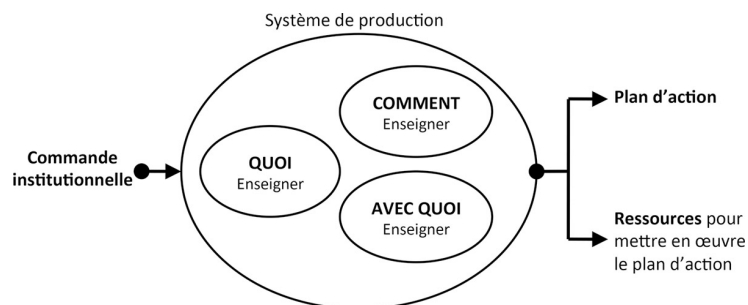
enseigner », le « comment enseigner » et le « avec quoi ». Nous pensons que cette activité relève de la conception.

1.2. L'activité de conception comme moyen de préparation d'un enseignement

Nous proposons de décrire la préparation d'un enseignement comme un système de production qui transforme une commande (institutionnelle) d'enseignement d'un savoir en une planification opérationnelle d'un acte d'enseigner (cf. figure 31). Il s'organise autour de trois activités : spécifier le « quoi enseigner », le « comment enseigner » et le « avec quoi enseigner ». Le produit final est double : un plan d'action et des ressources pour le mettre en œuvre. L'enjeu réside dans la réussite de l'action didactique *in situ* (i.e. dans la classe), c'est-à-dire la réussite conjointe de l'apprentissage par l'élève et de son étayage par l'enseignant.

Nous pensons aussi, comme Simon (2004), que (la préparation d') un enseignement, en tant qu'activité de résolution de problème ouvert (Koedinger *et al.*, 2013), relève d'une ingénierie, d'une science de la conception.

Figure 31 : Modélisation de l'activité de préparation d'un enseignement



La conception est une activité complexe, notamment parce qu'elle n'est pas déterminée (Le Moigne, 1999) : elle est influencée par de nombreux paramètres en interaction les uns avec les autres, dont les données incomplètes et évolutives (par exemple, les fonctions « comment enseigner » et « avec quoi enseigner » interagissent fortement entre elles) ne permettent pas de mettre en œuvre une démarche scientifique ou itérative ou tout autre processus logique.

On peut cependant appliquer des méthodologies de conception, mais il n'y a pas de procédures guidant pas à pas le développement de la solution (Darses, 2000). Elle repose sur un principe d'opportunité (Bonnardel, 2006).

2. MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ DE CONCEPTION PÉDAGOGIQUE

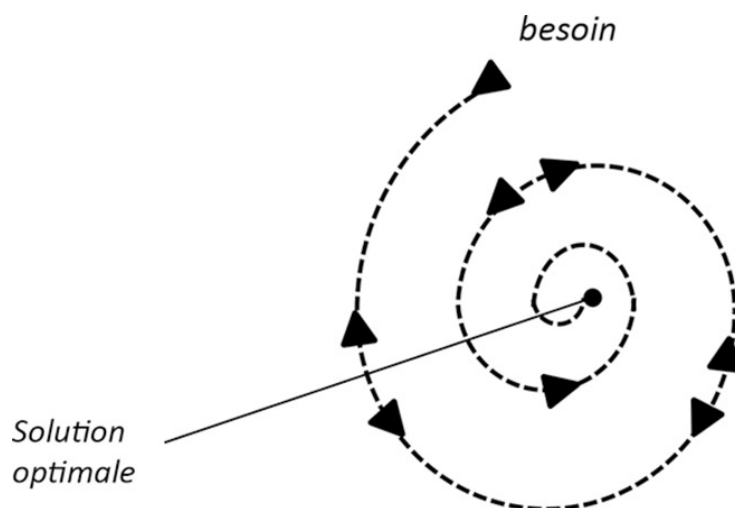
La conception pédagogique relève des activités de conception créatives. Selon Bonnardel (2006, p. 32), ces dernières se caractérisent par la recherche d'objectifs au départ peu spécifiés, le respect de contraintes, la nature située de l'activité, la nécessité d'une certaine créativité, une représentation mentale évolutive du problème de conception, une activité mentale en interaction avec l'élaboration d'une représentation externe et enfin le rôle de l'expertise du concepteur dans le domaine.

On se propose de modéliser cette activité complexe, dans le contexte particulier de la préparation d'un enseignement, afin de la *rendre intelligible* (Le Moigne, 1999) sans la nier (Alhadeff-Jones, 2008), au moyen d'une description économique (Le Moigne, 1999) caractérisant sa dynamique et ses processus « organisateurs ».

2.1. La dynamique de conception

L'activité de conception (cf. figure 32) repose sur une approche comparable à une spirale qui se déploie en plusieurs cycles (Zeisel, 1981). Les processus impliqués dans la conception ne sont ni linéaires ni séquentiels (Dessus, 2008). Ils sont itératifs et procèdent de changements progressifs et opportunistes, en ce sens que « chaque décision est motivée par la ou les décisions qui précèdent plutôt que par un programme exécutif de haut niveau » (Hayes-Roth, 1979, dans Bonnardel, 2006, p. 53). Ils sont récursifs, c'est-à-dire que toute décision peut être reconsidérée à chaque changement d'état (Gustafson, 2002).

Figure 32 : Principe de la dynamique de conception



Ce qui enclenche l'activité de conception, c'est un besoin (Bonnardel, 2006), en l'occurrence celui d'enseigner un savoir (commandé par l'institution) en favorisant son apprentissage. La solution trouvée ne sera pas satisfaisante : ni bonne ni mauvaise

(Demailly, 2004). Elle sera optimale, dans le meilleur des cas (Tricot, 2007).

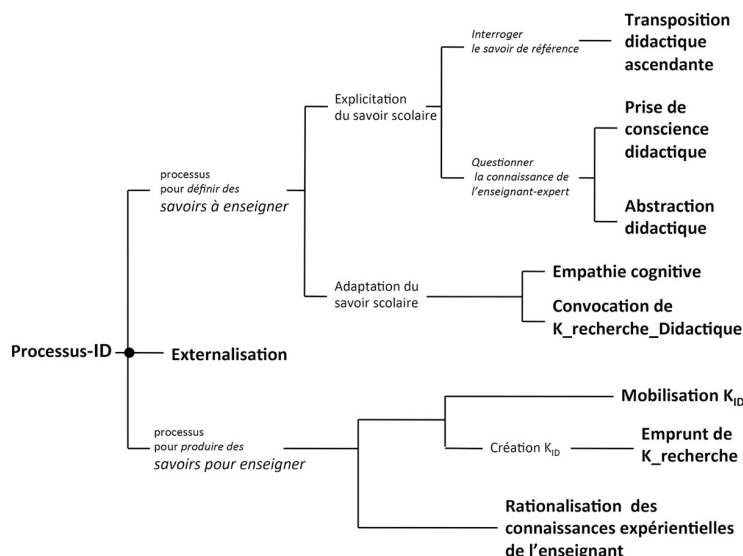
Ce qui dynamise l'activité de conception, c'est un besoin particulier induit par « une nouvelle façon de voir les choses », elle-même générée par des représentations externes (Bonnardel, 2006), par exemple, une esquisse de la solution.

2.2. Les processus organisateurs

Comme tout système de conception, il est possible de décrire cette activité complexe en y distinguant des processus organisateurs (Le Moigne, 1999), rassemblés par la figure 33. Outre le processus d'*Externalisation*, qui favorise la dynamique de recherche de la solution optimale (Bonnardel, 2006), on peut relever deux autres catégories : d'une part, les processus mis en jeu pour définir des savoirs à enseigner (comme la *Transposition didactique ascendante*, la *Prise de conscience didactique* ou l'*Abstraction didactique*) et d'autre part, les processus permettant de produire des savoirs pour enseigner, c'est-à-dire pour favoriser les apprentissages (comme la *Mobilisation des Connaissances en Instructional Design* ou l'*Emprunt de Connaissances issues de la recherche*).

Nous proposons de considérer ces processus comme un ensemble de connaissances très générales qui régissent l'activité de conception pédagogique (Instructional Design). Nous les nommerons par le terme « processus-ID ».

Figure 33 : Typologie des processus organisateurs de l'action de conception pédagogique (Processus-ID)



Pour reprendre notre référence au système de pensée à deux vitesses de Kahneman (2012), ces processus sont ceux de « l'esprit algorithmique, qui gère la pensée lente et les calculs difficiles ».

Nous proposons maintenant de les expliciter.

2.2.1. L'externalisation

Le processus d'externalisation correspond à la production de traces écrites (texte, schéma, dessin) à propos du problème (de sa définition ou redéfinition) ou de la solution (Bonnardel, 2006). Elles peuvent être produites sous forme d'esquisse (qui sert de brouillon) ou sous forme finalisée (plus précise et plus structurée).

Dans notre contexte, c'est par exemple l'élaboration d'une carte conceptuelle. Elle permet de redéfinir le problème d'explicitation d'un savoir à enseigner, en transformant un libellé laconique de programme en un ensemble de notions liées à faire apprendre.

Comme le souligne Bonnardel (2006, p. 65), ces représentations graphiques permettent une « conversation réflexive » (Schön, 1983) (c'est-à-dire un dialogue entre le concepteur et les traces graphiques qu'il produit) ainsi qu'une réflexion-in-action (Schön & Wiggins, 1992) (c'est-à-dire une réflexion au cours de la réalisation de l'action). Selon Simon (1995), cette trace écrite contient une décision, combinée et mise en relation avec toutes les autres décisions que nous avons déjà prises et celle que nous allons prendre. Ainsi, et toujours selon Bonnardel (2006), ce processus, à vocation réflexive, joue un rôle majeur dans la dynamique du processus de conception, en induisant « une nouvelle façon de voir les choses ». Il interagit avec d'autres processus cognitifs tels que le maintien en mémoire de travail de ressources (en permettant ainsi de pallier les limites de cette dernière) ou la compréhension (en favorisant l'analyse-synthèse, la prise de conscience ou encore l'analogie), « afin de permettre la définition et la redéfinition du problème de conception, l'adoption d'une démarche opportuniste, l'adoption de nouveaux points de vue et un élargissement de l'espace de recherche » (Bonnardel, 2006, p. 67).

Visser (2009) voit dans la mobilisation de ce processus l'expression d'un nouveau paradigme de l'activité de conception, qu'il qualifie de « construction de représentations », la distinguant de celle de « résolution de problème complexe » héritée de H. Simon.

2.2.2. Les processus pour définir des savoirs à enseigner

Les commandes institutionnelles (via un programme ou un référentiel de formation) se contentent de préciser les savoirs à enseigner sous forme de libellés assez succincts. Elles sous-tendent ainsi une tâche dévolue à l'enseignant : transformer ces libellés succincts en contenus effectifs d'enseignement (Chevallard, 1985).

Cette tâche didactique de production d'informations à enseigner est double. Elle consiste (a) à donner corps à cet énoncé laconique du savoir (b) tout en l'adaptant au public. Nous proposons d'y distinguer deux types de processus : l'*explicitation* et l'*adaptation*.

2.2.2.1. Les processus d'explicitation du savoir scolaire

L'objet de l'explicitation est double : il concerne le savoir et la connaissance. Cela implique un travail didactique de production de contenus d'enseignement régi par deux catégories complémentaires de processus d'explicitation : ceux qui interrogent le savoir de référence et ceux qui questionnent la connaissance de l'enseignant, expert de sa discipline et de l'enseignement de cette dernière.

a. Première catégorie : interroger le savoir de référence

La première catégorie de processus renvoie à la responsabilité de l'enseignant sur son propos didactique, médiatisé par l'adage « on enseigne bien ce que l'on connaît bien ». Il s'agit d'attester que la construction du savoir dispensé à partir des connaissances du professeur est compatible avec le savoir de référence. Aussi, comme Martinand (2003), nous pensons que « la problématique de la référence est fondamentale » et que ce postulat sous-tend l'absolue nécessité pour l'enseignant de convoquer des savoirs et de pratiques de référence pour éclairer et définir les contenus effectifs d'enseignement.

Cette première catégorie interroge donc le savoir de référence, qui se décline en savoir savant (Chevallard, 1985), savoir d'expert (Joshua, 1998) et pratiques sociales de référence (Martinand, 1989). Les savoirs savants sont produits par des communautés scientifiques

identifiées (ou identifiables) alors que les savoirs experts visent à rendre compte d'autres sources de production de savoirs qui ne répondent pas à ces critères institutionnels de production (Cheneval-Armand & Ginestié, 2009). Parmi ces derniers, on trouve des gestes professionnels, des conduites individuelles, des réglementations, des normes et/ou encore des approches méthodologiques (Ginestié, 2000). Les pratiques sociales de référence (Martinand, 1989) sont ces activités socialement répandues qui peuvent servir de référence aux activités scolaires et dont le savoir expert est abstrait (Joshua, 1996).

Interroger le savoir de référence, c'est lever le voile sur cette distance entre référence et discipline scolaire, résultat de la *transposition didactique* (Chevallard, 1985). C'est-à-dire sur ce processus de transformation normale du savoir de référence en discipline d'enseignement : du programme d'enseignement jusqu'à leur habillage dans une situation scolaire. Chevallard précise notamment que « la transposition didactique n'est ni bonne ni mauvaise, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'enseignement sans transposition, qu'elle n'est pas un effet pervers, une dénaturation, mais une transformation normale, auquel nul n'échappe lorsqu'il veut transmettre un savoir » (Perrenoud, 1998, p. 491).

Le principe consiste à remonter le processus, c'est-à-dire à mener une *transposition didactique ascendante* (Schubauer-Leoni dans Wallian *et al.*, 2008), sans laquelle l'action didactique ne peut appréhender les enjeux de savoir que l'institution propose.

Les processus sont ceux de la recherche de la référence, de la *reconstruction épistémologique*, comme l'*explicitation conceptuelle* ou *procédurale* ou encore la remise en lien avec d'autres savoirs (*resynchronisation* par opposition à la désynchronisation (Chevallard, 1985)). Elle peut se prolonger par des processus de *recontextualisation et de repersonnalisation* des connaissances (par

opposition à la décontextualisation et dépersonnalisation (Chevallard, 1985)), qui interrogent eux l'origine de la connaissance.

b. Seconde catégorie : questionner la connaissance de l'enseignant-expert

La seconde catégorie de processus d'explicitation vise à questionner la connaissance de l'enseignant, expert de sa discipline et de l'enseignement de cette discipline.

Ce type de connaissances sert à « combler le vide » laissé par le savoir de référence : celles que l'on ne trouve pas dans les textes institués comme les articles scientifiques, les encyclopédies, les précis, les normes, les ouvrages ou encore les manuels et ressources scolaires. Par exemple, « comment mesurer avec une règle graduée », « comment reconnaître le héros dans un roman », « comment serrer fort une vis », « comment cuire à point une entrecôte », « comment identifier et expliciter les données implicites dans un énoncé de problème en mathématiques », « comment identifier une mélodie dans une œuvre musicale » ou encore « comment lire un énoncé pour trouver la connaissance à mobiliser ». Elle relève principalement de la mobilisation de connaissances explicites et peut correspondre à des procédures mais aussi à des singularités ou des récurrences factuelles (comme des situations stéréotypes). Cela sous-tend un apprentissage empirique de la part de l'enseignant, au cours de sa vie d'élève, de professionnel et/ou d'enseignant.

L'enjeu est celui de l'explicitation exhaustive de l'implicite. En s'attachant à « traquer le diable qui se cache dans les détails » : ce qui signifie, dans le cas de la « mesure avec une règle », d'envisager qu'il puisse manquer les premières graduations. Dans le cas de « l'élaboration d'un croquis en géographie », cela nécessite de préciser « quel instrument utiliser ET quel instrument ne pas utiliser », de

« faire des essais au brouillon », ce que veut dire « clair et soigné » ou « organisé ». Depuis l'avènement d'internet, ces ressources sont de plus en plus disponibles.

L'élaboration de ces savoirs pourra s'appuyer sur les processus cognitifs tels que :

La *prise de conscience didactique*. C'est une attitude réflexive de l'enseignant sur la façon dont il réalise une tâche d'élève en vue d'en extraire la connaissance procédurale mobilisée. Ce « détricotage procédural » porte notamment sur les actions mentales implicites voire automatisées. Il est soutenu par deux mécanismes distincts : *l'analyse de l'action* et son *explicitation* (respectivement, le découpage de l'action en étapes successives, en y distinguant les actions élémentaires les unes des autres, et en les catégorisant, d'une part et en nommant ce que l'on fait, d'autre part).

L'*abstraction didactique* correspond à la recherche de (régularités) récurrences factuelles ou procédurales dans les situations scolaires rencontrées.

Par exemple, Dumas-Carré (1989) a montré, en étudiant les problèmes de manuels scolaires ou d'annales d'examen, que certaines situations sont privilégiées alors que d'autres sont totalement absentes. Les savoirs ainsi extraits peuvent être des catégories de situation-problème, des canevas de plan d'action, des catégories de questionnement, des routines de catégorisation, des routines de résolution ou encore des résultats typiques.

Nous voulons attirer l'attention sur la pertinence à interroger l'expérience de l'enseignant. Cette connaissance d'expert, si elle est enseignée explicitement, va permettre à l'élève (le novice) de faire une véritable économie cognitive.

2.2.2.2. Les processus d'adaptation du savoir à enseigner

Après avoir interrogé le savoir de référence et questionné la connaissance de l'enseignant, l'attention se porte sur l'élève. On examine les conditions d'adaptation du savoir à enseigner au profil de l'élève. On recherche ses connaissances dans le domaine mais aussi ses *représentations* ainsi que son *rapport au savoir* (Beillerot *et al.*, 1989, 2000) et à l'*apprentissage* (comment il pense qu'on enseigne et que l'on apprend ou comment il aime apprendre ou pas dans ce domaine). Cette tâche peut être facilitée par deux processus :

Empathie cognitive, qui permet de recueillir une information sur autrui (de Waal, 2010). Il s'agit de se mettre mentalement à la place de l'élève pour se représenter ce qu'il a à l'esprit (Ferry, 2015). En étant conscient que « quand on se met dans les souliers d'autrui, on peut réagir autrement », selon Carl Rogers (1991).

Convoquer les connaissances de référence issues de la recherche en didactique de la discipline.

Il s'agit ici d'aller chercher le *savoir savant* à propos du contenu pédagogique. C'est-à-dire comprendre comment les apprenants construisent leurs savoirs dans un domaine donné (Shulman, 1987). La connaissance du contenu pédagogique permet d'appréhender les difficultés fréquentes des élèves dans un domaine et les moyens de les surmonter (Dumont *et al.*, 2010).

2.2.3. Les processus pour produire des savoirs pour enseigner

Selon Bonnardel (2006), l'activité de conception correspond à une démarche non linéaire, fondée sur l'emprunt de connaissances potentiellement différentes à chaque fois, selon le besoin particulier. Dans notre contexte de conception pédagogique, ces connaissances K_{ID} sont des savoirs issus de la recherche. Par convention, nous

nommerons, par la suite, ces savoirs issus de la recherche par le terme « Connaissances ».

2.2.3.1. Mobiliser les Connaissances issues de l'Instructional Design

Attirer le soutien de la connaissance scientifique dans le domaine pour réaliser un projet d'enseignement (Artigue, 1991) est un processus identitaire de la conception pédagogique. Il qualifie une forme de travail didactique caractéristique de cette ingénierie, et pour lequel on cherche à convoquer des résultats de travaux de recherche en *Instructional Design* à validité empirique (Koedinger, 2010). Cependant, (a) il existe très peu de ce type de Connaissances (b) qui soient directement utilisables par l'ingénierie pédagogique. On peut relever les *14 effets didactiques* issus de la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2010) ou le cadre *ICAP* (Chi & Wylie, 2014). On peut aussi retenir le modèle de planification d'enseignement de tâches complexes *4C-ID Ten steps to complex learning* (van Merriënboer & Kirschner, 2018).

2.2.3.2. Création de K_{ID} par Emprunt de Connaissances issues de la recherche

L'*Emprunt de Connaissances* est le processus qui permet de pallier ce manque. Il consiste à convoquer des résultats de recherches théoriques et pratiques dans les domaines de la cognition, de la psychologie de l'éducation et de la résolution de problèmes (Siemens, 2002).

Comme l'illustre la figure 34, ce processus d'Emprunt de Connaissances au domaine du « savoir pour enseigner » s'articule autour de deux activités : la recherche d'information et la transposition à la conception pédagogique.

La recherche d'information. À partir d'un besoin particulier (et explicite) de connaissance K_{ID} pour enseigner, la recherche d'information vise les Connaissances K_{S-emp} validées empiriquement. Ce processus articule la compréhension du contenu des ressources documentaires et processus de résolution de problème pour en extraire la connaissance (Rouet & Tricot, 1995, 1998). Il est légitime de penser que la recherche d'information nécessite un niveau d'expertise certain dans le domaine de recherche exploré. Cependant, le concepteur, s'il ne possède pas ce niveau d'expertise, pourra demander l'aide d'un expert du domaine.

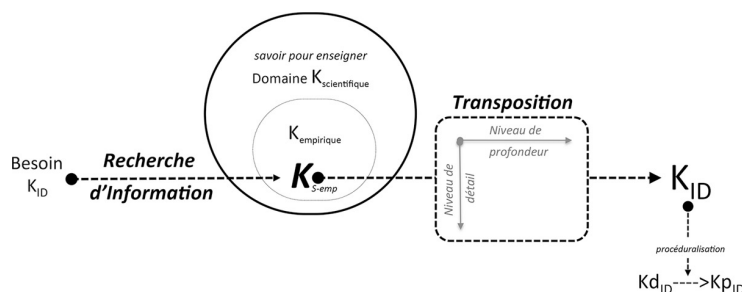
La prise de conscience d'un besoin de Connaissances ne suffit pas à enclencher le processus de recherche d'information (Tricot, 2006). Il est conditionné à l'évaluation du rapport bénéfice/coût de cette recherche. Ces activités mentales seraient influencées par des facteurs externes à l'individu (contraintes de la situation, présence d'un nouvel artefact dans la situation) et par ses connaissances antérieures (dans le domaine de contenu, compétences techniques et compétences informationnelles). Il est très probable que cette évaluation du rapport bénéfice/coût des différentes solutions possibles soit calculée en fonction de représentations de la probabilité subjective d'atteindre le but, de façon absolue (est-ce que cela vaut le coût de rechercher à atteindre ce but ?) et de façon relative à la manière (cette manière est-elle moins coûteuse, plus sûre, que telle autre ?). Nous postulons que ne pas chercher à atteindre le but relève d'une sous-estimation des bénéfices.

La transposition. C'est le processus qui va « faire passer » les Connaissances K_{S-emp} dans le domaine de la conception pédagogique, en l'adaptant à des conditions nouvelles, à un contexte différent (par exemple, du domaine de l'apprentissage naturel à celui de l'apprentissage à l'école). Cette transformation des Connaissances K_s .

K_{ID}^{emp} en Connaissances K_{ID} nécessite en tout premier lieu de calibrer le contenu de la Connaissance K_{S-emp} sélectionnée (niveau de profondeur et de détail). Par exemple, notre cadre théorique « APPRENDRE » est le résultat d'une transposition de connaissances en psychologie des apprentissages naturels et scolaires.

La Connaissance K_{ID} résultant de cette transposition devra vraisemblablement faire l'objet d'une transformation pour la rendre utilisable, via un processus de procéduralisation. Par exemple, la « Matrice des formats et processus d'apprentissage » devient un outil pour définir le champ notionnel d'un savoir scolaire sous la forme d'une « carte des formats du champ notionnel » (cf. chapitre 3, « Théorie de l'acte de concevoir »).

Figure 34 : Processus de création de K par emprunt de Connaissances



2.2.3.3. Rationaliser les connaissances expérientielles de l'enseignant

Il serait absurde (en tout cas peu vraisemblable) de penser que les connaissances issues de la recherche recouvrent toutes les connaissances nécessaires à la conception d'un projet d'enseignement. Comme le précise Brousseau (2008), « pour prendre les décisions qui s'imposent à eux, les professeurs utilisent explicitement ou implicitement toutes sortes de connaissances, de

méthodes, et de croyances sur la façon de trouver, d'apprendre, ou d'organiser un savoir. Ce bagage épistémologique est essentiellement construit empiriquement » [il appelle l'épistémologie spontanée du professeur]. Mais plutôt que de l'opposer aux connaissances scientifiques, il est essentiel au contraire de respecter et de considérer ces connaissances expérientielles (Schön, 1994). Elles viennent « combler le vide » laissé par la science, car l'enseignant-concepteur doit « travailler sur des objets qui sont beaucoup plus complexes que les objets simplifiés de la science » (Artigue, 1989). Mais, elles constituent surtout un formidable appui à l'expression d'un besoin de Connaissances issues de la recherche et, par conséquent, un déclencheur du processus de *recherche d'informations*.

Ce *processus de rationalisation* (Stanovich, 2011), qui relève de la résistance cognitive (Houdé, 2015), questionne les pensées et les actes « suggérés » par notre système de pensée rapide (Kahneman, 2012) (celui de la pensée intuitive basée sur l'expérience mémorisée, suscité par une fonction automatique de la mémoire associative (Simon, 1992)). Il fait appel à notre système de pensée lente (Kahneman, 2012) qui est chargé de surveiller et de contrôler les propositions, à première vue séduisantes, du système de pensée rapide. C'est ce scepticisme qui déclenche le processus de recherche de connaissances en ID.

3. UNE DÉMARCHE SYSTÉMIQUE DE CONCEPTION PÉDAGOGIQUE

Comme nous venons de l'écrire, l'ingénierie pédagogique, en tant qu'activité de conception, correspond à celle de l'enseignant-concepteur opportuniste, dont la démarche se veut non linéaire,

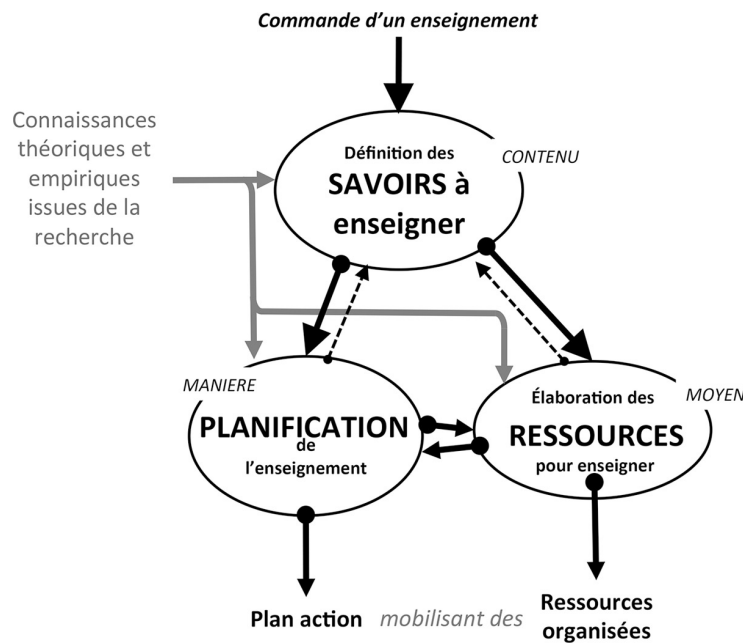
fondée sur l'emprunt de connaissances potentiellement différentes à chaque fois, selon le besoin particulier (Bonnardel, 2006). Ce statut nécessite un haut niveau d'expertise dans différents domaines de connaissances tels que la cognition, la psychologie de l'éducation et la résolution de problèmes.

Cependant, nous pensons qu'il existe une ingénierie pédagogique de l'enseignant-concepteur planificateur basée sur une approche plus systématique. C'est-à-dire une démarche plutôt linéaire (à la limite itérative), fondée sur une suite d'algorithmes, avec un ensemble bien défini de K_{ID} . Elle pourra servir d'appui à une évolution vers une démarche plus opportuniste. C'est une démarche de ce type que nous souhaitons exposer maintenant.

La démarche que nous proposons se veut systémique dans l'organisation du projet d'enseignement en termes de « CONTENU », de « MANIÈRE » et de « MOYEN ». Notre proposition convoque des savoirs théoriques et empiriques en didactique des disciplines, en psychologie des apprentissages et en *Instructional Design*.

Comme l'explique la figure 35, notre démarche d'ingénierie pédagogique propose un premier niveau d'organisation autour des trois grandes activités de la préparation d'un enseignement : « Définition des savoirs à enseigner », « Planification de l'enseignement » et « Élaboration des ressources pour enseigner » (Dessus, 2000 ; Bécu-Robinault, 2007 ; Margolinas, 2007 ; Leroyer, 2010). Ces trois activités sont en interaction dynamique et contribuent à produire des ressources (un plan d'action et des ressources pour le mettre en œuvre) nécessaires à une conduite rationnelle d'un enseignement-apprentissage.

Figure 35 : Les activités de la démarche de conception pédagogique



L'activité de « définition des savoirs à enseigner » sert de point d'appui aux deux autres. Elle traite la commande institutionnelle (*i.e.* le savoir à enseigner, défini par un programme qui peut être un contenu déclaratif, procédural ou encore une compétence), mais aussi des besoins nécessaires à l'optimisation de chacune des deux autres activités, que sont la « planification d'un enseignement » et l'« élaboration des ressources pour enseigner ».

Ces deux activités se nourrissent du produit de l'activité de « définition des savoirs à enseigner ». La nécessaire opérationnalité du produit final commande une forte interaction entre ces deux activités.

Cette démarche de conception engage des travaux de plusieurs natures en vue de transformer la commande (institutionnelle) en dispositif d'enseignement-apprentissage (c'est-à-dire en couples

{tâches d'apprentissage ; tâche d'enseignement} mobilisant des ressources).

Elle nécessite tout d'abord un travail double de caractérisation du savoir scolaire, en termes d'information (clarification didactique) et en termes de format de connaissance (caractérisation psychocognitive). En effet, la qualité des connaissances est aussi importante que la quantité (Schneider & Stern, 2010). Dit autrement, la construction d'un savoir ne peut se concevoir sans l'étude de sa faisabilité.

À sa suite, un travail de planification pourra être engagé. Il relève avant tout d'une transformation progressive d'un « écart entre un savoir et la connaissance qu'en a un élève » en un « parcours d'apprentissage » puis en un « parcours d'enseignement-apprentissage ». Tout comme le fait l'artiste quand il dessine un personnage : il esquisse un squelette dans une posture donnée, à partir d'une ligne d'action, puis lui ajoute des volumes représentant chaque partie du corps, sur lesquels il s'appuie pour générer la silhouette, qu'il enrichit de détails réalistes du corps (traits du visage, des mains...) et d'ornement de ce corps (habits, bijoux...). Et tout ceci en convoquant notamment des connaissances en anatomie humaine, en cinématique du corps et en « science du drapé ». Il s'agit de donner corps progressivement à un tout, tout en donnant du sens à son action fondatrice.

Enfin, un travail de façonnage (et/ou de sélection) de ressources mobilisées dans les tâches d'apprentissage et d'enseignement viendra interagir avec les travaux précédents (les nourrir et les contraindre).

Nous allons maintenant, préciser les grandes activités de cette démarche systématique de conception, dans lesquelles les travaux cités viennent s'inscrire.

3.1. La définition des savoirs à enseigner

L'appellation « savoirs à enseigner » désigne aussi bien un contenu déclaratif (comme un concept) ou procédural (comme un savoir-faire) qu'une compétence.

L'enjeu de cette activité porte sur la connaissance de l'enseignant : se construire une tête bien pleine et bien faite avant d'en adapter son contenu à l'élève. Il en va de la responsabilité de l'enseignant : réduire l'écart entre sa connaissance et le savoir de référence avant d'aider l'élève à en faire de même. Tout comme le guide touristique qui se fait un point d'honneur à connaître sur le bout des doigts les lieux qu'il fait visiter.

C'est avant tout une activité préparatoire qui servira à planifier l'enseignement-apprentissage (autrement dit, spécifier le parcours d'investigation du « pays du savoir ») et à élaborer les supports d'enseignement et d'apprentissage (autrement dit, définir les moyens pour présenter le « pays du savoir »). La dynamique de cette activité consiste à donner corps à une commande institutionnelle (souvent) réduite à des libellés laconiques dans un programme.

Le produit de cette activité définit avec précision le savoir à enseigner, en termes de notions clés, de structure et d'organisation. Dit autrement, « définir les contenus à enseigner », c'est décrire le « pays du savoir » à l'aide des cartes topographiques (à différentes échelles) et de fiches techniques descriptives des lieux de visites. Cependant, le produit ne peut être délivré en l'état à l'élève : il constitue la « matière de référence » qui devra être mise en forme pour être enseignée. En d'autres termes, il s'agit de préparer les brochures et dépliants descriptifs du « pays du savoir » en se (limitant) centrant uniquement sur leur contenu. Leur finalisation est

l'objet de l'activité d'« élaboration des ressources pour enseigner » et dépend de la « planification de l'enseignement »

Nous tenons à attirer l'attention du lecteur sur le caractère déterminant de cette activité. Elle ne peut et ne doit pas être sous-estimée, au même titre que l'on ne sous-estime pas le dimensionnement et la réalisation des fondations d'un immeuble. Elle interroge clairement l'expertise didactique de l'enseignant et son discours sur le savoir à enseigner.

3.1.1. Des principes organisateurs du propos

Selon nous, trois principes doivent organiser cette activité complexe d'élaboration du savoir scolaire : la pertinence, la clarté et l'adaptation du propos.

La pertinence du propos

C'est-à-dire répondre à la nécessité d'informer l'élève sur le savoir scolaire défini par l'institution. En distinguant ce qui est intéressant pour l'enseignant de ce qui est utile pour l'élève.

La clarté du propos

Pour reprendre Grice (1975), il ne doit pas être obscur. La clarté relève de la maxime de Nicolas Boileau-Despréaux (dans *L'Art poétique*, 1674) : « Ce qui se conçoit bien s'énonce clairement... Et les mots pour le dire arrivent aisément. » C'est la qualité de ce qui est facilement intelligible. La clarté d'un message est souvent la conséquence de la clarté de la connaissance, et non une propriété intrinsèque au message.

L'adaptation du propos

C'est modifier la forme du propos pour le rendre accessible aux élèves, c'est-à-dire compatible avec leurs connaissances et leur capacité à traiter l'information.

3.1.2. Les deux grandes phases de la « définition des savoirs à enseigner »

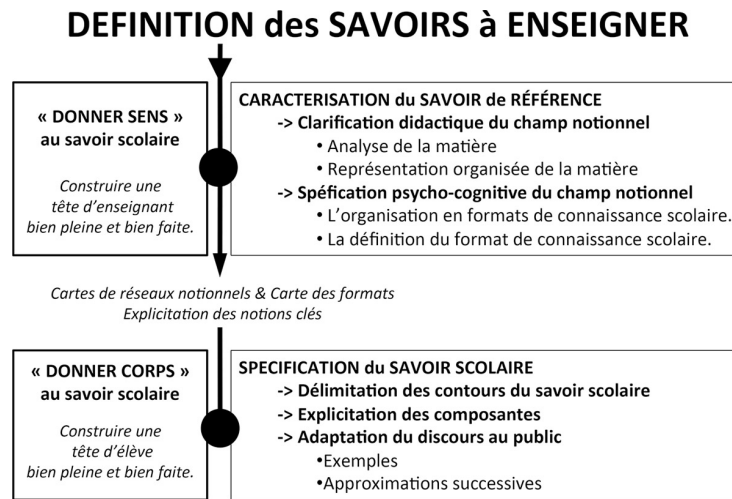
Le savoir à enseigner est présenté dans les programmes institutionnels sous forme de libellés assez succincts, de façon linéaire, sans relations apparentes les uns avec les autres. À charge à l'enseignant de « donner sens » à cette forme laconique du savoir à enseigner, en tant que fruit de la transposition didactique (Chevallard, 1985), pour pouvoir lui « donner corps », sous la forme d'une information structurée et organisée. Dans cette perspective, nous distinguons deux grandes phases pour définir les savoirs à enseigner :

Celle qui va « donner sens ». Axée sur le savoir de référence, elle repose sur un travail de caractérisation qui vise à replacer le savoir à enseigner dans un TOUT originel. En arrière-plan se dessine la complexité du savoir. À noter l'enjeu sur la connaissance de l'enseignant : réduire l'écart avec le savoir de référence.

Celle qui va « donner corps ». Centrée sur le savoir scolaire, elle a pour enjeu la connaissance de l'élève. Elle consiste en un travail de délimitation et de définition du savoir à enseigner au sein du TOUT.

Nous allons maintenant préciser ces deux phases que l'on nomme respectivement « Caractérisation du savoir de référence » et « Spécification du savoir scolaire » et qui sont décrites par la figure 36.

**Figure 36 : Les étapes de la démarche
pour « Définir les savoirs à enseigner »**



3.1.2.1. Caractérisation du savoir de référence

Le travail consiste à retrouver ce savoir de référence via un processus de *transposition didactique ascendante* (Schubauer-Leoni dans Wallian *et al.*, 2008). L'enjeu est clairement la « construction » d'une tête d'enseignant bien pleine et bien faite.

Le principe repose sur la caractérisation de cet ensemble cohérent et complexe de notions définissant la matière à enseigner : le champ notionnel (Astolfi *et al.*, 1997). Ce champ notionnel matérialise l'idée que le savoir n'est pas organisé de manière linéaire et chaque notion n'entretient pas de liens qu'avec une seule notion. Autrement dit, il s'agit de reconstituer le puzzle de la carte topographique du « pays du savoir » à partir de quelques pièces du puzzle, que constituent les libellés du programme.

La définition du champ notionnel est guidée par deux approches complémentaires aux enjeux croisés :

La première relève d'une clarification de nature didactique, centrée sur le contenu du savoir, dont l'enjeu premier est l'explicitation du savoir scolaire. Un second enjeu concerne l'investigation du savoir scolaire et renvoie à la planification de son enseignement.

La seconde, de nature psychocognitive, convoque notre cadre théorique de l'« apprendre ». Elle questionne la nature de la connaissance scolaire à acquérir. L'enjeu est la planification de l'enseignement du savoir scolaire.

a. Clarification didactique du champ notionnel

Cette tâche de clarification didactique du champ notionnel vise à décrire le domaine de connaissance, en termes de structure et de notions clés.

Elle repose sur une investigation exhaustive et au plus haut niveau du savoir de référence (qui se décline en savoir savant (Chevallard, 1985), savoir d'expert (Joshua, 1998) et pratiques sociales de référence (Martinand, 1989)). La méthode est celle proposée par Astolfi et ses collègues (1985). Elle se caractérise par un double mouvement :

La désarticulation du concept par émiettement en un nombre plus ou moins grand de notions constitutives : c'est l'analyse de la matière proprement dite.

La réarticulation de ces notions par la recherche des liens logiques multiples amenant à une modélisation appelée « trame conceptuelle ».

Cette recherche peut être guidée par les questions suivantes :

Pourquoi ce savoir existe-t-il ? À quoi sert-il ? De quoi est-il fait ? Comment s'organise-t-il ? Comment est-il représenté ? Comment est-il modélisé ? Comment l'utilise-t-on ? Dans quel cas l'utilise-t-on ?...

D'où vient ce savoir? Quelles évolutions a-t-il subies ?...

Tout au long de ce processus d'analyse de la matière, on cherchera à construire une représentation graphique du domaine de connaissance. Par exemple, comme le propose Astolfi (1990), sous la forme d'une trame conceptuelle qui visualise les relations logiques que l'on veut établir *a priori* entre les notions clés (« squelette » ou « branches maîtresses » de la séance) et les connaissances ponctuelles (« petites branches et feuilles » qui, bien souvent, masquent pour les élèves, la structure conceptuelle de ce que l'on veut enseigner).

Les cartes de réseaux notionnels (ou cartes sémantiques) très couramment usitées sont la carte conceptuelle et la carte heuristique. Ces représentations organisées de l'univers du savoir de manière graphique ont un double but. Tout d'abord, elles visent à fournir une image plus « parlante » pour l'esprit, quand le langage écrit et parlé atteint ses limites descriptives (Wright, 1997). D'autre part, elles constituent des cartes du domaine de connaissance (Tremblay, 1994) ; autrement dit des cartes topographiques du « pays du savoir », moyen adéquat pour définir le parcours d'investigation du savoir.

b. Spécification psychocognitive du champ notionnel

La spécificité de notre approche est d'associer au travail de clarification didactique une spécification psychocognitive du champ notionnel, en convoquant notre modèle fonctionnel de la connaissance {Format K ; Tâche T}.

Ce travail de spécification consiste à définir une organisation du champ notionnel en termes de formats de connaissance et à y préciser leur(s) utilité(s) respective(s).

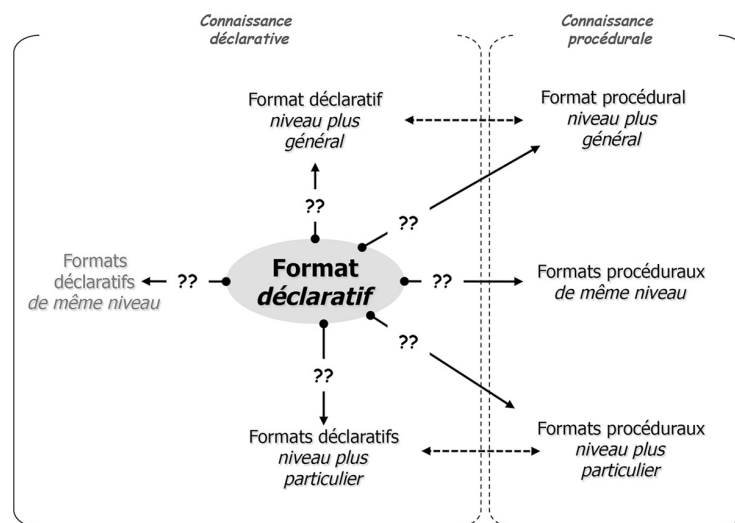
3.1.3. L'organisation en formats de connaissance

La finalité est de construire une carte des formats de connaissance, c'est-à-dire une autre carte topographique du « pays du savoir ». Comme le suggère la figure 37, le principe consiste à rechercher :

le format procédural pendant d'un format déclaratif (ou inversement),

le format général et spécifique d'un format déclaratif ou procédural.

Figure 37 : Schéma de principe d'élaboration de la carte des formats du champ notionnel (ici, à partir d'un format déclaratif)



Nous conseillons de mener cette recherche « de proche en proche ». Par exemple, choisir un format déclaratif. Commencer par rechercher le format déclaratif définissant une catégorie conceptuelle plus générale (pour cela, on identifiera l'attribut définitoire qui régit la filiation conceptuelle). On en déduira des concepts et sous-concepts proches (formats déclaratifs de même niveau et de niveau inférieur). On cherchera ensuite les pendants en termes de formats

procéduraux. La recherche d'un format de connaissance de niveau inférieur ou supérieur repose sur un principe d'emboîtement, comparable à celui des poupées russes. Un format de niveau inférieur possède les attributs du format de niveau supérieur.

3.1.4. *L'utilité(s) d'un format de connaissance*

Le travail consiste à rechercher toutes les tâches T qui mobilisent le format de connaissance K et qui caractérisent son utilité. Cette utilité peut être :

interne à l'institution scolaire : compléter la compréhension d'une situation, corriger certaines approximations, construire un savoir, perfectionner un savoir-faire, illustrer une notion abordée dans une discipline scolaire différente, préparer l'année suivante, etc. ;

externe à l'institution scolaire : la vie professionnelle, les loisirs, l'épanouissement ou l'intérêt personnel de l'élève, la culture populaire non scolaire.

Nous proposons de distinguer ainsi deux catégories de tâches : les tâches scolaires T_{scolaire} et les tâches extrascolaires $T_{\text{extra-scolaire}}$.

Les tâches scolaires T_{scolaire} concernent la discipline étudiée mais aussi d'autres disciplines scolaires. Par exemple, les règles d'orthographe sont utiles dans toutes les disciplines scolaires. Ces tâches scolaires participent à l'assimilation de connaissances mais aussi à la construction d'une connaissance nouvelle (T^k_{scolaire}). Par exemple, le théorème de Pythagore permet d'élaborer des savoirs en trigonométrie.

Ces tâches scolaires sont souvent définies dans le programme institutionnel sous forme d'objectifs, de compétences ou de finalités.

Les tâches extrascolaires $T_{\text{extra-scolaire}}$ couvrent les champs d'activité de la « vraie vie », celle hors de l'école. Elles contribuent à concevoir

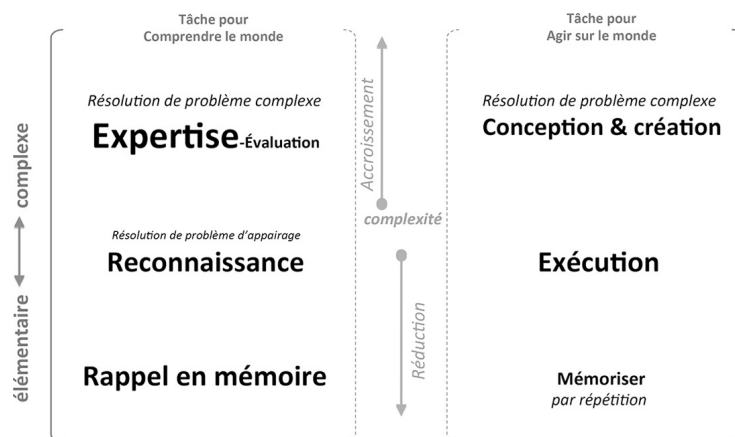
des tâches scolaires représentatives, compatibles et transférables à cette « vraie vie ». L'enjeu est le sens que peut donner l'élève à ses nouvelles connaissances et par implication à leur apprentissage.

Le format de connaissance pourra être explicité sous la forme :

$$C_{SD} = \{K_{SD} ; \Sigma T_{scolaire} + \Sigma T_{scolaire}^K + \Sigma T_{extrascolaire}\}$$

Quel que soit le type de tâche, et pour faciliter la planification d'un parcours d'apprentissage, il nous semble important d'en préciser deux aspects : leur fonction (comprendre ou agir sur une situation) et leur difficulté (d'élémentaire à complexe). Ce travail peut s'accompagner d'une cartographie des tâches et venir enrichir celle du champ notionnel. À cette fin, nous avons esquissé une *matrice des tâches* (cf. figure 38).

Figure 38 : Matrice des tâches d'utilisation de la connaissance



3.1.5. La spécificité des connaissances déclaratives

Selon Tardif (1992), une connaissance déclarative Cd est « statique ». Elle nécessite que l'on précise comment on la « met en action » afin de réaliser la tâche (de compréhension du monde). Autrement dit, cela demande une transformation de son information

déclarative Kd, en une information procédurale Kp : $Cd(Kd ; T) = > Cd(Kp ; T)$.

C'est un travail, de nature didactique, qui s'appuie sur le processus-ID « *prise de conscience didactique* ». Le mécanisme de transformation de la Kd en Kp est fortement corrélé à la nature de la tâche T. Une tâche de rappel en mémoire ne mobilise pas la même information Kp qu'une tâche de reconnaissance.

3.1.5.1. En guise de synthèse

« Caractériser le champ notionnel », c'est investiguer le domaine de connaissances concerné par le savoir à enseigner, en cherchant à lui « donner sens » et lui « donner corps ». Son élaboration passe par l'identification des formats de connaissances scolaires et de leur caractérisation.

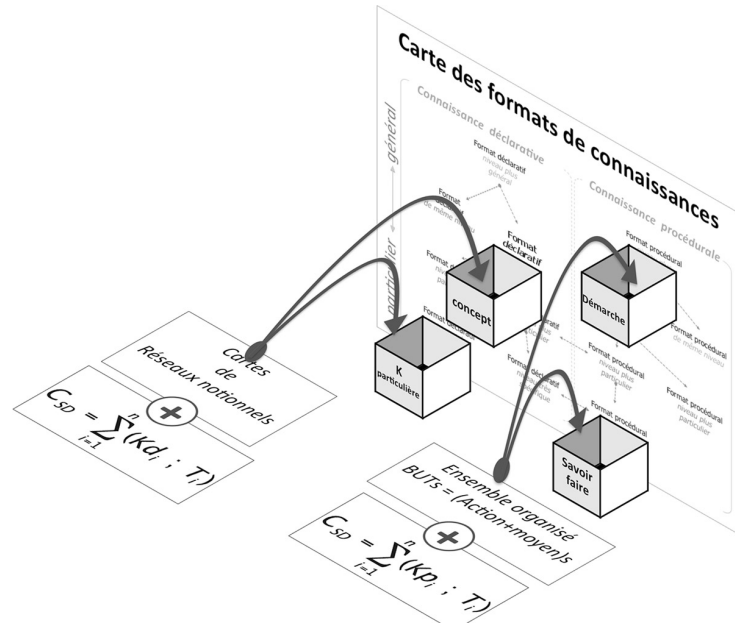
Fondamentalement, on cherche à répondre à trois questions : quelle est la structure du savoir scolaire ? Dans quelle structure s'intègre-t-il ? Quelle est son utilité ?

L'enjeu de cette tâche est de fournir un support à la planification de l'enseignement-apprentissage du savoir scolaire. Les cartes du domaine de connaissance (Tremblay, 1994) y tiennent une place centrale.

Comme l'illustre la figure 39, cette tâche peut être vue comme la construction d'une carte en trois dimensions. Cette carte est constituée d'un plan support (la carte des formats de connaissance), qui présente les différents formats de connaissances organisant le champ notionnel. Le contenu définissant chacun de ces formats de connaissance se trouve dans un tiroir : sous forme de couples (connaissance K ; tâche T) et de représentation de structure de connaissances comme des cartes de réseaux notionnels (conceptuelle,

heuristique ou de processus), des cartes d'identité de formats de connaissances ou encore des cartes des tâches.

Figure 39 : « Cartographie 3D » du champ notionnel



La cartographie du champ notionnel ne répond pas à un processus strictement linéaire. Selon la commande, on peut commencer par esquisser la carte de structure d'un format de connaissances, ou par identifier les tâches associées à une connaissance ou encore par élaborer la carte des formats de connaissances. L'interaction (récursive et itérative) est de mise : une carte valide l'autre, une carte est la réponse au besoin de l'autre, une carte génère le besoin d'une autre... On avance de manière systémique et non chronologique.

Cette tâche de cartographie vise à proposer la meilleure représentation possible du domaine de connaissance et relève de l'expertise (Lemaire, 2012). C'est une tâche à fort coût cognitif. Mais sans ces cartes du pays du savoir, on naviguera à vue.

Outre le fait que ces cartes participent du travail de planification, nous attirons ici l'attention du lecteur sur une autre utilité : esquisser des documents d'apprentissage. En effet, ces cartes sont des représentations externes de structure de connaissance. Bruner (1977, p. 31) souligne que « le rôle de la structure dans l'apprentissage et la façon dont elle peut être rendue est centrale dans l'enseignement ». Par exemple, la carte des formats propose une représentation hiérarchique du domaine de connaissance (De Jong, 1996). Ce type de représentation est le plus adapté pour :

la rétention des connaissances d'un domaine,
les processus de recherche rapide et efficace,
l'intégration de nouveaux éléments de connaissance, sans restructuration de la connaissance déjà présente.

Contextualisée, elle apparaît comme une base au transfert (Larkin, 1989 dans De Jong, 1996).

3.1.5.2. Spécifier le savoir scolaire

Fort du « sens donné » au savoir à enseigner, cette seconde phase vise maintenant à lui « donner corps ». L'enjeu réside dans la construction d'une (LA) référence pour l'élève : le savoir scolaire. C'est-à-dire l'aider à « se construire une tête bien pleine et bien faite ».

Le travail consiste en premier lieu à délimiter et à formaliser le savoir scolaire :

b.1 – Délimiter les contours du savoir scolaire au sein du champ notionnel, en répondant avec pertinence à la commande institutionnelle (instanciée par des libellés du programme mais aussi des objectifs et des finalités).

b.2 – Expliciter, grâce au champ notionnel, clairement ses composantes. On cherchera :

À préciser leur nature : raison d'être, définition fonctionnelle ou structurelle, principe, règle, typologie, classification, démarche, technique, geste, procédure...

Des formulations univoques sous plusieurs formes : énoncés constitués de phrases complètes, schémas, relations symboliques, illustrations (image ou dessin).

b.3 – Adapter le discours au public. On cherchera :

Des exemples, c'est-à-dire des bons cas particuliers. Le bon cas particulier est celui qui possède les caractéristiques suivantes :

« coller » avec les connaissances antérieures des élèves,

être le plus typique, c'est-à-dire posséder des propriétés les plus saillantes possible au regard de la définition du savoir déclaratif ou procédural.

À définir des « approximations successives » en gérant la quantité d'informations et la formulation de cette information. Comme le souligne Vygotski (1985), « tout ne peut être appris, construit en même temps ». Ces deux échelles orthogonales peuvent être définies comme suit :

Niveaux d'information :

On recherche ici une forme d'adaptation qui repose sur la granularité du discours : exprimer le savoir en « 4 mots », en « 20 mots » puis en « 100 mots », etc. Un niveau d'information correspond à une quantité d'informations explicitant le savoir scolaire.

Il permet à l'élève de traiter le maximum d'informations nouvelles avec le minimum d'effort cognitif, au regard des connaissances acquises au niveau précédent.

Il se caractérise par un niveau de détail et un niveau de profondeur. Par exemple, pour un concept, il est possible d'envisager un niveau de découverte de ces principaux attributs et de leur relation et un niveau d'approfondissement de chacun de ces attributs.

Niveaux de formulation :

On convoque ici le concept de didactique des sciences défini par Giordan, & De Vecchi (1987) : « Un niveau de formulation est déterminé par une somme de connaissances nécessaires pour construire un énoncé [...]. Il s'agit donc d'un énoncé correspondant à un seuil que l'on atteint. C'est en première approximation un certain niveau d'abstraction. »

Les niveaux de formulation correspondent donc aux divers énoncés possibles définissant un savoir (ou composantes) et permettant de s'adapter aux différents paliers de compréhension de l'élève. Ils prennent en compte le niveau scolaire, les acquis des élèves et les représentations antérieures.

Par exemple, pour le concept d'efficacité énergétique, cela donne : C'est une stratégie qui permet de réduire les consommations d'énergie, à service égal rendu, et qui entraîne la diminution des coûts écologiques liés à la production et à la consommation d'énergie (selon l'ADEME).

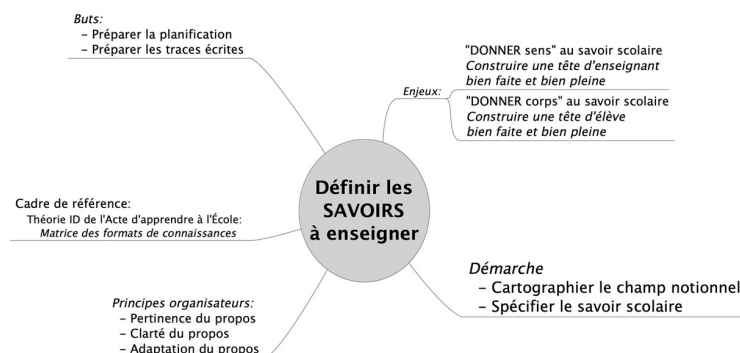
C'est « Consommer moins, tout en ayant autant (service égal) » ou « faire autant avec moins ».

b.4 – Contextualiser le champ notionnel :

Il s'agit de prendre en compte les connaissances acquises en dehors de l'école. Pour les élèves, l'enjeu est (a) de les éclairer avec l'aide des connaissances scolaires mais aussi (b) de donner du sens à ces connaissances scolaires et à leur apprentissage. Pour l'enseignant, c'est un formidable point d'appui pour planifier son enseignement.

Le principe consiste à identifier des formats de connaissance, en lien avec le savoir scolaire, susceptibles d'avoir été acquis en dehors de l'école et qui ne constituent pas des connaissances scolaires à enseigner (par exemple, le « jus de citron » pour le concept scolaire d'« acide » et l'« eau de javel » pour le concept scolaire de « base »). Ensuite, on enrichit la carte des formats de ces formats de connaissance acquis en dehors de l'école.

3.1.6. La tâche de conception en quelques mots



3.2. Planification d'un enseignement-apprentissage

Planifier un enseignement-apprentissage, c'est produire une description de la manière dont on va s'y prendre pour faire apprendre les savoirs scolaires aux élèves. Mais c'est une tâche délicate. Une fois que nous avons appris un domaine conséquent, nous avons tendance à penser que c'est simple et évident (car ça l'est maintenant pour nous) et à oublier à quel point cela a été difficile, long et complexe à apprendre (Tricot & Sweller, 2016).

De manière générale, la planification est le processus qui consiste à établir un besoin puis à déterminer le meilleur moyen possible de

satisfaire ce besoin, ceci dans un cadre stratégique nous permettant d'identifier les priorités et de déterminer quels sont nos principes de mise en œuvre. Planifier, c'est penser au futur, c'est faire quelque chose maintenant pour le futur. Ce qui ne signifie pas nécessairement que tout va fonctionner comme prévu. C'est même improbable. Mais si nous avons planifié correctement, notre capacité à nous adapter, sans compromettre notre objectif général, sera bien plus importante.

L'enseignement de savoirs définis par un programme nécessite d'élaborer une progression en fonction d'un projet, qui établit un ordre dans les apprentissages, un itinéraire et des étapes parmi les notions, tout en tenant compte des points de passage obligés. Cette progression s'efforce de déterminer un enchaînement précis d'étapes d'enseignement-apprentissage, de façon à éviter l'empilement et la juxtaposition de notions [Terminologie de l'Éducation – BO n° 35 du 17 septembre 1992, p. 2484].

Planifier un enseignement, c'est éviter de naviguer à vue et d'être surpris par la tempête. C'est s'engager dans une démarche rationnelle de conception pour préparer efficacement la mise en œuvre de cet enseignement. C'est s'engager dans l'écriture d'un plan d'action décrivant la manière d'enseigner, pour exclure le caprice, l'improvisation et le hasard.

3.2.1. Le plan d'action

3.2.1.1. Qu'est-ce qu'un plan d'action ?

Décrire une planification, c'est préciser dans le temps l'agencement des tâches des élèves et de l'enseignant, des ressources, des manières de faire susceptibles d'influer favorablement sur l'apprentissage des élèves.

Selon nous, le plan d'action ne peut limiter à une description d'actes observables (gestes, paroles, actions) de l'enseignant et de l'élève. Autrement dit, tout comme l'iceberg, décrire un plan d'action ne peut se réduire à la partie émergée (celle que l'on observe). Il y a tout le reste en dessous, qui détermine l'équilibre et la stabilité de ce qu'il y a au-dessus. Sinon, c'est prétendre décrire l'évolution du feuillage d'un arbre au cours d'une année, en se limitant aux phénomènes observables de la poussée des branches et des feuilles, par exemple. Le plan d'action doit aussi être une description de ce qui donne sens à l'observable, en l'occurrence les processus d'apprentissage et les processus d'enseignement associés.

Un plan d'action est donc une double description dont l'enjeu est l'action et la compréhension de l'action :

une description du visible : c'est une chronologie d'étapes, caractérisées par un but d'enseignement-apprentissage, un couple {tâche d'apprentissage ; tâche d'enseignement} et des ressources matérielles utilisées par l'ensemble des acteurs ;

une description du sous-tendu : c'est une description du parcours d'apprentissage (et du parcours d'enseignement associé), c'est-à-dire l'enchaînement de couples {format de connaissance ; processus d'apprentissage}. Autrement dit, l'itinéraire tracé sur les diverses cartes du « pays du savoir ».

Mais le plan d'action est fondamentalement une prévision. Il ne signifie pas une progression réelle. Il ne s'agit pas de tailler dans le marbre une succession d'actions dont l'enseignant s'interdira de sortir. Mais plutôt de prévoir des « possibles » qui seront mis en place, avec opportunisme, en fonction des événements réels de la classe (De Vecchi & Giordan, 2002). Le bon copilote est aussi celui qui saura proposer un « parcours bis » lorsque les conditions de conduite se

dégraderont. Cette opération de délestage, qui a pu être anticipée ou décidée dans l'action, n'est possible que grâce aux cartes du « pays du savoir ».

Quand on compare les enseignants novices aux autres (experts ou expérimentés), on constate que chez un enseignant expert, le plan d'action se caractérise par une progression envisagée (Borko & Livingston, 1989 ; Perterson & Comeaux, 1987 ; Tochon, 1993). Les experts produisent des planifications toujours « meilleures » que les novices. Elles sont plus précises, plus structurées, plus profondes, plus longues, plus souples, plus automatisées, etc. (Dessus, 1995, p. 21).

3.2.1.2. Pourquoi décrire un plan d'action ?

Écrire pour se contraindre à planifier. Rédiger un plan d'action de façon précise, c'est d'abord une contrainte, car c'est une activité qui est coûteuse en temps. C'est ensuite coûteux en termes cognitifs : en planifiant, on s'oblige à se poser des questions et à tenter de leur trouver une réponse, de façon suffisamment claire et précise pour que l'on soit capable de l'écrire. Écrire son plan d'action est donc d'abord un subterfuge pour se forcer soi-même à concevoir de façon approfondie son enseignement. En ce sens, le plan d'action rédigé n'est qu'une trace de l'activité de planification et de conception. Se forcer à laisser cette trace, c'est s'obliger à réaliser le travail de conception sous-jacent.

Écrire pour optimiser son enseignement. La seconde fonction de la rédaction du plan d'action réside dans le fait que le plan rédigé fournit un outil pour mesurer de façon sereine l'écart entre ce qui était prévu et ce qui a été réalisé. Avec un plan rédigé, on peut ainsi réguler son activité, quelle que soit l'échelle : au cours d'une séance, le plan nous permet de voir que nous sommes en train de dépasser le

temps prévu pour tel exercice. Ce temps supplémentaire est-il utile ? Ou au contraire, est-il un indice du fait que cet exercice est trop difficile pour que les élèves réalisent l'apprentissage visé ? Au cours d'une séquence ou d'une année, le plan nous permet aussi de réguler notre activité et nous conduit parfois à faire des choix, mais de façon raisonnée, pondérée.

Sans cet outil pour évaluer soi-même l'écart entre le prévu et le réalisé, nous nous conduisons comme des humains ordinaires dans les situations de la vie courante : nous attribuons les problèmes aux humains et à leurs qualités plutôt que de raisonner sur les buts et les moyens. Nous voulons dire plus simplement que sans un plan rédigé, clair et précis, notre régulation va être centrée :

Soit sur nous-mêmes : « je suis nul », « je suis toujours en retard », « je n'y arriverai jamais ».

Soit sur autrui : « les élèves sont nuls », « ils n'ont pas bien travaillé aujourd'hui », « comme bien des jeunes aujourd'hui, ils n'arrivent pas à se concentrer, c'est pour ça qu'ils n'ont pas fini leur travail », voire « les imbéciles qui font les programmes ont encore une fois trop chargé la barque », etc.

Nous ne voulons pas dire que ces explications sont nécessairement fausses, mais qu'elles ne servent globalement à rien pour réguler son action de façon efficace. Écrire un plan d'action permet de se poser la question : « Pourquoi mon enseignement ne s'est-il pas déroulé comme JE l'avais prévu et qu'est-ce que JE peux faire pour améliorer les choses, si elles doivent être améliorées ? »

Écrire pour mettre à disposition mon enseignement. Rédiger son plan d'action est utile pour les partager avec nos collègues, qui pourront y prendre telle idée, telle tâche, telle progression. En retour, nous pourrons prendre chez eux des idées, des tâches, des

progressions. Ces emprunts aux collègues sont souvent très ponctuels, car leur situation n'est jamais la même que la nôtre. Mais, pour prendre un exemple, si emprunter une seule diapositive à un collègue est un moyen pour gagner une heure, c'est une heure de gagnée pour faire autre chose. Ces partages entre enseignants se développent de plus en plus, grâce à Internet, pour devenir une des ressources principales des enseignants et pour même déboucher sur la rédaction collective de manuels scolaires, etc. (Clouet *et al.*, 2009 ; Caviale & Bruillard, 2009).

Enfin, on rédige parfois son enseignement par obligation et parce que cela va servir de support à notre propre évaluation.

3.2.2. Une démarche pour planifier

La conception d'un plan d'action, quelle que soit l'échelle de la programmation, vise à définir :

la dimension temps (Quand ?)

la finalité en termes de savoir scolaire (Quoi ?) et de motivation (Pourquoi ?)

la manière d'atteindre les buts fixés (Comment ?) en termes d'agencement de tâches scolaires, sous-tendues par un étayage adapté de processus d'apprentissage

les ressources humaines (Qui ?) et matérielles (À l'aide de Quoi ?)

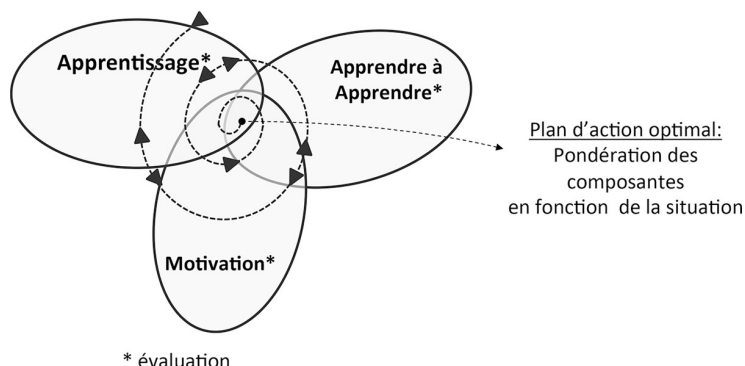
les obstacles possibles (Risques ?).

3.2.2.1. Le processus de conception

Concevoir un plan d'action, c'est résoudre un problème complexe qui consiste à transformer un besoin d'enseigner en un agencement de couples {tâche d'apprentissage ; tâche d'enseignement}. Ces deux tâches, aussi complémentaires que le « Yin et Yang », sont régies par

la recherche d'une plus grande efficacité cognitive pour l'élève. Selon notre théorie, définir ce couple de tâches, c'est d'abord définir le processus d'apprentissage nécessaire à l'élaboration de la connaissance scolaire.

Figure 40 : Principe de recherche du plan d'action optimal



La résolution du problème ne se réduit pas à choisir, organiser et opérationnaliser des processus d'apprentissage, mais implique de prendre en compte les processus qui les favorise : motivation, métacognition et l'évaluation.

Comme l'illustre la figure 40, la démarche interroge chacun des volets selon un processus spiralaire nécessitant de nombreux allers et retours, de façon à converger vers un plan d'action optimal.

3.2.2.2. Des étapes clés

Comme nous l'avons déjà formulé au travers de la métaphore du « Tour operator », concevoir un plan d'action, c'est comme élaborer un itinéraire d'investigation du « pays du savoir ». Il faut donc se munir des cartes topographiques à différentes échelles (et les fiches techniques descriptives des sites de visites). Puis identifier le point de départ et d'appui, les connaissances des élèves (les lieux déjà visités)

et le point d'arrivée. Ensuite, décider du trajet : des différentes étapes, des visites, des activités au cours de ces visites pour favoriser les souvenirs et la connaissance du pays. Sans oublier d'envisager les moyens en termes de logistique et de documentation.

Le processus de conception s'articule autour des cinq grandes étapes suivantes :

Étape 0 – Externaliser votre solution spontanée

Il s'agit ici de prendre en compte les biais de l'activité de conception : penser solution et se laisser contraindre par elle (Bonnardel, 2006). Se laisser avoir par son expérience et ne pas remettre en cause ses propres routines (sa pensée rapide). Se montrer moins vigilant, moins actif sur le plan intellectuel, plus enclin à se satisfaire de réponses à première vue séduisantes, moins septiques face à nos intuitions (Stanovich, 2011).

Alors, un conseil, activez votre résistance cognitive (Houdé, 2015). Ce système qui interrompt votre système de pensée intuitive pour basculer sur un système de pensée lente : la rationalité, qui caractérise et demande un esprit engagé (Stanovich, 2011).

En acte, cela demande :

1. d'externaliser votre solution spontanée : écrire le scénario qui vient spontanément à l'esprit. Laissez l'esprit intuitif s'exprimer afin de permettre à votre pensée lente d'agir. Autrement dit, faites avec pour aller contre.
2. de réguler votre recherche de solution : au cours de votre activité, regardez si vous convergez vers cette solution et si c'est une décision raisonnée ou contrainte par cette dite solution.

Étape 1 – Clarifier le besoin d'enseigner

À l'école, le besoin d'enseigner est généré par une commande institutionnelle (le programme), exprimée sous forme d'objectif pédagogique, c'est-à-dire de performance attendue à la fin de l'apprentissage. Clarifier le besoin, c'est dire d'où l'on part. C'est commencer à s'assurer de la pertinence de la solution. On cherche à définir le contexte d'enseignement en termes de public, d'enjeux, de contraintes et de domaine de connaissances scolaires.

Afin d'avoir une vue d'ensemble du domaine du savoir scolaire, et de préparer l'étape suivante, on rassemblera les différentes cartes de structures de connaissances qui caractérisent le champ notionnel : cartes de réseaux notionnels et cartes des formats de connaissances.

Pour mener à bien cette recherche, on pourra s'appuyer sur les questions suivantes en apportant des réponses appropriées (Tricot & Plégat-Soutjis, 2003) :

Qui sont les élèves ?

Quelles sont les connaissances antérieures des élèves dans le domaine ?

Quelles sont les stratégies d'apprentissage utilisées par les élèves ?

Quelles sont les connaissances antérieures, les expériences, des élèves dans ce type de dispositif de formation ?

Quels sont les motifs des élèves pour suivre cette formation ?

Quels sont les enjeux (cognitif, métacognitif, professionnel) pour les élèves à suivre cette formation ?

Dans quelles conditions apprennent-ils ?

Quelles contraintes matérielles pèsent sur les élèves ?

Quelles contraintes spatiales ? Temporelles ?

Quelles sont les spécificités de l'enseignement dispensé ?

Quelles sont les approches didactiques spécifiées ?

Quelles sont les démarches et activités pédagogiques préconisées ?

Quelles sont les ressources matérielles de référence ?

Quels sont les contenus des connaissances ?

Quelle connaissance va être construite par l'apprenant ?

Cette connaissance à acquérir est-elle radicalement nouvelle ?

Est-elle reliée à une connaissance antérieure (avec modification de cet existant ou non) ?

Quelle est son architecture générale (arborescente, en réseau, linéaire ; rationnelle ou fonctionnelle ; simple ou complexe) ?

Quels sont les formats des connaissances ?

Étape 2 – Définir un parcours d'apprentissage

Le travail de planification consiste à discuter de la façon d'atteindre le niveau de performance attendu. Autrement dit, préciser ce que faut-il apprendre (le but d'apprentissage) et comment l'apprendre avant de s'entraîner à l'utiliser de façon performante (les processus d'apprentissage).

Pratiquement, le parcours d'apprentissage est une mise en lien de formats de connaissance à l'aide de processus d'apprentissage. Il s'organise autour de :

un point de départ (souvent, ce sont les connaissances que possèdent les élèves),

un point d'arrivée (le savoir scolaire visé),

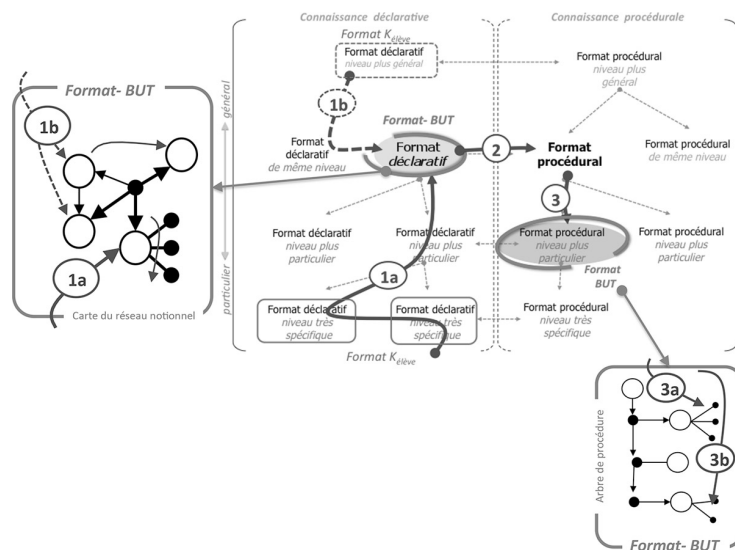
les étapes (des formats de connaissance nécessaires à la cohérence et la continuité du parcours),

leur itinéraire de liaison (un processus d'apprentissage et un processus de motivation).

Étape 2.1 – Démarche générale

L'élaboration d'un parcours d'apprentissage s'appuie des cartes du domaine de connaissance (Tremblay, 1994) : cartes des formats de connaissance et/ou cartes de réseaux notionnels du format de connaissance (comme la carte conceptuelle, la carte heuristique ou encore l'arbre de procédure ou de décision).

Figure 41 : Principe d'esquisse d'un parcours d'apprentissage



Comme le montre la figure 41, la tâche consiste à :

1. Identifier le(s) *format(s)-BUT* (savoir visé) et *format- $K_{\text{élèves}}$* (connaissance des élèves).
2. Établir un schéma d'apprentissage mettant en lien les formats et les processus d'apprentissage : par quel apprentissage commencer ? Qu'est-ce qui suivra ? Que peut-on envisager d'autre ?

Chacun des processus d'apprentissage est spécifié à l'aide de la *matrice des processus d'apprentissage* (cf. chapitre 1, 1.2 Théorie de « l'acte d'apprendre à l'école »).

3. Caractériser le processus de transfert (d'assimilation) pour le(s) *format(s)-BUT*. On pourra s'appuyer sur l'utilité du format de connaissance, c'est-à-dire sur les tâches nécessitant cette connaissance, définie par $C_{SD} = \{K_{SD} ; \Sigma T_{scolaire} + \Sigma T_{scolaire}^K + \Sigma T_{extra\ scolaire}\}$.

Étape 2.2 – Tâches spécifiques de planification

Comme le montre la figure 41, le parcours peut nécessiter de se montrer plus précis dans l'élaboration d'un *format-BUT*. Par exemple, définir l'ordre dans lequel ses composantes seront abordées, et/ou à partir de quel processus d'apprentissage spécifique. En quelque sorte, on change alors d'échelle : on passe de la carte des formats à celle de la carte de connaissance d'un format.

Ce travail de planification « plus local » est souvent dû au profil de la connaissance : le nombre de composantes, l'écart cognitif avec les connaissances élèves, la complexité de sa structure cognitive...

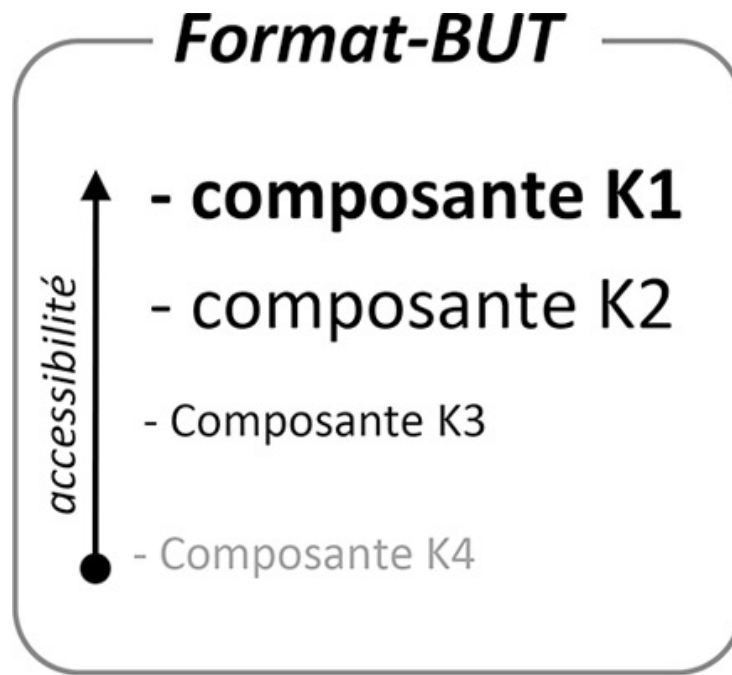
Nous avons identifié deux tâches caractéristiques relatives à ce travail : définir l'accessibilité du *format-BUT* et définir la manière de le rendre accessible. En d'autres termes, il s'agit de dessiner le profil d'un col de montagne (les différentes variations de la pente) et de préciser la manière dont on va passer chacun des paliers.

Étape 2.2.1 – *Caractérisation de l'accessibilité des composantes du format-BUT*

Cette tâche interroge l'accessibilité cognitive (relative) d'une composante, c'est-à-dire la facilité ou la difficulté (relative) à l'élaborer. Elle fait appel à un travail de mise en relief du format de connaissance. Le but est de positionner les composantes du *format-BUT* sur une échelle d'accessibilité cognitive (cf. figure 42). L'accessibilité d'une composante peut être liée, notamment à son caractère abstrait vs concret, observable ou pas, à sa structure

complexe vs élémentaire. Ce qui renvoie à la difficulté de la tâche à réaliser pour élaborer la composante.

Figure 42 : Caractérisation de l'accessibilité cognitive d'un format-BUT



Par exemple, le concept de métal se définit principalement par les attributs suivants : dur, opaque, brillant, réaction d'oxydation, conductivité thermique et électrique, masse volumique élevée (>7), déformation élastique (loi de Hooke) et réseau métallique d'atomes.

De simples tâches d'observation et de manipulation d'un objet métallique permettent d'élaborer les composantes « dur », « opaque » et « brillant ». La « réaction d'oxydation », bien que ce soit un phénomène observable, va nécessiter de mettre en place une expérimentation. Au même titre que les attributs « conductivité thermique et électrique », qui eux ne sont pas directement

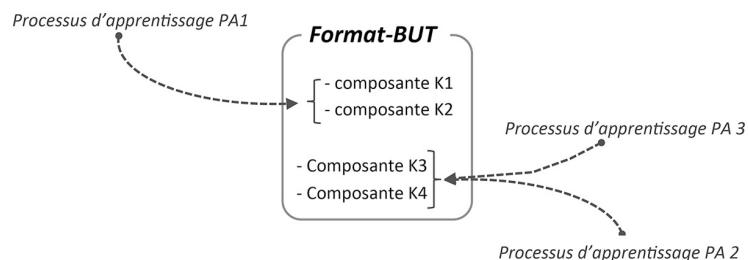
observables. Les autres composantes font appel à des connaissances mathématiques.

Comme le précise Barth (2011, p. 119), certains attributs physiques sont observables, comme « la taille – le son, la forme – le goût, la couleur, la température, la densité, le nombre, le volume, la consistance, le poids, l'éclat, la texture, l'état, l'odeur ». D'autres attributs sont non physiques (non observables) : Ils sont plus difficiles à détecter car il faut se poser des questions appropriées. Ce sont « la catégorie (classification supérieure ou inférieure), la fonction (utilité, rôle), le lieu ou place (relation entre un concept et son emplacement), le temps (existence dans le temps), la cause/effet (conséquence), la séquence (ordre dans lequel il arrive), l'origine ».

Étape 2.2.2 – Caractérisation de l'accès aux composantes du format-BUT

Cette tâche questionne la façon d'accéder à la connaissance, c'est-à-dire comment la rendre accessible. Ce travail de façonnage consiste à sélectionner le processus d'apprentissage le plus favorable (en termes d'efficacité cognitive) à l'élaboration d'une composante. Le but est d'élaborer un schéma d'apprentissage du *format-BUT*.

Figure 43 : Schéma d'apprentissage d'un format-BUT



Comme l'illustre la figure 43, selon l'accessibilité d'une composante K_i , on pourra convoquer un ou plusieurs processus

d'apprentissage PAi. Par exemple, coupler un processus de *particularisation* avec un processus de *transfert analogique*.

Étape 3 – Définir un parcours d'enseignement-apprentissage

C'est l'étape de transformation du parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement. Elle consiste à préciser le niveau de soutien de l'enseignant à la mise en œuvre du parcours d'apprentissage (processus et tâche d'enseignement). C'est clairement l'autonomisation du processus d'apprentissage et celui de la tâche qui est interrogé ici.

En référence à notre cadre théorique de l'« Acte d'enseigner », nous proposons de définir le mécanisme de transformation en ces termes :

S'interroger sur la faisabilité pour l'élève à conduire un processus d'apprentissage, c'est-à-dire de le « prendre à son compte ». Pour cela, on évalue l'écart cognitif puis la facilité à réduire cet écart. Autrement dit, il s'agit de quantifier l'efficacité cognitive de l'élève.

Définir le niveau de dévolution, c'est-à-dire préciser la part du processus d'apprentissage que chacun, élève et enseignant, prend à son compte. En déduire, le couple {tâche d'enseignement ; tâche d'apprentissage}. En d'autres termes, il s'agit d'opérationnaliser l'efficacité cognitive.

Comme le Yin et du Yang, la tâche d'enseignement et la tâche d'apprentissage entretiennent une triple relation :

une relation d'opposition, tout en sachant que chacun des deux porte en lui le germe de l'autre ;

une relation d'interdépendance, l'un ne se concevant pas sans l'autre ;
l'excès ou la déficience d'un des deux entraîne des conséquences sur l'autre et un déséquilibre de l'ensemble ;

une relation d'engendrement et de mutation de l'un en l'autre, comme lorsque le jour fait place à la nuit.

Caractériser le processus d'enseignement à l'aide de la *matrice des processus d'enseignement* (cf. chapitre 2 « Théorie de l'acte d'enseigner »).

Établir un schéma de motivation soutient aux tâches d'apprentissage : quel(s) but(s) de motivation peut engager l'élève ? comment engager les élèves ? comment soutenir leur motivation ? que peut-on envisager d'autre ?

Établir un schéma d'évaluation adossé aux tâches d'assimilation/entraînement.

Caractériser les couples {tâche d'enseignement ; tâche d'apprentissage}. Il s'agit de définir les modalités d'action de chacun : on fait quoi ? à l'aide de quoi ?... On se référera aux typologies de tâches d'apprentissage et d'enseignement décrites dans les cadres théoriques respectifs et précédemment présentés.

Étape 4 – Définir un dispositif de régulation

Il s'agit de prévoir des « possibles » au plan d'action, afin d'anticiper d'éventuelles difficultés ou facilités rencontrées par les élèves. La régulation peut porter sur la manière d'atteindre un but (i.e. le processus cognitif) ou le moyen d'atteindre ce but (la tâche scolaire). Elle concerne tous les processus cognitifs : apprentissage, motivation, engagement, attention et métacognition.

À noter que réguler le « moyen d'atteindre le but », c'est-à-dire le couple {tâche d'apprentissage ; tâche d'enseignement}, consiste à modifier le niveau de dévolution de la « prise à son compte » du processus cognitif.

3.2.3. Des conseils pour planifier

Conseil-1. Contrôler sa propre action

1. Ne pas se laisser contraindre par la solution. C'est-à-dire ne pas résoudre le problème par analogie.
2. S'imposer un impératif de simplicité pour la solution. Autrement dit, rechercher une solution facilement accessible, en mesure d'être utilisée sans aucune connaissance de la complexité du tout et mémorable (Oppenheimer, 2006). Ce qui ne veut pas dire que le processus d'élaboration de la solution soit simple.
3. Ne pas se laisser « endormir » par son expérience : remettre en cause ses propres routines.
4. Représenter (écrire et/ou dessiner) les résultats intermédiaires de votre activité d'élaboration du dispositif d'enseignement-apprentissage.

Conseil-2. Activer les connaissances antérieures du domaine (Morris *et al.*, 1981 ; Kole & Healy, 2007 ; Ambrose *et al.*, 2010)

Les élèves apprennent plus facilement quand ils ont déjà des connaissances dans le domaine et s'ils peuvent lier ce qu'ils sont en train d'apprendre à ce qu'ils savent déjà (Attention aux connaissances naïves !). Pour obtenir des performances d'apprentissage accrues, les connaissances préalables peuvent être :

activées à l'aide de questionnements pour favoriser leur accessibilité (Woloszyn, Paivio & Pressley, 1994 ; dans Bellec, 2015).

mobilisées dans des situations personnelles (Peeck *et al.*, 1982; Garfield *et al.*, 2007).

Conseil-3. Centrer les efforts des élèves sur ce qui est utile (Chanquoy, Tricot & Sweller, 2007)

1. Ce qui est utile : atteindre le but d'apprentissage, élaborer la connaissance ou la compétence visée.

2. Ce qui inutile

Les informations sans lien avec le but d'apprentissage.

Les tâches trop difficiles (quand une alternative plus facile existe).

Conseil-4. Favoriser l'engagement cognitif par des traitements profonds (Ainsworth & Loizou, 2003 ; Buchs *et al.*, 2012)

1. Engagement Passif < Actif < Constructif < Interactif (Chi & Wylie, 2012).

2. Auto-explication.

3. Poser des questions de compréhension.

4. Amener les élèves à (se) poser des questions importantes (*e.g.*, pourquoi, pourquoi pas, comment, que se passerait-il si ?) plutôt que des questions plus superficielles (*e.g.*, qui, quoi, quand, où ?).

5. Favoriser les controverses, les oppositions, les conflits de points de vue, d'interprétation, de compréhension.

6. Favoriser la découverte... mais de façon guidée.

7. S'assurer que les étudiants bénéficient d'un temps d'apprentissage suffisant, notamment en dévoluant le travail aux étudiants.

Conseil-5. Motiver les élèves (Ames & Archer, 1988)

1. Concevoir des tâches

faisables (mais pas trop faciles)

perçues comme utiles,

nouvelles, diverses, et variées

2. Aider les élèves à établir des buts personnels et proximaux.

3. Conduire les élèves à formuler ce qu'ils savent et savent faire.

4. Se centrer sur le progrès et la maîtrise.
5. Faire des évaluations privées, non publiques.
6. Valoriser l'effort personnel, le travail.
7. Encourager la conception de l'erreur comme inhérente à l'apprentissage.

Conseil-6. Proposer des tâches motivantes aux élèves en respectant les critères suivants (Viau, 2009) :

1. Être signifiante, aux yeux de l'élève.
2. Être diversifiée et s'intégrer aux autres activités.
3. Représenter un défi pour l'élève.
4. Être authentique.
5. Exiger un engagement cognitif de l'élève.
6. Responsabiliser l'élève en lui permettant de faire des choix.
7. Permettre à l'élève d'interagir et de collaborer avec les autres.
8. Avoir un caractère interdisciplinaire.
9. Comporter des consignes claires.
10. Se dérouler sur une période de temps suffisante.

Conseil-7. Pour engager les élèves (Tricot, 2017), penser à :

1. Raconter des histoires : raconter la connaissance sous forme d'histoire ou raconter l'histoire de la découverte de la connaissance enseignée.
2. Proposer de l'extraordinaire : proposer des activités ludiques, amusantes, décalées par rapport aux situations d'enseignement habituelles. Présenter des exemples particulièrement surprenants, atypiques, qui viennent comme un défi pour les connaissances naïves.
3. Montrer son enthousiasme pour la connaissance.

4. Montrer l'utilité de la connaissance : faire prendre conscience, « révéler », faire comprendre. Préciser et faire comprendre les tâches qui utilisent la connaissance.

5. S'appuyer sur le quotidien de l'élève

Utiliser une « situation d'entrée », un point de départ et/ou un fil rouge qui concernent le quotidien des élèves, leurs activités extrascolaires

Utiliser des exemples d'application de la connaissance enseignée qui ont une validité hors de l'école.

Se fonder sur les centres d'intérêt des élèves, leurs questions.

Conseil-8. Évaluer de façon pertinente (Roediger, 2011)

1. Définir clairement les fonctions de l'évaluation.
2. Fournir des retours fréquents et riches.
3. Mettre en œuvre des outils en adéquation avec les fonctions visées.
4. Ne pas hésiter à évaluer fréquemment (même à travers des QCM) sur les contenus importants.
5. Importance de l'auto-évaluation, mais de façon guidée.

3.2.4. Des canevas-plans pour planifier

Nous voulons ici exposer deux canevas de planification afin d'enrichir notre proposition de cadres pratiques sur lesquels le concepteur novice pourra s'appuyer : « planifier en spirale » et « planifier en boucle ». Ces canevas sont des solutions générales issues de la mise en œuvre de la démarche de conception précédemment proposée. Ils ont vocation de *modèle de planification*, comme l'est le modèle Ten Step 4C-ID (Van Merriënboer & Kirschner, 2018).

3.2.4.1. Planifier en spirale

Selon Bruner (1965), la métaphore de la spirale signifie qu'apprendre est un processus continu qui suppose une reprise constante de ce qui est déjà acquis et une complexification progressive. Astolfi (1993, p. 141), la reprend à son compte en la formulant ainsi : « approches successives d'une même notion qui fait progresser en spirale la notion à atteindre jusqu'à toucher sa maîtrise à force de l'affiner, de se préciser ». C'est sur ce principe que nous proposons un canevas-plan pratique pour planifier l'apprentissage d'un savoir déclaratif (un concept) ou d'un savoir procédural (une procédure complexe).

a. Enseigner un concept

Le canevas-plan proposé syncretise deux approches : l'une centrée sur les caractéristiques d'un concept (*i.e.* le contenant) et l'autre sur l'information définissant le concept (*i.e.* le contenu).

La première approche définit la manière de construire le concept. On choisit parmi des scénarios centrés :

sur la construction de la catégorie (cf. figure 44a) :

Par une « entrée directe », où l'on propose d'appréhender d'emblée la définition des principaux attributs, leur structure et leur organisation. Le reste des attributs sera traité dans un second temps.

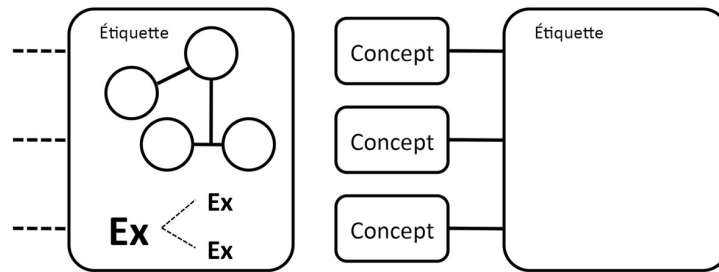
Par une « approche inductive », où l'on propose d'accéder aux attributs à partir de la comparaison d'objets ou de situations différentes.

À partir des instances que l'on place sous l'étiquette du concept, dans un premier temps. On s'appuiera, dans un second temps, sur ces exemples modèles pour définir les attributs du concept.

sur les relations avec d'autres concepts (cf. figure 44b) :

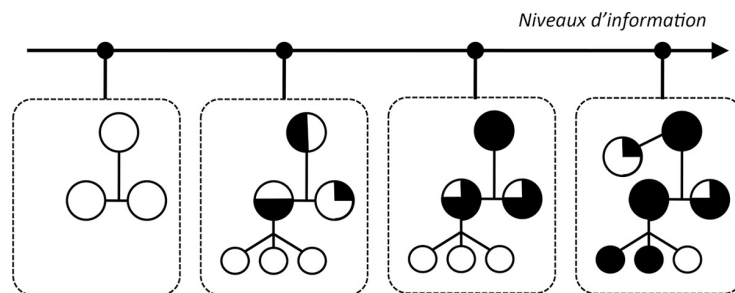
« Un concept n'existe pas seul, mais toujours dans un réseau conceptuel. En élaborant un nouveau concept, il est toujours important de le situer par rapport à d'autres faisant partie du même réseau » (Barth, 2011, p. 76).

Figure 44c



La seconde (cf. figure 44c) s'appuie sur le processus d'adaptation du savoir scolaire par « approximations successives » (cf. définition du savoir scolaire). Chaque niveau d'information constitue une étape du plan d'action.

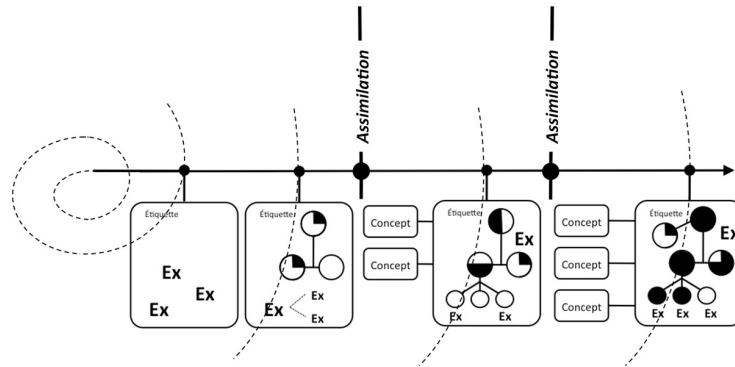
Figure 44c : Principe de planification par niveaux d'information



On viendra ajouter des phases d'assimilation de la structure de connaissance au fur et à mesure de son enrichissement

(cf. figure 44d).

Figure 44d : Exemple d'un canevas de planification en spirale

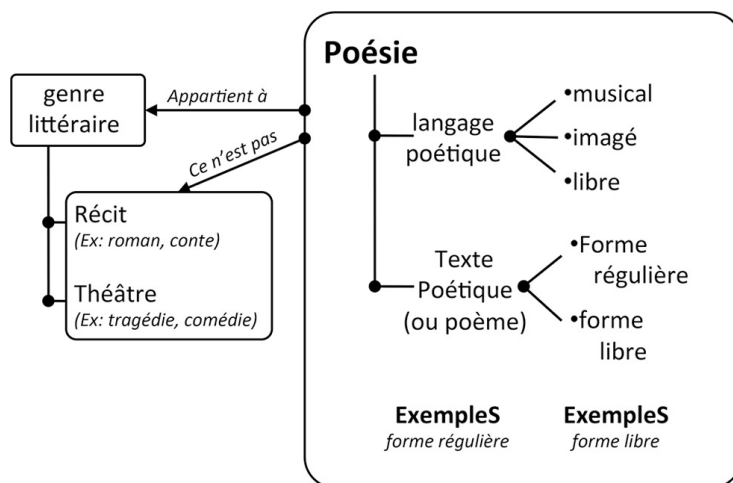


b. Exemple de la poésie

Afin d'illustrer notre propos, nous exposons ici les grandes lignes d'un plan d'action qui vise à faire découvrir les principales caractéristiques du langage poétique et les formes variées des textes poétiques. Le savoir scolaire (concept de poésie) est défini par le texte et la carte conceptuelle (cf. figure 45) suivants :

La poésie est un genre littéraire caractéristique par sa forme, que l'on oppose au récit et au théâtre. Le langage poétique est un langage particulier, qualifié à la fois de musical, imagé et libre.

Figure 45 : Carte conceptuelle du concept de poésie



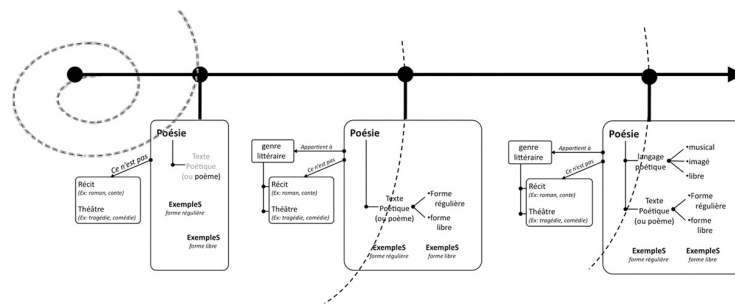
La musique du poème se fonde sur des jeux sonores (rimes, nombre de syllabes, répétitions telles qu'assonances et allitérations) et des rythmes (longueur des vers, pause, rejet ou enjambement).

Le langage poétique se reconnaît également par son caractère imagé. La signification des mots n'apparaît pas toujours immédiatement. Le sens du poème se construit dans un jeu d'associations qui repose sur des figures de style comme la comparaison, la métaphore, l'animalisation, la personnification.

Enfin, le langage poétique est libre parce qu'il joue avec les mots et les constructions de phrases pour bâtir, aussi, le sens du poème.

Comme l'illustre la figure 46, le plan d'action propose d'appréhender, dans un premier temps, le concept de poésie au travers d'exemples fournis par les élèves et de le distinguer des concepts de « récit » et de « théâtre ». Dans un second, on s'appuiera sur l'étude des exemples pour caractériser l'attribut de « texte poétique » et positionner le concept dans la catégorie du « genre littéraire ». Ensuite, on caractérisera le second attribut principal de « langage poétique », toujours grâce à l'étude des exemples.

Figure 46 : Planification en canevas en spirale du concept de « poésie »



c. Enseigner une procédure complexe

Le cadre pratique que nous venons de présenter s'applique aussi aux connaissances procédurales explicites. En effet, il est souvent préférable de modéliser les habiletés complexes par approximations successives (Sweller, 2010).

Cependant, comme le précise Désilets (1997), « dans la majorité des cas, l'explicitation des éléments d'une procédure ou d'une règle d'action favorise l'apprentissage et constitue la première étape du développement d'une habileté, ce que Brien (1994) appelle le montage d'une habileté. Cependant, cette description ne doit pas être trop détaillée, surtout pour les activités complexes, sinon il y a risque de surcharge cognitive (Fayol, 1991) ».

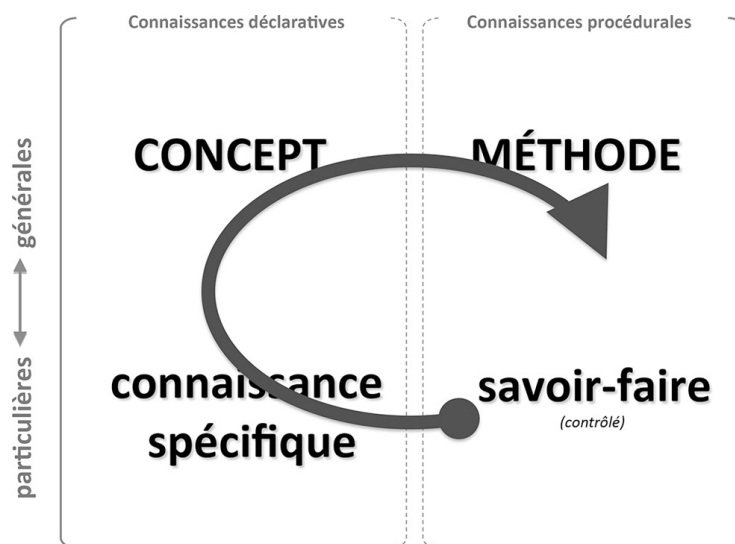
3.2.4.2. Planifier en boucle

Selon Bruner (1977, p. 31), tout enseignement efficace « d'une matière devrait être déterminé par la compréhension la plus fondamentale possible des principes sous-jacents qui structurent cette matière. Enseigner des sujets ou des compétences spécifiques sans préciser leur contexte dans la structure fondamentale plus large d'un champ de connaissances n'est pas rentable à plusieurs égards

profonds. En premier lieu, un tel enseignement rend extrêmement difficile pour l'étudiant de généraliser de ce qu'il a appris à ce qu'il rencontrera plus tard. Deuxièmement, l'apprentissage qui n'a pas réussi à saisir les principes généraux n'est guère gratifiant sur le plan de l'excitation intellectuelle. La meilleure façon de susciter l'intérêt pour un sujet est de le rendre intéressant à connaître, c'est-à-dire de rendre les connaissances acquises utilisables dans sa pensée au-delà de la situation dans laquelle l'apprentissage a eu lieu. Troisièmement, les connaissances que l'on a acquises sans structure suffisante pour les relier entre elles sont des connaissances qui risquent d'être oubliées. Un ensemble de faits sans rapport entre eux a une demi-vie lamentablement courte en mémoire. Organiser les faits en termes de principes et d'idées à partir desquels ils peuvent être déduits est la seule façon connue de réduire le taux rapide de perte de mémoire humaine » (traduit par nos soins).

Cette proposition structuraliste vise à donc à établir un cadre cognitif formé d'« idées générales » dont chaque fait enseigné ne sera qu'un « cas particulier » (Jacolino, 2014).

Figure 47 : Boucle de planification



Le canevas-plan, que nous proposons ici, convoque ce paradigme afin de planifier l'enseignement d'un savoir-faire. Il repose sur l'idée d'utiliser des connaissances générales pour éclairer le niveau particulier, en lui donnant plus de sens.

Comme l'explique la figure 47, le schéma d'apprentissage correspond à une boucle qui relie les quatre formats explicites d'une connaissance : le savoir-faire est transformé en connaissance particulière, qui est ensuite généralisée. Cette dernière permet de construire une démarche plus générale que le savoir-faire.

La montée en généralité consiste à aller chercher le principe général qui régit l'action particulière. Elle contribue à augmenter la motivation intrinsèque de l'élève : « l'élève est plus savant ». Les connaissances préalables de l'élève s'en trouvent enrichies et valorisées.

La procéduralisation du concept est régie par le principe suivant : la compréhension de l'objet fonde la compréhension de l'action sur cet objet. De fait, elle exclut la juxtaposition des deux formats.

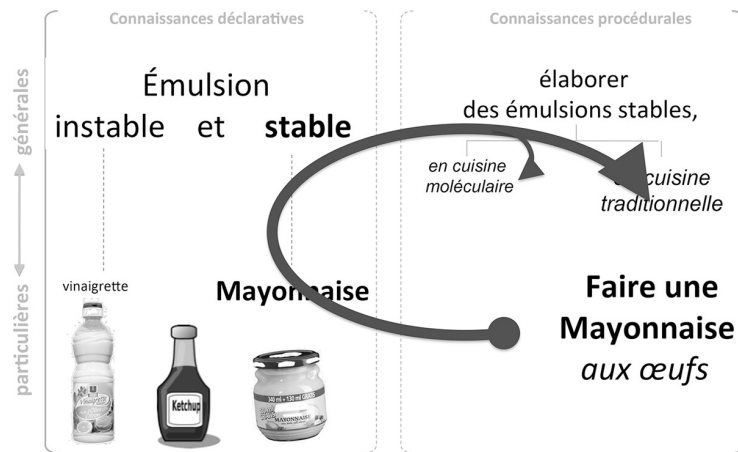
La méthode de niveau supérieur au savoir-faire, ainsi élaborée, contribue à une meilleure régulation (contrôle et évaluation) de la mise en œuvre de l'action particulière. Cette connaissance générale, la « théorie » caractérisant l'objet, n'est certes pas indispensable à l'apprentissage de l'action sur l'objet (la pratique). Mais elle permet assurément d'agir en compréhension et de réguler de façon plus autonome.

À noter qu'elle est aussi source de création de nouveaux savoir-faire.

Exemple de la mayonnaise

Faire émerger le concept d'« émulsion stable » à la suite de l'apprentissage de l'élaboration d'une « mayonnaise » contribue à comprendre pourquoi l'ordre des ingrédients est fondamental à sa réussite.

Figure 48 : Boucle de planification du concept de mayonnaise

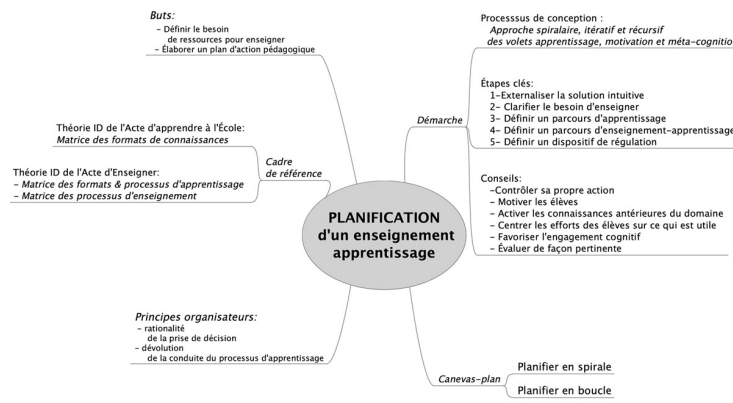


Comme le sous-tend la figure 48, la prise de conscience porte sur une connaissance déclarative de niveau supérieur à celui caractérisant l'objet sur lequel on agit. En effet, il ne s'agit pas,

uniquement, de préciser les attributs caractérisant une mayonnaise mais bien d'appréhender le concept '« émulsion ». Notamment au travers des émulsions « huile/eau (stable) vs eau/huile (instable) » et du rôle et de la composition du jaune d'œuf (tensio-actif).

On peut ainsi établir le format procédural de démarche pour « élaborer des émulsions stables » et par voie de conséquence celui pour « élaborer de la mayonnaise sans œuf », typique de la cuisine moléculaire.

3.2.4.3. La tâche de conception en quelques mots



3.3. Élaboration des ressources pour enseigner

L'essentiel du travail de définition et de planification de l'enseignement-apprentissage d'un savoir scolaire a été maintenant spécifié. Il manque un aspect important du travail de l'enseignant et de l'activité des élèves : l'élaboration des ressources matérielles. Les ressources pour enseigner correspondent à l'ensemble des supports matériels et documents au service des tâches d'apprentissages et d'enseignement. On y trouve la salle de classe, des supports matériels de communication (tableau interactif ou pas, vidéoprojecteur...), des

dispositifs matériels de manipulation, des traces écrites, des films ou vidéos, ou encore des lieux en dehors de l'école. Qu'on aille les chercher dans une banque de ressources, que l'enseignant les façonne lui-même ou qu'il confie cette responsabilité aux élèves, les ressources jouent un rôle crucial pour l'inscription de l'apprentissage dans le temps.

Nous limitons notre propos aux documents didactiques, c'est-à-dire ceux qui ont vocation à être support d'une tâche d'étude. Nous avons développé, dans notre ouvrage *Comment concevoir un enseignement ?* (Musial *et al.*, 2012), des repères méthodologiques à propos des autres ressources pour enseigner.

3.3.1. Les documents didactiques

Il existe une multitude de documents utilisés en classe par l'enseignant : administratif (comme la feuille d'appel), pédagogique (comme le cahier de textes) et didactique (comme un diaporama) (Archer, 2012).

Un document didactique est une ressource d'enseignement, c'est-à-dire « une entité (objet ou trace écrite), numérique ou non, conçue ou non, pouvant être utilisée pour des fins d'apprentissage, d'éducation ou de formation » (Serrano, 2013).

Bien que les documents didactiques soient des supports pour la transmission des savoirs, cela ne veut pas dire qu'ils participent à l'apprentissage de connaissance. « Enseigner ne se résume pas à donner accès à l'information » (Serres, 2012).

Mais un document didactique est d'abord un document.

Qu'est-ce qu'un document ? (Tricot *et al.*, 2016)

C'est un objet :

qui porte des inscriptions ou non,

qui porte une intention communicative et une intention mnésique qui sont reconnues comme telles par les usagers du document, qui est conçu et perçu comme tel.

C'est outil individuel et collectif de mémoire des connaissances, des souvenirs et des savoirs. Il répond ainsi à notre besoin de pallier : les limites de nos connaissances et de notre mémoire, les défaillances de la mémoire naturelle : l'oubli, la distraction, la mauvaise attribution, la suggestibilité, autres altérations du temps.

Le document est donc d'abord un pense-bête, une prothèse cognitive, un accès plus sûr à notre Passé. Il remplit cinq fonctions de mémoire :

lutter contre l'oubli,

garantir la fiabilité d'un souvenir,

donner à reconnaître ce que l'on ne parvient pas à se rappeler ou à nommer,

anticiper les futurs besoins de connaissances,

mettre en forme des savoirs pour qu'ils puissent être transmis.

Mais ce n'est pas pour autant que le document doit imiter la mémoire humaine. Certes, la connaissance de chaque humain a une organisation d'abord fonctionnelle (Bastien, 1997). Mais « pour être conservées et transmissibles, les connaissances doivent être présentées sous un format accessible à tous : une "organisation rationnelle" » (Bastien, 2005).

Un document sera considéré comme tel tant qu'il répond au besoin d'information d'une personne qui a un certain déficit de connaissance dans une certaine situation. Dans le cas contraire, il restera un objet.

3.3.2. Les traces écrites destinées aux élèves

Parmi les documents didactiques, on trouve les « traces écrites » (Archer, 2012). Ce sont des documents, qu'on appelle aussi fabriqués, « créés de toutes pièces pour la classe par un concepteur de méthodes ou par un enseignant » (Robert, 2002).

Elles sont, soit destinées aux élèves, soit destinées à l'enseignant pour être utilisées avec les élèves (par exemple, un diaporama) ou pour lui permettre de réguler son enseignement (par exemple, son plan d'action).

On s'intéresse ici aux traces écrites destinées aux élèves. Leur support pourra être un tableau, un diaporama vidéoprojeté ou une feuille de papier (ou un document numérique sur tablette numérique).

Ce type de trace écrite est l'autre modalité clé (avec le plan d'action) pour aider « l'enseignant à veiller à ce que les élèves acquièrent des structures de connaissances riches, équilibrées et bien organisées, et non des connaissances isolées » (Schneider & Stern, 2010).

3.3.3. Le processus de conception

Selon nous, la conception d'une trace écrite relève du processus d'enseignement « Faire comprendre un savoir », que nous avons explicité dans le deuxième volet de notre théorie, celui de l'« Acte d'enseigner ». Nous avons développé, dans notre ouvrage *Comment concevoir un enseignement ?* (Musial *et al.*, 2012), des repères méthodologiques spécifiques à la conception d'une trace écrite.

Selon Grice (1975, dans Tricot *et al.*, 2016), un « bon » document respecte les maximes conversationnelles suivantes :

Maximes de quantité

Que votre contribution soit aussi informative que possible.

Que votre contribution ne soit pas plus informative que nécessaire.

Maximes de qualité

Ne dites pas ce que vous croyez être faux.

Ne dites pas ce que vous n'avez pas de raisons suffisantes de considérer comme vrai.

Maxime de relation

Soyez pertinent.

Maximes de manière

Évitez de vous exprimer de manière obscure.

Évitez l'ambiguïté.

Soyez bref.

Soyez ordonné.

3.3.4. Quelques conseils fondés sur des preuves

Conseil-1. Structurer le document (Bjork, 1994 ; Bransford *et al.*, 2000)

1. Annoncer les objectifs.
2. Découper les contenus complexes en parties plus simples.
3. Mettre en exergue les informations importantes.
4. Indiquer de façon explicite la structure du contenu.
5. Fournir des représentations des structures du domaine de connaissance (Reif, 1984 dans De Jong, 1996).
6. Donner les synthèses intermédiaires, des résumés.

Conseil-2. Gérer l'attention (Sweller, 2001)

1. Présenter ensemble ce qui va ensemble dans le même espace (sur la même feuille).
2. Favoriser le double codage intégré (texte-image).
3. Gérer la redondance de l'information du double codage.

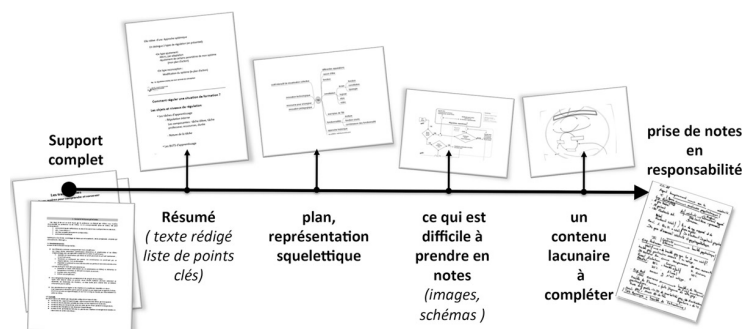
Conseil-3. Utiliser le multimédia (Mayer, 2001)

1. Respecter la double modalité : pictural & verbal et visuel & sonore.
2. Limiter l'écrit pour commenter une image : utiliser l'oral.
3. Présenter ensemble ce qui va ensemble dans le temps et dans l'espace.
4. Utiliser les animations pour les apprenants avancés, ou pour l'apprentissage de gestes. Sinon commencer par des images statiques successives.

3.3.5. *Quelle trace écrite fournir pour la prise de notes ?*

Comme l'illustre la figure 49, on peut situer à des extrémités opposées les situations où l'enseignant fournit un support complet (un photocopié ou un cours en ligne par exemple) et celles où la totalité de la trace écrite relève de la responsabilité des élèves. Entre ces deux extrémités se trouvent les situations où l'on fournit aux élèves un support incomplet pour leur permettre de façonner leurs traces écrites.

Figure 49 : Typologie de supports pour la prise de notes



Ces solutions intermédiaires donnent souvent de bons résultats, probablement car la prise de notes sous l'entière responsabilité de l'élève est très exigeante cognitivement (Kobayashi, 2006 ; Knight & McKalvie, 1986). Fournir le support complet peut au contraire désengager l'élève de son effort de compréhension (Barnett, 2003), voire favoriser l'absentéisme (Fjortoft, 2005). Fournir aux élèves des supports partiels du cours améliore à la fois la qualité de la prise de notes et les performances aux évaluations après relecture (Kiewra *et al.*, 1988, 1991).

On peut ainsi fournir aux élèves :

- un résumé, court ou long, sous forme de texte rédigé ou comme liste de points clés ;
- un plan, une représentation squelettique des principaux éléments et de leur(s) relation(s), une carte de contenus ;
- seulement ce qui est difficile à prendre en notes (images, schémas, par exemple) ;
- un contenu rédigé mais lacunaire, un schéma à compléter, une fiche à remplir.

Chapitre 4

4. Applications de la « Théorie des 3 actes »

1. Enseigner les régimes totalitaires dans l'entre-deux-guerres en Histoire, au Collège
2. Enseigner l'écriture d'un poème en Français, au collège
3. Enseigner le concept de Technologie, au collège
4. Enseigner l'écoute d'une œuvre musicale, au collège
5. Enseigner le système de numération en sciences de l'ingénieur, au lycée
6. Enseigner le dosage d'une solution colorée par étalonnage en chimie au lycée
7. Enseigner la lecture d'un schéma cinématique en enseignement technologique, au lycée
8. Enseigner le concept d'accord des mets et des boissons en enseignement professionnel, au lycée
9. Enseigner le calcul littéral, en première année IUT Génie mécanique des systèmes aéronautiques et spatiaux
10. Enseigner la résolution de problèmes de mécanique
– Résolution Épreuve de concours ou d'examen –
« Le bachotage »

11. Enseigner l'ingénierie pédagogique, en master métiers de l'enseignement et de la formation, en formation continue d'enseignants

12. À propos de ces exemples

Cette partie fait écho à la « Théorie des 3 actes » que nous avons exposée dans les trois premiers chapitres de cet ouvrage. On y présente des exemples de mise en œuvre de notre théorie-modèle d'ingénierie pédagogique, dans des disciplines à identité didactique très différente et de niveaux d'enseignement allant du collège à l'université :

1. Enseigner les expériences totalitaires dans l'entre-deux-guerres (Histoire, collège).
2. Enseigner l'écriture d'un poème (Français, collège).
3. Enseigner le concept de « Technologie au collège » (Technologie, collège).
4. Enseigner l'écoute musicale (Musique, collège).
5. Enseigner le système de numération (Sciences de l'ingénieur, lycée).
6. Enseigner le dosage spectrophotométrique (Chimie, lycée).
7. Enseigner le schéma cinématique (Technologie, lycée).
8. Enseigner l'accord mets-vins (Hôtellerie-restauration, lycée).
9. Enseigner le calcul littéral (Maths, université L1).
10. Enseigner la résolution de problèmes de mécanique (Sciences de l'ingénieur, Formation des maîtres).
11. Enseigner l'Ingénierie pédagogique (Université Master, Formation d'Enseignants).

L'ensemble de ces exemples participe de la compréhension de notre théorie de l'ingénierie pédagogique, afin de rendre sa complexité plus intelligible. Chacun d'eux n'illustre pas l'ensemble des tâches de la démarche de conception. Mais cette panoplie offre une couverture représentative de l'ensemble de ces tâches. Le discours descriptif ne peut être appréhendé pleinement sans une connaissance du modèle prescriptif d'ingénierie pédagogique.

Chaque exemple propose une description contextualisée du travail de conception d'un dispositif d'enseignement, en convoquant toujours la même structure rhétorique. Après une partie liminaire, qui précise le contexte et l'objectif de l'enseignement, on détaille successivement les activités de définition du contenu à enseigner, de planification du parcours d'enseignement-apprentissage et de façonnage des ressources pour enseigner et apprendre. Une dernière partie, intitulée « à propos de cet exemple », a vocation à préciser les limites de l'exemple et à aider le lecteur à « tirer des leçons » de cet exemple. On y propose notamment une vision synthétique et synoptique du processus de conception mis en œuvre. Ce discours modélisant devrait favoriser la mise en lien avec les éléments du modèle prescriptif d'ingénierie pédagogique.

Même si nous n'avons pas cherché à montrer explicitement la dynamique itérative et récursive du processus de conception, nous voulons attirer l'attention du lecteur sur son existence. Une lecture attentive lui permettra d'en détecter la présence.

Cependant, nous souhaiterions avertir le lecteur sur « ce qu'il ne faut pas voir » dans ces exemples, notamment dans certaines récurrences de représentations graphiques comme les « cartes de connaissance ». Le travail de cartographie d'un domaine de connaissances est une tâche fondamentale. Elle participe du processus d'externalisation de la solution, processus clé de l'activité

de conception. Nous présentons de façon quasi systématique une carte des formats de connaissances comme représentation d'une structure de connaissances. Ce choix est dû à la facilité qu'offre cette représentation graphique d'esquisser le parcours d'apprentissage et à préciser les processus d'apprentissage. C'est aussi le cas pour les autres cartes de connaissance qui leur sont associées.

Enfin, et à l'instar de ce qui est proposé pour chacun des exemples, nous avons souhaité continuer à accompagner le lecteur dans la mise en lien entre ce que « montre un exemple » de la démarche de conception et cette dernière (dirigée par notre modèle prescriptif d'ingénierie pédagogique). C'est le rôle affecté à la partie 4.12 « À propos de ces exemples ».

1. ENSEIGNER LES RÉGIMES TOTALITAIRES DANS L'ENTRE-DEUX- GUERRES EN HISTOIRE, AU COLLÈGE

1.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement mobilisant deux savoirs scolaires différents. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le champ notionnel.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage à partir d'une carte des formats.

Comment élaborer une trace écrite à partir des structures de connaissances du domaine.

1.2. Contexte et objectifs de l'enseignement

Le dispositif à concevoir s'adresse à un public de collégiens dans le cadre d'un enseignement d'histoire. Son objectif pédagogique est double : (a) permettre à un élève d'appréhender des expériences totalitaires dans l'Europe de l'entre-deux-guerres, comme le nazisme en Allemagne ou le régime stalinien en URSS, et (b) acquérir des démarches relevant de la pratique de l'histoire.

1.3. Définir le contenu à enseigner

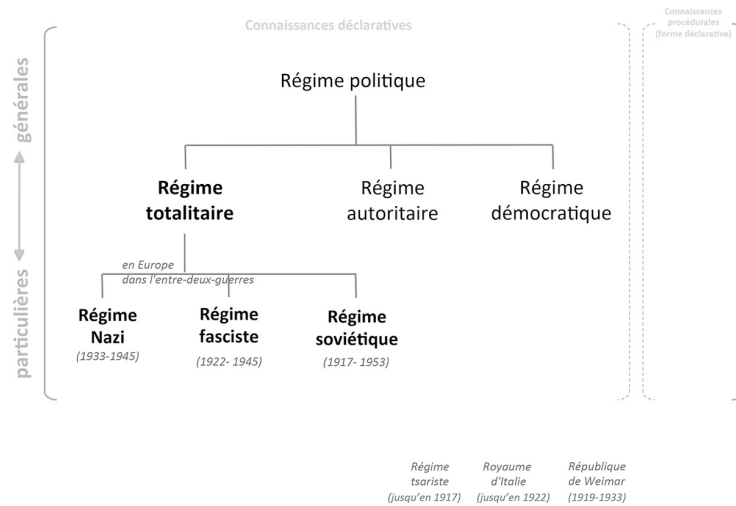
1.3.1. De la commande au champ notionnel

L'enjeu du travail de caractérisation du savoir scolaire est d'élaborer des structures de connaissance(s), sur lesquelles nous pourrions nous appuyer pour définir des parcours d'apprentissage et d'enseignement. Pour cela, nous commençons par interroger l'expression « expériences totalitaires » afin de (a) la situer dans une structure de connaissances et (b) la définir comme structure de connaissance(s).

1.3.2. Quelle est la structure de la connaissance et à quelle structure appartient-elle ?

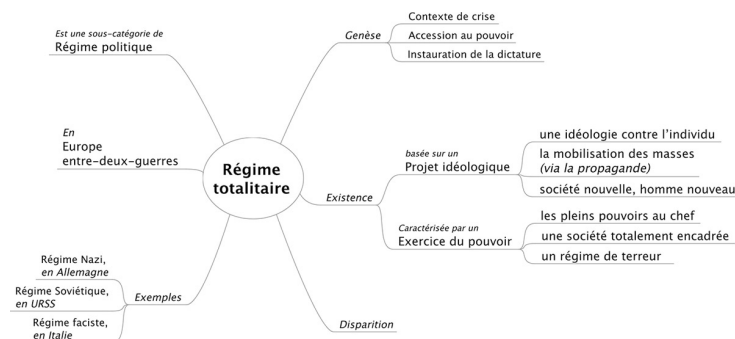
Le savoir scolaire visé renvoie aux savoirs associés au régime soviétique (en URSS de 1917-1953), au régime fasciste (en Italie de 1922-1945) et au régime nazi (en Allemagne de 1933-1945). Sur le plan cognitif, ils constituent des formats déclaratifs particuliers du concept de « régime totalitaire ». Ce concept étant lui-même un sous-concept de « régime politique », au même titre que « régime démocratique » et « régime autoritaire ». Comme l'illustre la figure 50, le champ notionnel relève uniquement de connaissances déclaratives.

**Figure 50 : Carte des formats du champ notionnel
« Expériences totalitaires dans l’Europe de l’entre-deux-guerres »**



En complément de cette carte des formats de connaissance, nous avons cherché à définir une structure de connaissance pour le concept de « régime totalitaire ». La figure 51 rend compte de cette structure conceptuelle sous forme d’une carte heuristique.

Figure 51 : Carte heuristique du « Régime totalitaire, en Europe entre-deux-guerres »



En première approche, le concept de « régime totalitaire » peut se structurer autour des deux grandes caractéristiques que sont le projet

idéologique et la forme d'exercice du pouvoir. Le projet idéologique se fonde autour d'une idéologie contre l'individu, la mobilisation des masses (via la propagande) et l'établissement d'une société nouvelle ou d'un homme nouveau. L'exercice du pouvoir s'établit au travers des pleins pouvoirs accordés au chef, une société totalement encadrée et un régime de terreur.

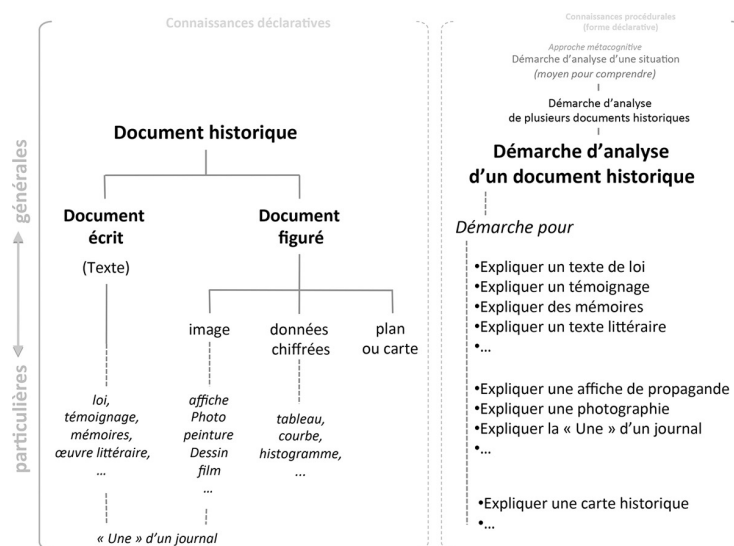
Cependant, le terme « expérience » (de expériences totalitaires), au sens d'« un fait vécu » (dictionnaire CNRTL), évoque une structure conceptuelle de type « un début, un milieu et une fin » ou dans notre contexte didactique particulier « une genèse, une existence et une disparition ». Dans ce cadre, le volet genèse convoque des communs que sont le contexte de crise, l'accession au pouvoir et l'instauration de la dictature.

Mais en regard de cela, l'apprentissage d'une connaissance (en Histoire) doit s'inscrire dans une éducation à la pratique de l'histoire, c'est-à-dire à « l'apprentissage des démarches intellectuelles qui leur permettent de construire et de mobiliser un savoir historique » (M.E.N., 2016). « Les compétences liées à l'analyse des documents et à la maîtrise des langages écrit et oral demeurent au cœur des pratiques quotidiennes de classe » (M.E.N., 2016). Nous souhaitons ici associer l'apprentissage des connaissances scolaires liées « Expériences totalitaires dans l'Europe de l'entre-deux-guerres » à l'apprentissage de la compétence « Analyser un document ».

Cette compétence mobilise des connaissances à propos du concept de document historique et de démarches d'analyse d'un type document historique. Nous avons donc cherché à définir une structure de connaissances, sous forme de carte de formats de connaissance (cf. figure 52), représentative du champ notionnel associé à cette compétence. Pour des raisons de clarté, nous n'avons pas précisé tous les formats de connaissance. Nous avons cependant

essayé, en ne voulant pas être exhaustif, d'être le plus représentatif possible.

Figure 52 : Carte des formats de connaissances du champ notionnel « analyse d'un document historique »



1.3.3. Quelle est l'utilité de la connaissance ?

Nous cherchons maintenant à identifier les tâches qui mobilisent les connaissances concernant ces deux champs notionnels (*i.e.* établir les couples (K ; T) du domaine de connaissances). Ces tâches seront utilisées pour donner du sens à l'acquisition des connaissances en termes de motivation et d'assimilation.

Les savoirs scolaires liés à « Expériences totalitaires dans l'Europe de l'entre-deux-guerres » sont utiles pour :

Réaliser des tâches scolaires

Les connaissances à leur propos font régulièrement l'objet d'évaluation dans les épreuves du brevet des collèges et du baccalauréat.

Réaliser des tâches extrascolaires

Les connaissances à leur propos permettent de comprendre le monde contemporain : des livres ou des films relatant ou évoquant cette époque, des événements actuels, des informations fournies par les médias...

Les savoirs scolaires (compétences) liés à « Analyse d'un document historique » sont utiles pour :

Réaliser des tâches scolaires

Ces compétences scolaires font régulièrement l'objet d'évaluation dans les épreuves du brevet des collèges et du baccalauréat.

Cependant, leur fonction première est l'élaboration de connaissances. Tout d'abord, de connaissances historiques ; elles sont au cœur de la pratique de classe en histoire (M.E.N., 2016).

Ensuite, elles peuvent contribuer à l'élaboration de connaissances de même nature dans d'autres disciplines. Nous abordons, ici, le champ de la compétence transversale. Selon nous, le transfert de compétence acquise dans un domaine disciplinaire de connaissances vers un autre domaine ne relève pas (a) d'un simple transfert analogique (b) à la portée de l'élève. Il nécessite l'élaboration des formats procéduraux plus généraux comme « démarche d'analyse d'un document », puis par particularisation de ces formats procéduraux dans le nouveau domaine discipline. Cet apprentissage doit faire l'objet d'un dispositif d'enseignement *ad hoc*.

Réaliser des tâches extrascolaires :

Les connaissances à leur propos contribuent à mieux appréhender certains supports d'informations auxquels l'élève est confronté au quotidien : une de quotidien, affiche publicitaire, affiche électorale... mais aussi des documentaires à vocation historique ou épistémologique.

1.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

Dans l'activité précédente, nous avons cherché à clarifier le besoin d'enseignement (la commande institutionnelle) à propos d'« Expériences totalitaires dans l'Europe de l'entre-deux-guerres » et de « l'éducation à la pratique de l'histoire ». Ce que l'on appelle en ingénierie de la conception « l'expression du besoin ». L'enjeu était d'élaborer des *cartes du « pays du savoir »*, sur lesquelles nous allons nous appuyer pour *dessiner (esquisser)* des possibilités de parcours d'enseignement-apprentissage. L'étude des savoirs scolaires à enseigner, dans le contexte didactique de l'histoire (en tant que discipline scolaire), nous conduit à devoir « coupler » deux champs notionnels, à devoir *esquisser* un parcours d'enseignement-apprentissage sur deux *cartes d'un « pays du savoir »* différentes. Comme le précise Doussot (2014), il s'agit de « décider comment faire le lien entre textes de savoir et pratiques de savoir (en histoire, entre la trace écrite et le travail sur documents qui précède) ».

1.4.1. Quel(s) but(s) et parcours d'apprentissage ?

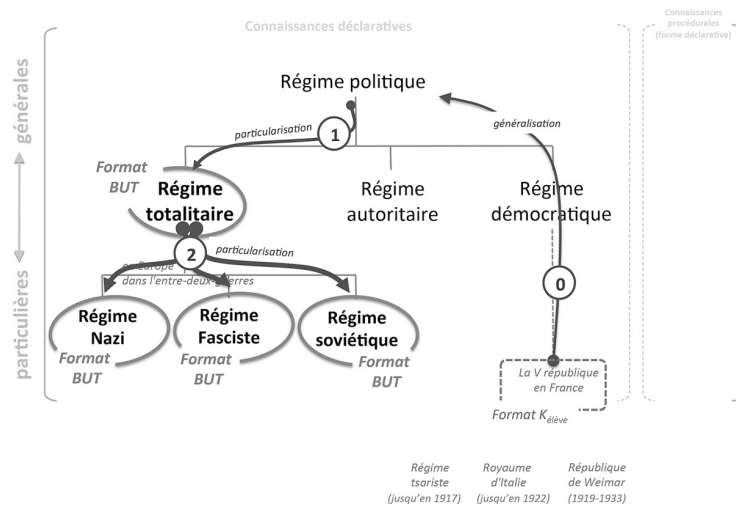
Nous commençons par rechercher des possibilités de parcours d'apprentissage liées au champ notionnel « Expériences totalitaires dans l'Europe de l'entre-deux-guerres », pour lesquels nous définissons quatre *formats-BUT* d'apprentissage : le concept de « régime totalitaire » et ses trois formats particuliers que sont le « régime nazi », le « régime fasciste » et le « régime soviétique ».

Nous souhaitons ici étudier diverses possibilités de parcours d'apprentissage. Il s'agit pour nous d'établir une « panoplie de possibles » que nous convoquerons en fonction des circonstances. Comme le ferait le meneur de jeu d'une équipe de rugby : il commence le match avec des schémas de jeux en tête, qu'il choisit de

mettre en œuvre en fonction des circonstances de jeu (en cherchant à s'adapter).

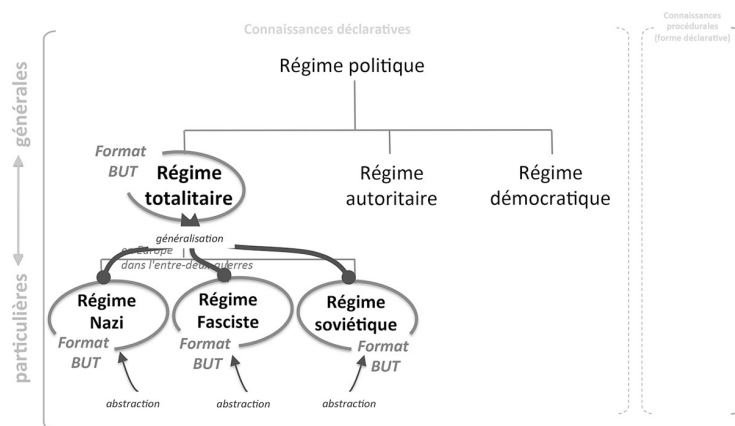
Comme l'illustre la figure 53a, nous pouvons envisager un premier parcours d'apprentissage régi par une approche de type *top-down* : les *formats-BUT* déclaratifs sont élaborés par *particularisation* (1 et 2) du concept général de « régime politique ». Ce concept général pourra être construit via un processus de *généralisation* (0) du concept de régime démocratique (lui – même bâti à partir des connaissances de élèves sur notre régime politique actuel).

Figure 53a : Parcours d'apprentissage régi par une approche « top-down »



Une autre possibilité serait d'envisager un parcours régi par une approche de type *bottum-up*, comme le montre la figure 53b.

Figure 53b : Parcours d'apprentissage régi par une approche « bottom-up »



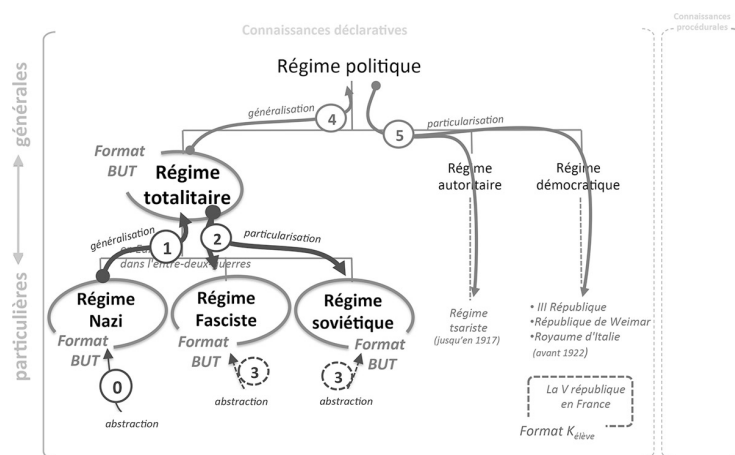
Les formats déclaratifs particuliers sont élaborés via un processus d'*abstraction*. Ils servent ensuite d'appui pour élaborer le concept de « régime totalitaire » par *généralisation*. Dans cette perspective, on pourra envisager de s'appuyer sur la structure conceptuelle de chacun des formats particuliers (sous forme de carte heuristique, par exemple ; cf. figure 51) pour favoriser les processus d'abstraction puis de comparaison, caractéristiques du processus de *généralisation*. Les structures conceptuelles particulières reprendront la structure sémantique du concept de « régime totalitaire » (cf. figure 53b).

Enfin, on peut encore envisager une troisième possibilité de parcours régi par une approche plus hybride, comme l'illustre la figure 53c.

Ce parcours est initié par l'élaboration d'un premier *format-BUT* particulier (par exemple, celui de « régime nazi ») via un processus d'*abstraction* (0). Le choix du régime nazi comme entrée dans le parcours d'apprentissage repose sur l'hypothèse que les élèves possèdent plus de connaissances personnelles à son propos que sur celles des autres régimes, eu égard à notre propre histoire de France).

Il s'agit ici de s'appuyer sur des acquis des élèves pour favoriser l'apprentissage (Schneider & Stern, 2010). Ce format permettra d'établir le concept de « régime totalitaire », via un processus de *généralisation* (1). Ce concept permettra de façonner ensuite les connaissances sur le « régime fasciste » et le « régime soviétique » via un processus de *particulariser* (2). On pourra adosser à ces apprentissages, des processus d'*abstraction* (3). Les processus d'*abstraction* (1, 2 et 3), que nous convoquons dans ce parcours d'apprentissage, s'appuieront sur des tâches d'études de document. Ils constituent pour nous des passerelles avec le champ notionnel de l'« analyse d'un document historique ».

Figure 53c : Parcours d'apprentissage régi par une approche « hybride »



Ce parcours pourra être prolongé via un processus de *généralisation* (4) suivi d'un processus de *particularisation* (5). Il s'agit de donner plus de sens à ces trois « expériences totalitaires d'entre-deux-guerres », en les situant (au sein d'une même structure de connaissance) par rapport aux régimes qui les ont précédés,

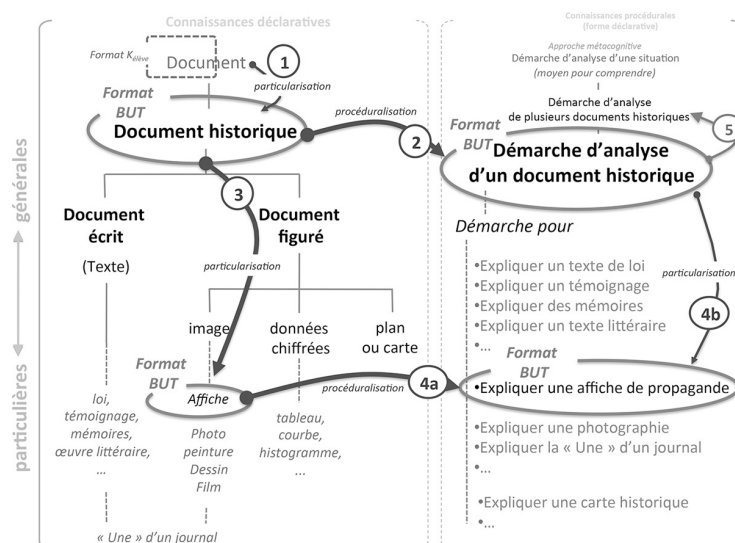
comme la république de Weimar, le Royaume d'Italie et le régime tsariste.

Nous poursuivons notre travail de planification en nous focalisant maintenant sur l'investigation du champ notionnel de l'« analyse d'un document historique ».

Comme nous l'avons évoqué dans nos propos au moment de la caractérisation de ce champ notionnel, nous souhaitons que les différents formats procéduraux soient respectivement établis à partir de formats de connaissance déclaratifs. Nous définissons donc des couples de *formats-BUT* constitués d'un format déclaratif et de son pendant procédural liés par un processus de procéduralisation. Par exemple, « document historique » & « démarche d'analyse d'un document historique » ou encore « affiche de propagande » & « démarche d'explication d'une affiche de propagande ».

Nous présentons ici un parcours d'apprentissage régi par une approche de type *top down*, comme l'illustre la figure 54. Le couple de *formats-BUT* « document historique » & « démarche d'analyse d'un document historique » est le premier à être élaboré : le concept de « document historique » est formé, via un processus de *particularisation* (1), à partir du concept de « document » (qui, même si sa connaissance $K_{\text{élève}}$ risque d'être parcellaire, et nécessitera un enrichissement, constitue un point d'appui pour engager l'apprentissage). Ce concept est ensuite *procéduralisé* (2) pour générer son pendant procédural.

**Figure 54 : Parcours d'apprentissage du champ notionnel
« analyse d'un document historique »**



Tous les autres couples de *formats-BUT* particuliers sont obtenus via des processus de *particularisation déclarative* (3) et *procédurale* (4b) et un processus de *procéduralisation* (4a).

Enfin, on pourra *étendre* (5) la « démarche d'analyse d'un document historique » à celle de « plusieurs documents historiques ».

Nous abordons maintenant la planification de parcours d'apprentissage qui « couple » des parcours d'apprentissage potentiels associés aux deux champs notionnels. Nous allons nous limiter à exposer succinctement un exemple de couplage.

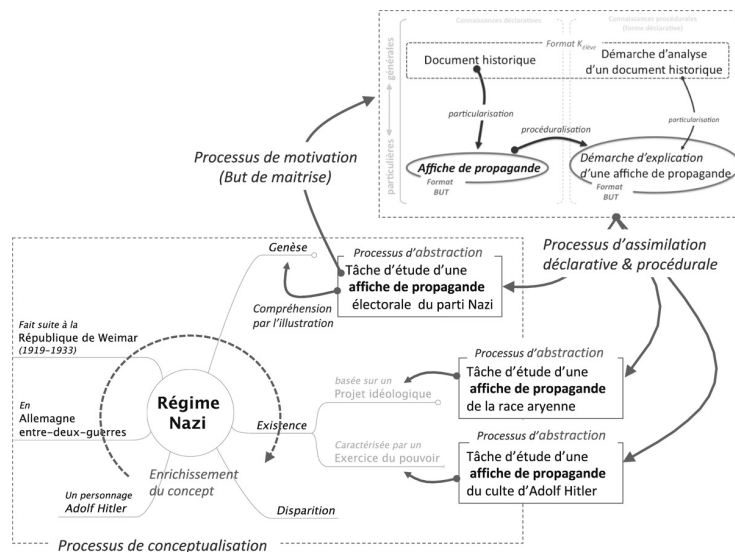
Comme l'illustre la figure 55, nous nous situons au sein du processus d'élaboration du format déclaratif « régime nazi ». Le processus de conceptualisation s'organise chronologiquement autour d'une rhétorique qui situe dans le temps et l'espace le régime nazi avant d'en préciser la genèse, l'existence et la disparation.

1.4.2. Principe du couplage

La *compréhension* de chacun des attributs du concept de « régime nazi » va s'appuyer sur des tâches d'études de documents. Les connaissances extraites de ces documents (via un processus d'*abstraction*) seront utilisées pour illustrer le contenu conceptuel. La tâche d'étude de documents nécessite de mobiliser des connaissances à propos du champ notionnel de l'« analyse d'un document historique ».

Parmi les différents documents à analyser, un nouveau type de document sera proposé (par exemple, une *affiche de propagande* électorale du parti nazi). L'apparition de la nouveauté servira de point d'appui à un processus de *motivation* (but de maîtrise) qui a vocation à engager l'apprentissage des formats de connaissance liés à l'« analyse d'un document historique ».

Figure 55 : Schéma d'apprentissage couplant deux champs notionnels en histoire au collège



L'élaboration de ces derniers découlera d'une *particularisation* des formats généraux (établis dans dispositifs d'enseignement précédents). Ces connaissances seront ensuite appliquées sur des cas différents (processus d'*assimilation déclarative et procédurale, en transfert proche*) mais au service de l'élaboration du concept de « régime nazi ». Leur mise en œuvre sera progressive : d'abord sous forme observation (via une tâche d'étude cours) pour favoriser la compréhension, puis de façon parcellaire (via une tâche d'étude de document) et enfin dans leur intégralité (via une tâche d'étude de document). Elles seront ensuite mobilisées dans l'apprentissage des formats particuliers « régime fasciste » et « régime soviétique » (processus d'*assimilation déclarative et procédurale, en transfert moins proche*). On veillera à appliquer un *principe d'espacement* (Rohrer & Taylor, 2006) sur la mobilisation de ces connaissances.

En guise de conclusion, le couplage entre les deux champs notionnels peut se résumer au principe suivant : *besoin d'apprendre (à agir) pour continuer à apprendre (à comprendre le monde d'hier)*. Il sous-tend l'apprentissage de la pratique de l'histoire.

1.5. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

Parmi toutes les différentes traces écrites qui vont être nécessaires à l'enseignement des savoirs scolaires précédemment identifiés, nous souhaitons centrer notre propos sur certaines d'entre elles.

Les traces écrites qui indiquent de façon explicite la *structure du contenu*.

Elles jouent un rôle essentiel dans la compréhension et la rétention des informations (Bjork, 1994 ; Bransford *et al.*, 2000). Les différentes cartes de formats et cartes heuristiques que nous avons

établies pour caractériser le contenu à enseigner (figures 1a, 1b et 2) sont des exemples de ces traces écrites.

Les traces écrites qui favorisent l'élaboration d'une *compétence*.

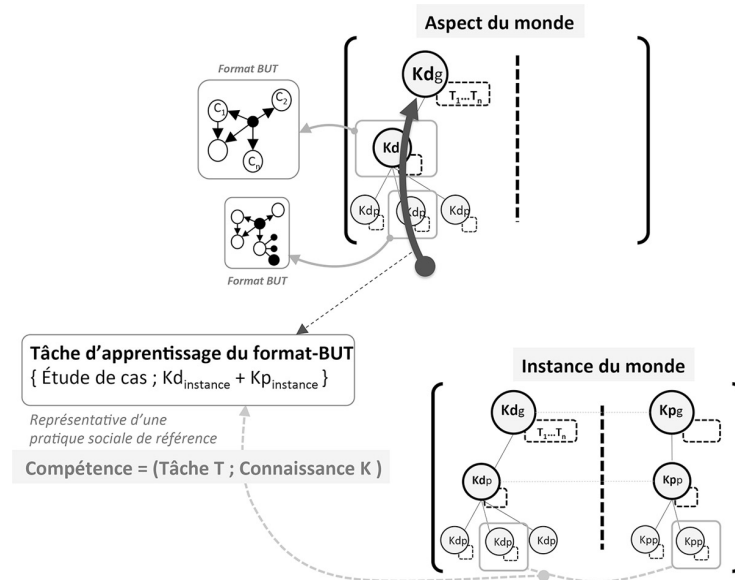
Elles portent sur l'« analyse d'un document historique ». Afin de jouer leur rôle cognitif, ces traces écrites exposeront les éléments importants de la compétence, à savoir le format déclaratif et le format procédural (Siegler, 2009). Autrement dit, la trace écrite formalisant la « démarche d'explication d'une affiche de propagande », présentera aussi le concept d'« affiche de propagande ». Cette présentation « adjacente » vise aussi à réduire le coût cognitif inutile (Sweller *et al.*, 2010). La conception de ces traces écrites s'appuiera sur le processus d'enseignement « faire comprendre un savoir » (cf. chapitre 2 « Théorie de l'acte d'enseigner »).

1.6. À propos de cet exemple

Nous avons limité notre propos à la phase d'élaboration d'un parcours d'apprentissage, qui mobilise deux champs notionnels. Nous avons voulu particulièrement montrer comment élaborer des « cartes d'un pays du savoir » pour ensuite y inscrire un « parcours d'investigation ». Dans le cas présent, il fallait « coupler des voyages » au sein de deux « pays du savoir » différents.

Comme l'illustre la figure 56, l'identification et le couplage des « pays du savoir » provient d'une des tâches d'apprentissage, soutenant le processus d'apprentissage d'*abstraction généralisante*.

Figure 56 : Représentation schématisque du travail de cartographie du champ notionnel



La nature de cette tâche d'apprentissage est un choix didactique : il s'agit de faire vivre à l'élève une pratique sociale de référence (en l'occurrence celle du travail de l'historien qui interroge les instances du passé pour comprendre et décrire un aspect du monde passé). Cette tâche d'étude de cas nécessite de mobiliser des connaissances déclaratives (Kd_{instance}) et procédurales (Kp_{instance}) à leur propos. Ce couple (Tâche T ; Connaissance K) caractérise une compétence scolaire visée par le dispositif d'enseignement.

Le travail de cartographie des deux « pays du savoir » (celui des aspects du monde passé et celui des instances du monde passé) s'effectue à deux échelles. Le premier, à l'aide d'une carte des formats, cherche à positionner la connaissance scolaire visée par rapport à des connaissances plus générales (déclaratives Kdg ou procédurales Kpg) et plus particulières (déclaratives Kdp ou procédurales Kpp). On y trouve aussi l'expression de l'utilité de ces formats de connaissances

(sous la forme de tâche T_1 à T_n). Le second travail, à l'aide d'une carte de connaissance (carte de réseau sémantique), précise l'architecture et les composantes définitoires (C_1 à C_n) d'un format de connaissance, visé (ou mobilisé) par le dispositif d'apprentissage.

Le travail de conception présenté ici couvre une première phase de l'élaboration du dispositif d'apprentissage. Il reste maintenant à transformer le parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement-apprentissage, comme le ferait un moniteur d'auto-école, en fonction des contraintes spatio-temporelles. Puis définir les moyens pour apprendre et enseigner : les traces écrites des élèves, les supports d'étude et les documents de l'enseignant (diaporama et trace tableau) en interaction avec le parcours d'enseignement-apprentissage.

2. ENSEIGNER L'ÉCRITURE D'UN POÈME EN FRANÇAIS, AU COLLÈGE

2.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement emblématique : « Enseigner à faire quelque chose ». Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le champ notionnel pour définir le savoir scolaire.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage à partir d'une carte des formats de connaissance et de la matrice des formats et processus d'apprentissage.

Comment élaborer une trace écrite à partir de représentations des structures de connaissances.

2.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Le dispositif que nous avons conçu s'adresse à un public de collégiens dans le cadre d'un enseignement de français. Il doit permettre à un élève de développer ces compétences langagières orales et écrites en production.

L'objectif pédagogique général demande à ce que l'élève, en réponse à une consigne d'écriture, sache produire un écrit d'invention s'inscrivant dans un genre littéraire du programme, en s'assurant de sa cohérence et en respectant les principales normes de la langue écrite.

L'objectif pédagogique spécifique du dispositif d'enseignement-apprentissage à concevoir vise à rendre capable un élève de produire un poème, en adoptant des stratégies et des procédures d'écriture efficaces.

2.3. Définir le contenu à enseigner

2.3.1. De la commande au champ notionnel

Écrire un poème est une tâche qui mobilise deux formats de connaissance : le concept de poème et la démarche d'élaboration d'un poème. Nous allons donc questionner chacune de ces connaissances, et le lien qu'elles entretiennent, afin de caractériser le champ notionnel.

Le poème est un texte de poésie appelé aussi texte poétique (ou encore poésie). La poésie est un genre littéraire caractéristique par sa forme, que l'on oppose au récit et au théâtre. Le poème est le produit d'une activité humaine de création ; il ne possède pas de fonction pratique définie. Il permet d'évoquer des sensations, des

émotions, des impressions ou de défendre une idée ou de tenir un propos (engagé, à visée morale...) avec un langage particulier.

Le langage poétique est qualifié à la fois de musical, imagé et libre :

La musique du poème se fonde sur des jeux sonores (rimes, répétitions de mots (anaphore) ou de sonorités (assonances et allitérations)) et des rythmes (nombre de syllabes, longueur des vers, pause, rejet ou enjambement).

Le langage poétique se reconnaît également par son caractère imagé. La signification des mots n'apparaît pas toujours immédiatement. Le sens du poème se construit dans un jeu d'associations des mots. Ces associations peuvent entretenir des relations de ressemblance (comparaison, métaphore, personnification, allégorie) ou d'opposition (antithèse, oxymore).

Enfin, le langage poétique est libre parce qu'il joue avec les mots et les constructions de phrases pour bâtir, aussi, le sens du poème. Les jeux autour du langage peuvent également être d'ordre structurel (comme le chiasme) ou prendre appui sur la polysémie des mots (concret/abstrait avec le zeugme par exemple). On identifie aussi des jeux autour de variations lexicales qui permettent de produire du sens (gradation, énumération). Le langage poétique a de plus cette particularité de jouer sur la dimension graphique, sensible du langage.

En d'autres termes, le langage poétique joue avec les différentes potentialités de la langue française.

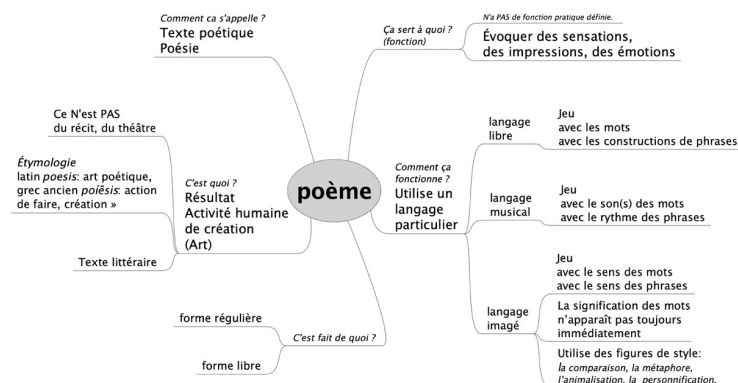
Les textes poétiques peuvent présenter des formes régulières ou libres. Un poème à forme régulière est composé selon un schéma précis. Il est constitué de vers regroupés en un nombre défini de strophes. Il existe des formes fixes comme le sonnet, la ballade,

l'ode... On trouve aussi des poèmes en vers libres dont aucune loi ne régit la forme. Néanmoins, ils peuvent être sous contraintes de sonorité, de mise en page (par exemple, le calligramme) ou de rythme.

2.3.2. Quelle est la structure de la connaissance ?

Afin de préparer le travail de planification, nous avons représenté, sous la forme d'une carte heuristique, la structure sémantique du concept de poème (cf. figure 57).

Figure 57 : Carte sémantique du concept de « poème »

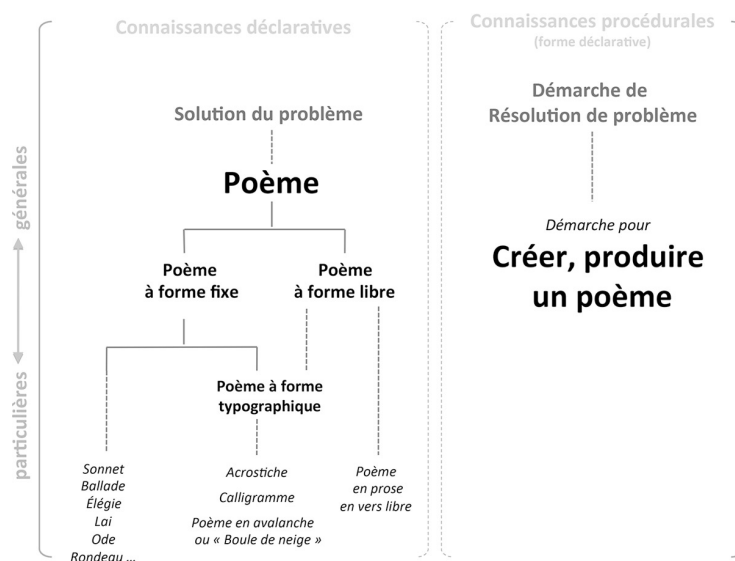


2.3.3. Quelle est la structure d'accueil de la connaissance ?

Pour continuer à cartographier le « pays du savoir » concernant l'écriture d'un poème, nous avons esquissé une carte des formats de connaissance (cf. figure 58). Outre le fait qu'elle mette en exergue la démarche de création-production d'un poème, elle vise à inscrire les connaissances visées dans un contexte métacognitif. Selon nous, l'élaboration d'un poème relève de la résolution de problème ouvert et complexe, comme la conception créative (Bonnardel, 2006). Dans ce cadre, le poème renvoie au métaconcept de « solution au problème ». Cela veut simplement dire que les deux formats de

connaissances, déclaratif et procédural entretiennent un lien sémantique du type « est le résultat de l'action ». Nous utiliserons cette caractéristique cognitive pour expliciter la démarche d'élaboration d'un poème.

Figure 58 : Carte des formats de connaissance du champ notionnel « Écriture d'un poème »



2.3.4. Quelle est l'utilité de la connaissance ?

Afin d'anticiper sur la nature des tâches d'apprentissage (élaboration ou assimilation), nous avons cherché à caractériser l'utilité de ces formats de connaissance. Ce travail a vocation à modéliser le champ notionnel en termes de Connaissances spécifiques de Domaine (CsD = Ensembles de couples {Format K ; Tâche T}). Soit dans le cas présent, $CsD_{poème} = \{Kd ; \Sigma T\} + \{Kp ; \Sigma T\}$.

Ainsi, le « concept de poème » (Kd) permet de réaliser les tâches de reconnaissance d'un poème (en tant qu'objet du monde littéraire), de compréhension d'un poème, de diction d'un poème et contribue à l'élaboration d'une démarche pour créer un poème.

La « démarche de création-production de poème » (Kp) contribue à réaliser des tâches d'expression écrite pour dire des choses (sentiments, émotions, ou message/idée à faire passer au lecteur-auditeur), comme cela a été le cas lors des attentats en 2015 en France : de nombreux poèmes ont été postés sur les réseaux sociaux.

Ces deux formats de connaissances permettent aussi de répondre à une évaluation (tâche scolaire).

La démarche de création-production d'un poème (Kp) demande à être explicitée. Notre expérience d'enseignant nous montre à quel point ce n'est pas chose aisée. Nous proposons ici une démarche didactisée, qui est le résultat d'une longue quête de la part d'Alexia Motycka. Elle a clairement vocation à permettre une économie cognitive pour l'élève. Un cadre qui ne demande qu'à être dépassé, un marchepied vers l'autonomie. C'est-à-dire la « capacité de se conduire soi-même » (source : blog de P. Meirieu).

2.3.5. Explicitation du format procédural

Créer un poème c'est tâtonner : écrire des choses, les jeter, les mettre de côté, les modifier. Mais c'est aussi :

Trouver une idée

Quel thème est-ce que je souhaite aborder ? Quel effet ai-je envie de susciter sur le lecteur-auditeur de mon poème ?

Par exemple parler de la liberté d'écrire alors qu'on est un prisonnier ou exprimer de façon singulière un sentiment universel (amour : au passé, présent et futur).

Collecter des mots pour dire cette idée

J'essaie de proposer (au moins cinq mots à chaque fois) :

- des mots français que je trouve beaux pour leur(s) sens,
- des mots français que je trouve beaux pour leur(s) son(s),
- des mots français que je trouve beaux pour leur graphie,
- des mots français incontournables selon moi dans un poème sur mon idée,
- des mots français interdits selon moi dans un poème sur mon idée,
- des mots étrangers que j'aime,
- des mots étrangers que j'aime et qui auraient leur place dans un poème sur mon idée pour leur(s) sens, leur(s) son(s) ou leur graphie. Si j'en connais la traduction, je pense à l'indiquer à côté.
- ajouts et des corrections, j'essaie de trouver une harmonie, c'est-à-dire une impression agréable, un sentiment de beauté.

- Je peux aussi me mettre des défis, en essayant de respecter des règles de versification (cf. le document de leçon).
- Je lis mon poème, je le fais lire ou je le donne à entendre à quelqu'un et j'écoute ses commentaires. Si cela s'avère nécessaire, je joue à nouveau avec les mots ou je collecte d'autres mots.

Jouer avec les mots pour dire cette idée

Pour jouer avec les mots, je fais ce que je veux, librement, comme je l'entends. Et je ne cherche pas à m'imposer inutilement des règles du jeu.

Mais je peux utiliser les astuces et techniques de jeu suivantes :

- Parmi 5 mots (au moins) de chaque catégorie, je choisis un mot. Je forme ainsi un premier réservoir de mots avec lesquels je vais pouvoir jouer. Je peux demander l'avis d'une autre personne pour confirmer mes choix.
- Je forme un énoncé (court ou long) pour chacun des mots, avec d'autres mots du réservoir ou pas. J'essaie de trouver trois énoncés à chaque fois. Pour cela, je peux utiliser les savoir-jouer suivants :
 - l'enrichissement (on part d'un mot, on pose comme contrainte d'en mettre un devant, puis un derrière, encore un devant, etc.) ;
 - les figures de styles de ressemblance, d'opposition, etc. Je veille à articuler ces procédés stylistiques aux effets que je souhaite créer (*ex. : je souhaite évoquer une ambiguïté ou un contraste, j'utilise préférentiellement l'oxymore, ex : le clair-obscur de ton regard*) ;
 - « à la manière de » : (c'est-à-dire en cherchant à imiter la façon d'écrire d'un poète que j'ai étudié).
 - Je choisis des énoncés et je cherche à les ordonner sous la forme d'une liste, pour former une première esquisse du poème. Par des ajouts et des corrections, j'essaie de

trouver une harmonie, c'est-à-dire une impression agréable, un sentiment de beauté.

- Je peux aussi me mettre des défis, en essayant de respecter des règles de versification (cf. le document de leçon).
- Je lis mon poème, je le fais lire ou je le donne à entendre à quelqu'un et j'écoute ses commentaires. Si cela s'avère nécessaire, je joue à nouveau avec les mots ou je collecte d'autres mots.

2.3.6. À propos des principes de conception de ce format procédural

Cette démarche est d'abord l'illustration d'une stratégie de découverte de la solution à un problème (approche métacognitive). Elle procède par différentes tentatives d'essais et d'erreurs et mobilise des processus de résolution qui peuvent être une règle, une heuristique ou bien liés à l'utilisation d'une situation déjà rencontrée (Lemaire, 1999 ; dans Dupay, 2011).

Ensuite, cette démarche est le résultat de la recherche d'un sens cognitif : le lien sémantique entre le format déclaratif (le concept de « poème ») et son pendant procédural (sa démarche d'élaboration). Le poème est le résultat d'une action de création : le produit fini (le quoi) d'un processus (le comment). Pour élaborer cette démarche, nous sommes donc partis du « quoi » pour définir le « comment ». En d'autres termes (cf. figure 1), si un poème (a) sert à exprimer une idée (b) à l'aide de jeux (c) avec les mots, alors fabriquer un poème, c'est trouver une idée, collecter des mots pour dire cette idée et enfin jouer avec ces mots pour dire cette idée (ou la faire entendre à un destinataire ; « entendre » est ici dans un sens polysémique).

Ensuite, nous avons voulu mettre en mots une manière de fabriquer un poème qui soit acceptable par l'élève. C'est-à-dire, perçue comme utile et utilisable pour réaliser cette tâche de création. L'enjeu est que l'élève s'empare de cette forme d'écriture, la démystifie, la banalise. C'est notamment le cas pour l'étape « collecter des mots pour dire une idée ». Nous proposons un ensemble de questions qui vise à trouver des mots, non seulement pour leur lien sémantique avec l'idée, mais aussi pour le rapport à leur graphie et à leur sonorité. Nous proposons ici un triple regard sur les mots : celui du linguiste, du poète et du graphiste. Il s'agit d'inviter l'élève à regarder ailleurs et autrement, pour développer sa créativité : rencontrer ou dévoiler (Rouquette, 2007), c'est-à-dire « voir ce que les autres ne voient pas » (Bonnardel, 2006). Et ainsi parler de l'extraordinaire (comme le sentiment amoureux) avec les mots du quotidien ou de l'improbable. On pourrait presque dire de « l'extraordinaire : ce qui sort de l'ordinaire, du quotidien, qui se produit d'une manière imprévisible en dehors du cours ordinaire des choses » (*Trésor de la Langue Française*) afin de renforcer le contraste. La problématique de la séquence réside dans cette tension.

Enfin, nous avons cherché à outiller l'élève d'une panoplie de savoir-faire, et plus particulièrement de « savoir-jouer » avec les mots. Ils proviennent de techniques pour accompagner l'écriture d'énoncés, comme l'enrichissement ou les figures de styles, mais aussi de pratiques de poète, autrement dit « à la manière de ». Il s'agit clairement d'aider l'élève à construire par tâtonnement.

2.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

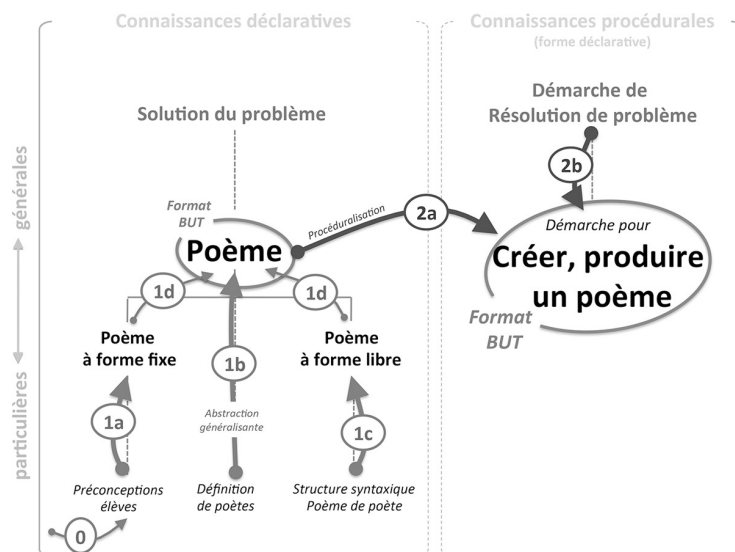
L'objectif pédagogique de cet enseignement est de rendre un élève capable de produire un poème, à l'écrit, sur un thème donné (par exemple, « Dire l'amour »).

2.4.1. Définir le parcours d'apprentissage

2.4.1.1. Quels buts d'apprentissage ? Quels processus d'apprentissage ?

Comme l'illustre la figure 59, pour atteindre cette performance, nous avons établi un parcours qui vise l'apprentissage de la démarche de création-production d'un poème. Ce *format-BUT* procédural sera le résultat de la mise en œuvre d'un processus de procéduralisation du concept de poème (processus 2a). Et ceci, en raison de la relation sémantique qu'entretiennent ces deux formats de connaissances ; relation que nous avons nous-mêmes exploitée : partir du résultat (le « quoi ») pour définir le processus (le « comment »). Ce processus de procéduralisation (2a) sera accompagné d'un processus de particularisation procédural (processus 2b) de la démarche de résolution d'un problème (format de connaissance métacognitif).

**Figure 59 : Parcours d'apprentissage du champ notionnel
« Écriture d'un poème »**



Mais cette relation sémantique n'est pas l'unique raison qui a conduit à poser le concept de poème comme *format-BUT*, précurseur à la connaissance procédurale.

Notre expérience d'enseignant de collège nous indique que les difficultés qu'éprouve un élève à écrire un poème, proviennent notamment de ses connaissances à propos du concept de poème. L'idée qu'il se fait d'un poème peut être illustrée par les propos de l'un d'entre eux : « c'est un texte dans lequel l'auteur veut faire passer une idée en faisant des rimes, avec le même nombre de syllabes à chaque vers » (Lissillour, 2006). Cette connaissance réduit le concept de poème à celui de poème de forme fixe, et renvoie aux règles de versification. Elle ignore le poème de forme libre, celui qui « casse les codes » pour aller explorer l'autre extrémité de la poésie.

Cette réduction conceptuelle amène les élèves à vouloir créer un poème qui respecte les règles de versification. C'est-à-dire à s'imposer trop de contraintes de création. Ce comportement n'est pas sans

rappeler celui du concepteur-créateur débutant. Ils adoptent principalement une « stratégie anticipative », où les contraintes mobilisées sont immédiatement respectées, alors que les experts « se détachent » des exigences. Ils adoptent principalement une « stratégie de report », où certaines contraintes mobilisées sont mises de côté pour y revenir ultérieurement (Chevalier & Bonnardel, 2003).

C'est pourquoi nous avons donc souhaité commencer le parcours d'apprentissage par une validation conceptuelle (processus 1). Elle correspondra, pour certains élèves, à une modification conceptuelle, par enrichissement (processus 1c). Nous avons choisi de façonner cet apprentissage à l'aide de processus d'abstraction généralisante (processus 1a, 1b et 1c et 1d). Cette approche *bottom-up* présente certes l'intérêt de prendre appui sur le connu, mais vise aussi à adopter des postures intellectuelles impliquées dans la création d'un poème.

2.4.1.2. Le choix des tâches d'apprentissage

Le processus 1a propose de construire le concept à partir des connaissances des élèves. À cet égard, il s'appuie sur un processus d'explicitation déclarative (processus 0). Le processus d'abstraction 1a sera soutenu par une tâche d'étude des définitions proposées par les élèves. Il vise les caractéristiques du concept de poème à forme fixe. Il s'agit ici de proposer une tâche engageante cognitivement et sur le plan de la motivation.

L'enjeu de cette tâche réside dans sa fonction éducative. Il porte sur l'acquisition d'une posture intellectuelle participant de la création d'un poème : écouter l'autre, prendre en compte l'autre, son point de vue, pour mieux connaître l'autre et se faire comprendre de lui.

Le processus 1b contribue à l'élaboration du concept à partir de la définition de poètes, c'est-à-dire celles d'experts. Il se centre sur deux attributs clés du concept (cf. figure 56) :

la fonction du poème (créer des émotions, des sensations),

son fonctionnement : l'utilisation d'un langage particulier (la signification des mots n'apparaît pas toujours immédiatement : il faut lire entre les lignes).

L'enjeu est la mise en perspective des (seules) caractéristiques de la solution à prendre en compte lorsqu'on est confronté au problème de création d'un poème.

Le processus sera porté par une tâche d'étude d'une liste de définitions de plusieurs poètes. Les élèves devront traduire avec leurs mots chaque définition donnée par un poète. Ils devront aussi qualifier la façon avec laquelle le poète s'exprime. Cette tâche s'effectuera en co-élaboration afin d'être la plus engageante possible cognitivement (engagement cognitif profond : niveau interactif, selon le modèle ICAP (Chi & Wylie, 2014)) et la plus acceptable en termes d'engagement motivationnel.

Le processus 1c participe à l'acquisition du concept à partir de l'étude de poèmes. Ce processus d'apprentissage sera supporté par une tâche de lecture littéraire (tâche d'étude de document). Par exemple, un extrait de la chanson « Tant que les gens font l'amour » de Grand corps malade (2013) ou encore de « Prendre Corps » de Ghérasim Luca (1944-1945). Le but est de montrer que les caractéristiques premières qui avaient été données par les élèves pour définir un poème ne sont pas toutes opérationnelles. En effet les textes choisis ne correspondent pas (volontairement) aux représentations initiales.

L'enjeu se situe dans l'apprentissage d'un savoir-faire de caractérisation du langage particulier utilisé par le poète. Cela demande de comprendre le texte et savoir en apprécier le fonctionnement. Il s'agit de préparer le « savoir-jouer à la manière d'un autre ». Par exemple, dans le poème « Prendre Corps » de G. Luca, chaque vers a une syntaxe particulière, qui « casse les codes » : « Je te narine [...] tu me lèvres humides » (conjugaison d'un verbe pronominal à la première ou seconde personne ; le verbe est remplacé par un nom ou un groupe nominal).

Mais cet exemple montre aussi en quoi ce « savoir-jouer à la manière d'un autre » participe du processus de création d'un poème. En étudiant le poème titré « Au mocassin le verbe », de Robert Desnos (1923), nous cherchons à montrer « la propension de G. Luca à... disons imiter d'autres poètes et en quoi il n'est pas toujours l'“inventeur” de la forme de ce qu'il produit » (anonyme 4Z2A84).

Nous souhaitons rappeler ici que les textes sont choisis pour leur fonction didactique. Les supports des cours de français ont cette particularité d'appartenir à la fois au domaine esthétique (textes lus pour le plaisir ou pour leurs qualités littéraires) et au domaine scolaire (textes patrimoniaux qui accompagnent l'apprentissage de la langue française et l'élaboration d'une culture).

2.5. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

À partir de cette première esquisse du plan d'action, nous avons commencé à façonner des traces écrites d'enseignement et d'apprentissage. Nous souhaiterions centrer notre propos sur certaines d'entre elles.

La première trace écrite est liée au concept de « poème ».

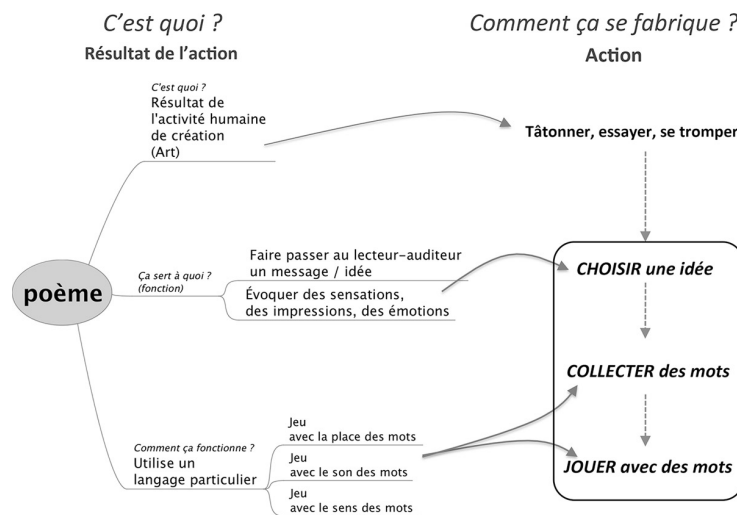
Sa vocation est de fournir une représentation de la structure conceptuelle de la connaissance.

Le document élève, tenant sur une seule page, est constitué de deux figures :

la carte heuristique proposée en figure 1, qui institutionnalise le savoir scolaire. C'est la composante d'explicitation du processus de compréhension d'un savoir.

une carte heuristique, miroir de la première, mais constituée des propositions formulées par la classe. Il s'agit de formaliser la connaissance collective, à partir de connaissances individuelles, au plus près du savoir scolaire. C'est la composante d'explication du processus de compréhension d'un savoir.

Figure 60 : Esquisse de la trace écrite
« Faire comprendre la démarche de création-production un poème »



Le document professeur, sous forme de deux diapositives, reprendra ces figures. La seconde pourra être établie à l'aide d'un

Tableau Blanc Interactif. Elle sera élaborée en premier.

La seconde trace écrite est liée à la démarche de « création-production d'un poème ».

Cette trace écrite (cf. figure 60) a pour fonction de soutenir le processus de procéduralisation conceptuelle (cf. figure 58 – processus 2a et 2b). Accompagnée d'un discours oral, elle propose une autre modalité pour faire comprendre la démarche.

Comme précédemment, elle pourra être établie à l'aide d'un Tableau Blanc Interactif.

2.6. À propos de cet exemple

Cette étude de cas ne présente pas l'ensemble du travail de conception. Nous avons limité notre propos à la phase d'esquisse du parcours d'apprentissage de la connaissance procédurale. Il reste à définir la phase d'assimilation (le transfert) pour laquelle nous envisageons des tâches de production dans le cadre de projets (les poèmes seront exposés au CDI du collège), d'un club de poésie, ou de la participation à des concours, mais aussi un réinvestissement de ces apprentissages lors d'autres travaux d'écriture narrative ou théâtrale. Il s'agit de sensibiliser les élèves au mélange des genres littéraires pour produire des écrits d'invention plus riches.

Nous n'avons pas non plus présenté le travail de transformation du parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement. Comment nous soutenons chacun des processus d'apprentissage : quelle partie des processus d'apprentissage laisse-t-on à l'élève et quelle partie l'enseignant prend à son compte ?

Mais nous avons voulu particulièrement montrer comment « Enseigner à faire quelque chose », en s'appuyant sur l'explicitation

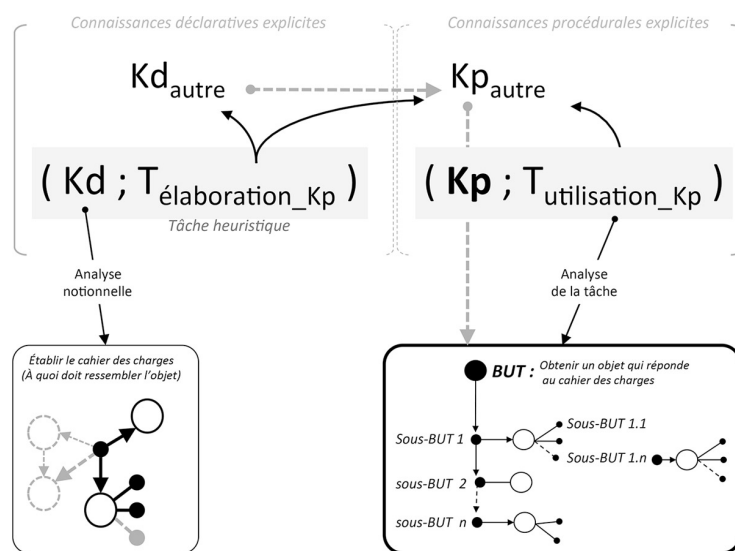
et le couplage de « ce qu'il y a à faire » et de « comment le faire » (cf. chapitre 2 « Théorie de l'acte d'enseigner », 2.3 « Des processus d'enseignement emblématiques »).

Dans les faits, et comme l'illustre la figure 61, cela s'est traduit par un travail préliminaire de spécification deux couples (Connaissance ; Tâche) au sein du champ notionnel :

Celui formé par la connaissance déclarative (Kd) nécessaire à la tâche d'élaboration ($T_{\text{élaboration_Kp}}$) du format procédural (Kp). Que l'on peut formuler par (Kd ; $T_{\text{élaboration_Kp}}$).

Celui formé par la connaissance procédurale (Kp) nécessaire à la tâche d'utilisation ($T_{\text{utilisation_Kp}}$) du format procédural (Kp). Que l'on peut formuler par (Kp ; $T_{\text{utilisation_Kp}}$).

Figure 61 : Principe d'élaboration d'un format procédural



L'analyse notionnelle du format déclaratif (Kd) a permis d'élucider le cahier des charges du format procédural. C'est-à-dire à identifier les composantes pertinentes : celles qui sont utiles pour définir les aspects de l'objet à élaborer. Elle a donné lieu à travail de

cartographie et proposer ainsi une représentation de la structure conceptuelle du format déclaratif.

Ce format déclaratif, même s'il s'avère nécessaire à la tâche d'élaboration du format procédural, n'en demeure pas moins suffisant. D'autres formats ont été mobilisés : des formats déclaratifs (Kd_{autre}) et des formats procéduraux (Kp_{autre}), particuliers ou généraux.

L'analyse de la tâche d'utilisation du savoir procédural (Kp) a permis d'en spécifier le contenu, sous la forme d'une structure organisée de sous-buts (enrichie des actions et les moyens pour y parvenir) et de leur décomposition hiérarchique respective.

C'est ce principe de caractérisation particulier des savoirs à enseigner qui a été conservé pour planifier les apprentissages : la tâche de compréhension des composantes de la connaissance déclarative prépare la tâche de procéduralisation.

Mais c'est aussi le travail de cartographie associé qui a servi d'appui à l'élaboration d'une trace écrite « élève » pertinente (cf. figure 60). C'est-à-dire d'une représentation explicite d'une connaissance K , mobilisable dans une tâche T , caractéristique de la compétence scolaire visée.

3. ENSEIGNER LE CONCEPT DE TECHNOLOGIE, AU COLLÈGE

3.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'un concept et des connaissances

procédurales métacognitives associées. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le contenu à enseigner.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage en s'appuyant sur des cartes de réseaux sémantiques.

Comment transformer un parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement « à la carte ».

3.2. Contexte et objectifs de l'enseignement

Le dispositif d'enseignement-apprentissage à concevoir est celui de la toute première séance de Technologie au collège. L'objectif d'enseignement est de présenter cette discipline aux jeunes collégiens, c'est-à-dire préciser ce qu'on y apprend, comment on y apprend, et de la distinguer des autres disciplines.

3.3. Définir le contenu à enseigner

3.3.1. De la commande au champ notionnel

Selon nous, le savoir à enseigner relève ici d'un double enjeu. Un enjeu didactique, qui est celui de l'identité d'une discipline scolaire, en l'occurrence la Technologie dans le contexte du collège. Un enjeu pédagogique, plus précisément motivationnel, qui est de donner du sens à l'apprentissage de cette discipline, à sa présence dans les enseignements du collège, à son rôle dans la compréhension du quotidien d'un jeune collégien. On peut y ajouter aussi un volet éducatif : les règles de vie dans un laboratoire de technologie.

La « Technologie au collège » en tant que savoir à enseigner n'apparaît pas explicitement dans les « lignes du programme »

d'enseignement mais est sous-tendue par son commentaire liminaire. C'est par son analyse que nous entamons la définition de cette discipline scolaire.

3.3.2. Quelle est la structure de la connaissance ?

Pour caractériser ce concept, nous avons cherché à définir ses attributs en répondant aux questions suivantes : pour quoi elle existe ? À quoi elle sert ? On apprend quoi ? On apprend comment ? Avec quoi ? On apprend où ?...

Nous avons trouvé des réponses dans le programme en vigueur (2016). On peut notamment lire que :

Pour quoi existe-t-elle ?

« La technologie [au collège] participe à la formation du Citoyen » et « vise l'appropriation par tous les élèves d'une culture faisant d'eux des acteurs éclairés et responsables de l'usage des technologies et des enjeux associés ».

C'est quoi (à l'École) ?

La Technologie (à l'École) est une discipline d'enseignement général, du groupe « Sciences et technologie » (avec les Sciences et Vie de la Terre et les Sciences physiques). Elle s'inscrit dans un continuum qui va de l'école primaire à la classe préparatoire aux grandes écoles en passant par le lycée.

Elle sert à quoi ?

« Les sciences expérimentales et la technologie permettent de mieux comprendre la nature et le monde construit par et pour l'Homme » (programme 2008).

« L'enseignement de technologie a pour finalité de donner à tous les élèves des clés pour comprendre l'environnement technique contemporain et des compétences pour agir. »

C'est fait de quoi (à l'École) ?

Le corpus de connaissances est issu de la Technologie et des Sciences de l'ingénieur. Il s'organise autour de la pratique technologique, la connaissance technologique et la nature de la technologie (son histoire et son devenir, ses spécialités, ses impacts). L'évolution des contenus est nécessairement permanente (Lebeaume, 2014).

On apprend quoi ?

Les savoirs à enseigner « visent à faire découvrir aux élèves les principales notions d'ingénierie des systèmes. Les apprentissages s'organisent autour de trois grandes thématiques :

l'ingénierie-design (le design, l'innovation, la créativité) ;

les objets techniques, les services et les changements induits dans la société ;

la modélisation et la simulation des objets techniques. »

Auxquelles, il convient d'ajouter « l'informatique et la programmation des systèmes programmés et de l'accès aux données ».

Comment on apprend ?

En étudiant une partie du monde créé par l'homme...

« L'enseignement de technologie privilégie l'étude des objets techniques ancrés dans leur réalité sociale. Les objets et services étudiés sont issus de domaines variés, tels que "moyens de transport", "habitat et ouvrages", "confort et domotique", "sports et loisirs", etc. »

En se posant des questions...

Le programme précédent (2008) précisait que « L'étude d'un objet technique au collège se limite à répondre aux questions : À quel besoin l'objet étudié répond-il ? Comment et de quoi est-il constitué ? Comment fonctionne-t-il ? Comment les besoins et solutions technologiques ont-ils évolué au cours du temps ? Comment le conçoit-on ? Comment le

réalise-t-on ? Comment ajuste-t-on ses performances ? et Comment prévoit-on son élimination ? ». En d'autres termes, une étude technologique (ou démarche technologique) questionne la compréhension et l'action sur l'objet technique. *En suivant des démarches...*

Un document d'accompagnement didactique et pédagogique du programme d'enseignement de la Technologie recommande la mise en œuvre de trois démarches d'enseignement :

La démarche d'investigation, pour découvrir et comprendre un objet existant.

La démarche de résolution de problèmes, pour (agir) améliorer un objet perfectible.

La démarche de projet pour décider et agir, c'est-à-dire concevoir et développer un objet qui n'existe pas mais dont on a défini le besoin.

En respectant une organisation...

Pour chacune d'elles, « *une pédagogie collaborative doit être mise en place : quatre ou cinq élèves travaillent en équipe* ». Ils réalisent des activités collaboratives, intégrant des travaux individuels complémentaires à celui des autres membres de l'équipe.

Avec quoi apprend-on ?

« *Cette pédagogie collaborative nécessite d'aménager les salles de classe en îlots, chacun accueillant une équipe d'élèves.* » L'enseignement se déroule dans un « *laboratoire de Technologie* » équipé notamment de systèmes réels (objets technologiques), didactisés ou non, et de petites unités de fabrication et de postes informatiques.

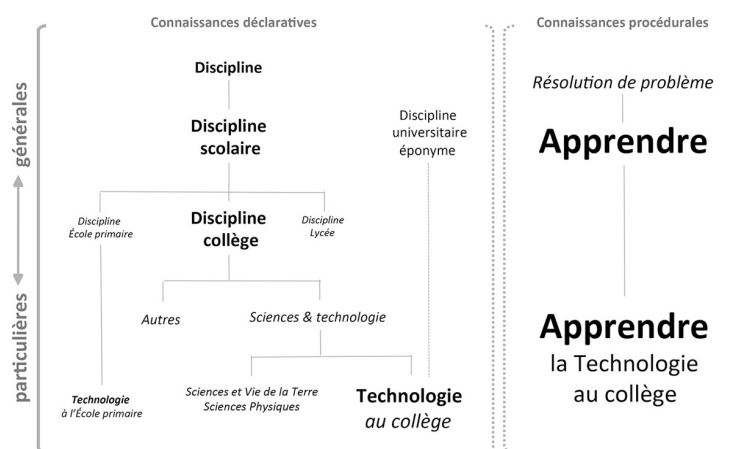
À cette analyse du programme, on peut ajouter que la « Technologie au collège » est une discipline scolaire (encore appelée, branche ou matière d'enseignement) qui est en filiation avec sa

discipline universitaire éponyme « la Technologie » (Baillat, 1997). Selon l'Académie des technologies (2004), c'est « *l'ensemble des connaissances et pratiques mises en œuvre pour offrir à des usagers des produits ou des services* ». Selon Le Moigne (1986), la Technologie peut être définie comme la « science de l'artificiel » par opposition aux « sciences de la nature ». Le Moigne se réfère alors à Herbert Simon (1991) et à Alfred Espinas (*Les Origines de la technologie*, 1897), qui écrivait que « la technique extrait l'homme de la nature et le plonge dans l'artificiel ».

3.3.3. À quelle structure appartient la connaissance ?

En complément de cette analyse didactique de la matière (Astolfi *et al.*, 1985), nous avons mené une spécification psychocognitive de ce même champ notionnel. Le but est d'en établir une représentation qui permette d'esquisser un parcours d'apprentissage.

Figure 62 : Carte des formats de connaissance du champ notionnel « Technologie au collège »



Comme l'illustre la carte des formats de connaissance (cf. figure 62), on distingue des connaissances déclaratives et

procédurales.

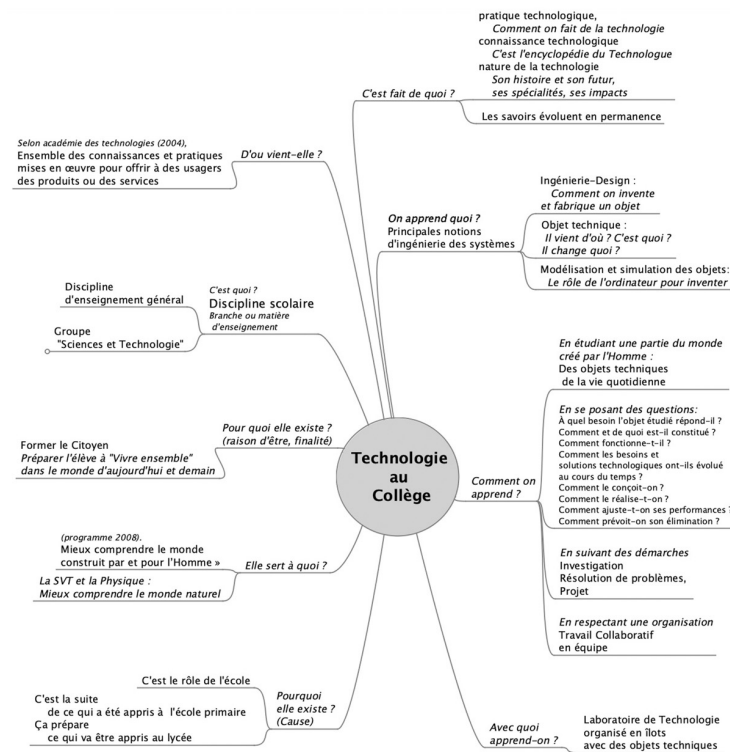
Le volet déclaratif fait apparaître une *structure hiérarchique d'un domaine de connaissances*, celui du concept de « discipline ». En tant que telle, elle contribue à distinguer les savoirs scolaires dispensés en Technologie des autres disciplines.

Le volet procédural, quant à lui, relève de la métacognition. Cette connaissance procédurale s'organise autour d'un groupe d'attributs du concept de « Technologie au collège » et qui, en quelque sorte, définit son « fonctionnement » (c'est-à-dire « comment ça marche ») : « On apprend quoi ? » (le but), « Comment on apprend ? » (les actions) et « Où apprend-on ? » (les moyens). Le discours qui le définit est à l'origine destiné à l'enseignant. Mais en le communiquant à l'élève, il se transforme en moyen d'apprendre.

3.3.4. Caractérisation du savoir scolaire

À partir de cette caractérisation du champ notionnel, nous avons défini le savoir scolaire qui fera l'objet de l'apprentissage. La figure 63 explicite ce savoir sous forme d'une carte de connaissance ; le contenu veille à adapter le niveau de formulation et d'information à un public de jeunes collégiens.

Figure 63 : Représentation du savoir scolaire du concept de « Technologie au Collège »



Nous attirons l'attention sur le fait que la figure 63 est une représentation d'une structure de connaissance (Ainsworth, 2006). Elle constitue une connaissance à part entière ; elle précise le lien entre les composantes du domaine de connaissance (elle forme le squelette du savoir scolaire). Elle fera l'objet d'un enseignement-apprentissage explicite.

3.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

L'objectif pédagogique de cet enseignement est de rendre capable un élève, entrant au collège, de définir la discipline « Technologie au collège » (cf. figure 63), en donnant sens à chacun de ces attributs.

3.4.1. Définir le parcours d'apprentissage

3.4.1.1. Quels buts d'apprentissage ?

Dans cette perspective, nous avons décidé d'articuler le parcours d'apprentissage autour de deux *formats-BUT* d'apprentissage : le concept de « Technologie au collège », particularisation du concept de discipline scolaire, et la démarche d'« apprentissage de la technologie au collège ».

3.4.1.2. Quelles sont les connaissances des élèves ?

Pour élaborer ce parcours (cf. figure 64), nous avons recherché des formats de connaissance pour lesquels les élèves étaient susceptibles de posséder des connaissances ($K_{\text{élève}}$). Ces connaissances sont issues des apprentissages de la « technologie à l'école primaire », des apprentissages non scolaires (représentations sociales et préconceptions) et de la présentation des matières inscrites à l'emploi du temps de l'élève (lors de la journée de rentrée). Cependant, nous sommes conscients que ces connaissances peuvent constituer des obstacles épistémologiques (IGEN 2001 ; LHaridon & Rouen, 2013 ; Déliou, 2014 ; Lebeaume, 2014). Elles seront donc mobilisées pour discriminer le « vrai du faux » dans le processus de conceptualisation.

3.4.1.3. Quels processus d'apprentissage ?

À partir de ces formats de connaissance, nous avons établi un parcours d'apprentissage (parcours 1), qui vise le concept de « Technologie au collège », et qui combine les processus d'apprentissage suivants :

une *particularisation* du concept de « discipline collège » (processus 1a) ;

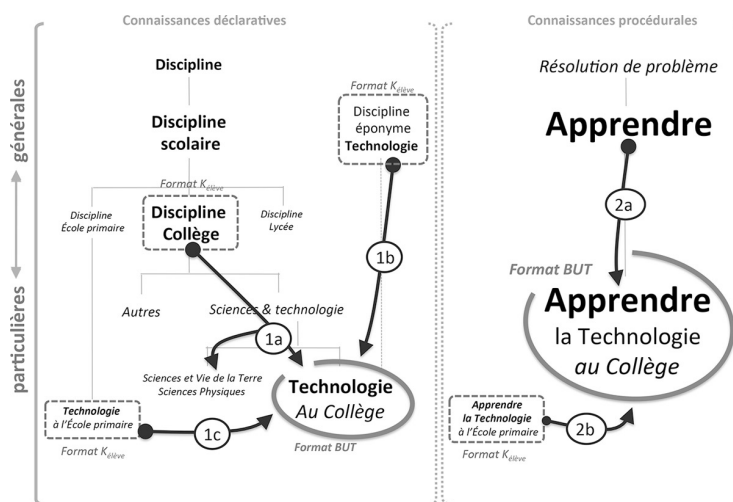
une *particularisation* du concept de « Technologie » (processus 1b) ; ce processus est celui de la *Transposition didactique* (Chevallard, 1985).

un *transfert analogique* (processus 1c) du concept « Technologie à l'école primaire ».

Nous ne savons dans quel ordre ces processus seront mis en œuvre : cela va dépendre de la capacité des élèves à se rappeler de leurs connaissances (ou souvenirs). Si nous les avons indicés, c'est que nous imaginons tout de même une chronologie. Il nous semble plus facile de définir les contours de la discipline (*i.e.* la positionner parmi et par rapport aux autres), avant d'en préciser son contenu (en lisant l'emploi du temps, par exemple). Les représentations sociales concernant la « Technologie » sont plus diffuses et parcellaires, et nécessitent un traitement de leur validité. Les connaissances (ou souvenirs) sur la « Technologie » vues à l'école primaire sont souvent mêlées avec celles des sciences.

Le parcours esquissé ici n'est qu'un « possible ».

Figure 64 : Parcours d'apprentissage du champ notionnel « Technologie au Collège »



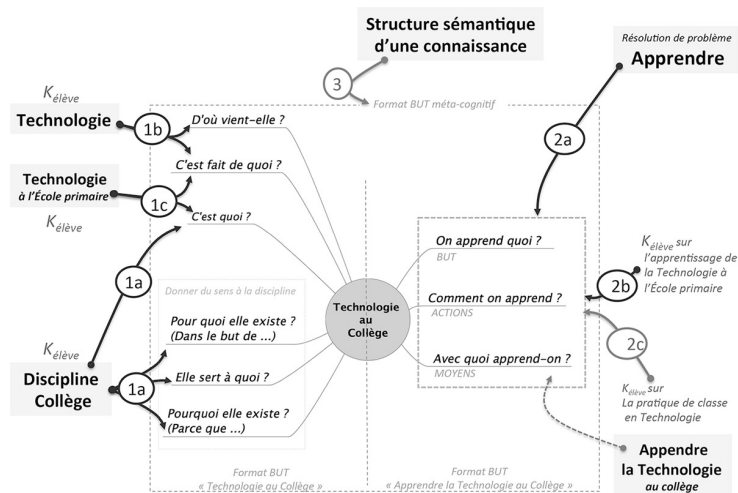
La seconde partie du parcours d'apprentissage, qui vise la démarche d'« apprentissage de la Technologie au collège », mobilise deux processus d'apprentissage :

une *particularisation* de métaconnaissances procédurales à propos de la « Résolution du problème d'Apprendre » (processus 2a) ;

un *transfert analogique* de la démarche d'« apprentissage de la Technologie à l'École primaire » (processus 2b). C'est notamment le cas pour la démarche d'investigation (appelée la « main à la pâte » à l'École primaire) et la démarche de projet (dans le cadre d'action pédagogique « École-Collège » au cycle 3).

Cependant, le schéma esquissé sur la carte des formats manque de précision. Il nous semble nécessaire d'affiner davantage le parcours d'apprentissage en indiquant comment s'effectue l'apprentissage de chacune des composantes définitoires de la « Technologie au Collège ». Autrement dit, on change de carte topographique (parce qu'on change l'échelle) mais on ne change pas de « pays du savoir ». Comme l'illustre la figure 65, nous allons nous appuyer sur la structure sémantique du savoir scolaire.

**Figure 65 : Parcours d'apprentissage détaillé
du concept de « Technologie au Collège »**



Comme le montre la figure 65, sur cette nouvelle carte :

on retrouve les deux *formats-BUT* (déclaratif et procédural) et les processus associés (respectivement 1a-1b-1c et 2a-2b). Comme nous l'avons déjà écrit, la structure sémantique constitue une connaissance à part entière et représente dès lors un BUT d'apprentissage (plus précisément un *format-BUT* métacognitif) ;

on distingue deux autres processus :

le processus 2c. C'est un processus de *prise de conscience procédurale*. Ce processus s'applique sur ce que viennent de vivre les élèves au cours de la séance pédagogique : ce qu'ils ont fait, comment ils l'ont fait, avec qui et avec quoi. En d'autres termes, il s'agit de faire prendre conscience aux élèves que la façon dont se déroule la séance pédagogique est la façon d'apprendre la Technologie au Collège. Ce processus est une alternative au processus 2a, qui lui s'appuie sur les connaissances (ou souvenirs) de l'École primaire : il s'agit d'anticiper son éventuelle défaillance. La conséquence de ce choix est double. Cela nécessite (a) la construction du vécu (b) selon les modalités

d'apprentissage de la discipline (par exemple, la démarche d'investigation). Ce qui implique que les *tâches d'apprentissage* épousent ces modalités.

le processus 3. C'est un processus de *particularisation* d'une connaissance métacognitive : de quoi est fait un savoir ? quelles questions on se pose pour tout connaître de savoir ? Le *format-BUT* est donc la structure sémantique de la connaissance visée.

3.5. Du parcours d'apprentissage au parcours d'enseignement

3.5.1. Quel but d'enseignement ?

Nous avons décidé de transformer le parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement en dévoluant à l'enseignant chacun des processus d'apprentissage. En effet, l'*écart cognitif* nous semble « hors de portée » d'un élève entrant au collège, notamment en raison de la *validité des connaissances* des élèves, leur *richesse*, l'originalité de l'apprentissage (comprendre une discipline) et la *nature métacognitive* des connaissances à convoquer.

Pour cela, nous avons opté pour un scénario du type « des parties vers le TOUT » : faire apprendre successivement chacune des composantes du concept. Sachant que lorsque les conditions s'y prêtent (notamment la présence de connaissance-élève et que cela soit au service d'une économie cognitive), nous veillerons à « *prendre toujours soin de partir du concret et des représentations de l'élève [...] pour progresser vers plus de généralisation et d'abstraction* », comme le suggère le programme d'enseignement et comme le sous-tend la démarche d'investigation.

Aussi, cela nous conduit à définir deux types de buts d'enseignement :

Faire comprendre ce qu'est la discipline :

Ce qui revient à *Faire comprendre* le *format-BUT* déclaratif de « Technologie au Collège » du champ notionnel (figure 64). Cela concerne la « structure sémantique » elle-même (en tant que représentation d'une structure de connaissances) et ses composantes « D'où vient-elle ? », « C'est quoi ? », « Pour quoi existe-t-elle ? (dans le but de...) », « À quoi sert-elle ? », « Pourquoi elle existe ? (parce que...) » et « C'est fait de quoi ? » (figure 65).

Faire comprendre comment on apprend dans cette discipline :

Ce BUT procédural ne limite à la phase cognitive (connaître et comprendre) du format procédural « Apprendre en Technologie au Collège » du champ notionnel (figure 64). Il porte sur les composantes « On apprend quoi ? », « Avec quoi apprend-on ? », « Comment on apprend ? » (cf. figure 65).

3.5.2. Quel dispositif de motivation ?

La conception du dispositif de motivation vise à engager l'élève dans la situation d'apprentissage, à lui faire accepter de fournir l'effort nécessaire (la quantité de travail) et à persévérer autant que nécessaire.

Pour la phase d'engagement, nous avons choisi d'établir une situation problème (De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 2002). Nous pensons que « définir ce qu'est la Technologie au Collège » relève d'un défi (comparable à une énigme) pour un élève qui entre au Collège. Il s'agit de le questionner sur son rapport au savoir et de lui faire prendre conscience de ce qu'il lui reste à apprendre (but de progrès).

Pour la phase de mesure de l'effort à fournir, nous souhaitons utiliser la représentation de la structure sémantique du concept en le

présentant comme un menu (« de ce qu'il faut avaler »). Elle fera office de planning : elle découpe la tâche en sous-tâches. Pour cela, on présentera la carte heuristique du concept, sur laquelle chaque branche portera uniquement l'intitulé d'une composante, telle que l'illustre la figure 65.

En ce qui concerne la persévérance, nous savons que le défi intellectuel peut être démotivant pour certains élèves (Scott *et al.*, 1991). Aussi, nous veillerons à proposer des tâches de co-élaboration et à établir des *feed-back* (Shute, 2008 ; Paas *et al.*, 2003) lors de la conduite de l'enseignement. Ce choix n'est pas non plus sans perspective : le défi cognitif et ce type de tâche d'apprentissage sont les marqueurs de la démarche d'investigation telle qu'elle est pratiquée en Technologie au Collège.

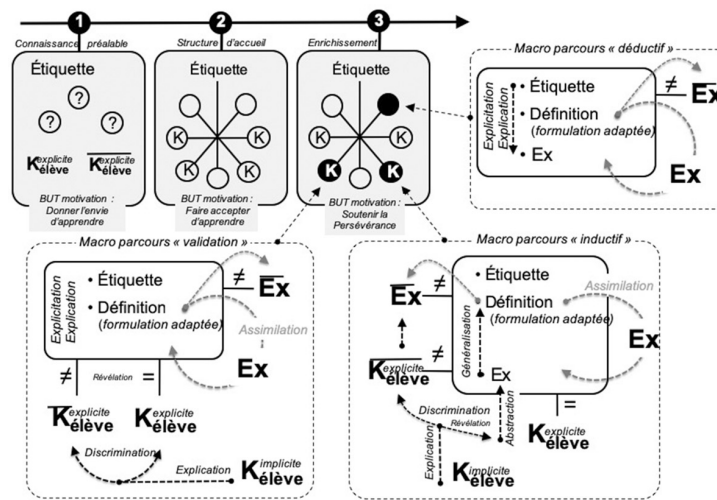
3.5.3. Vers une description du scénario d'enseignement-apprentissage

Pour atteindre ces buts d'enseignement, nous avons élaboré un scénario d'enseignement-apprentissage explicité par la figure 66, qui se décline en trois tronçons, mobilisant des processus d'enseignement et de motivation.

Le tronçon 1 a pour BUT premier d'*Engager* l'élève dans l'apprentissage du concept de « Technologie au Collège ». Le processus de motivation, en visant un but de maîtrise, s'appuiera sur l'utilité d'« apprendre une chose que l'élève ne sais pas définir » ou de « valider une connaissance que l'élève croit vraie ». Le second BUT est de *Faire appréhender* cette nouvelle catégorie de connaissances au travers d'éléments non structurés : son étiquette, des connaissances d'élèves (préconception, représentation sociale, croyances) valides ($K_{élève}$) ou non ($\neg K_{élève}$) et de questionnement de l'élève à propos de cette discipline scolaire. Ce questionnement correspond aux

« composantes sémantiques » du champ notionnel (représenté par des cercles avec un point d'interrogation sur la figure 66). En d'autres termes, ce temps d'enseignement-apprentissage cherche à faire en sorte que l'élève s'interroge, doute, suppose. Ce temps d'enseignement-apprentissage est au service du besoin d'apprendre.

Figure 66 : Scénario d'enseignement du concept de « Technologie au Collège »



Le tronçon 2 a pour BUT de *Faire accepter l'apprentissage* en la « structure sémantique » de cette nouvelle catégorie de connaissances (suggérée par la structure en étoile sur la figure 66). Il s'agit clairement d'enseigner la structure du domaine de connaissance afin de mettre en place un premier niveau d'informations, qui servira de « structure d'accueil » aux connaissances suivantes. Dans les faits, cela consiste à expliciter et expliquer la carte heuristique présentée en figure 65. Mais cette carte présente aussi les questions auxquelles la séance d'enseignement va apporter des réponses : autrement dit, de présenter la *tâche d'apprentissage* à venir. Nous avons choisi une *tâche d'étude en co-élaboration* représentative des activités coopératives

voulues en Technologie au collège. Ce temps d'enseignement-apprentissage est au service de l'acceptation d'apprendre : l'élève doit comprendre que la suite de la leçon va consister à lever les interrogations, les doutes et les suppositions préalablement posés.

Le tronçon 3 a pour BUT de *soutenir l'enrichissement* de la connaissance, en adaptant la « prise à son compte » du processus d'apprentissage aux connaissances des élèves. Nous avons identifié trois types de composantes. Nous avons élaboré un macro-parcours d'enseignement spécifique à chacune d'elles :

le **macro-parcours « déductif »**. Il vise à enseigner une « composante sémantique » pour laquelle nous postulons que l'élève n'a aucune connaissance préalable (elle est représentée par un cercle vide sur la figure 66). C'est le cas pour les composantes « C'est fait de quoi ? », « Pour quoi elle existe ? (Dans le but) », « À quoi sert-elle ? » et « Pourquoi existe-t-elle ? (Parce que) ».

Ce macro-parcours s'appuie sur un processus d'enseignement Explicitation-Explication de l'étiquette et de la définition de la composante, via un éventuel exemple (Ex.). Son Assimilation sera dévolue à l'élève sous la forme de production d'un exemple (Ex.). La validité de ce dernier sera discriminée en co-élaboration (Ex. = valide et Ex = non valide), avec l'enseignant comme juge de paix.

le **macro-parcours « validation »**. Il vise à enseigner une « composante sémantique » pour laquelle nous pensons que l'élève possède une connaissance préalable (elle est représentée par un cercle entourant une lettre K sur la figure 66). C'est notamment le cas pour les composantes « D'où vient-elle ? » et « C'est quoi ? ».

Ce macro-parcours est une variante du précédent. Le principe est de confronter la connaissance de l'élève ($K_{\text{élève}}$) à un savoir de référence,

pour en discriminer sa validité. Par exemple, les élèves confronteront leur définition personnelle de la Technologie à celle du dictionnaire et celle de l'Académie des Technologies.

Il articule, d'une part, un processus d'enseignement *Explicitation-Explication* de l'étiquette et de la définition de la composante et, d'autre part, un processus de *Discrimination* de la connaissance de l'élève (= ou $\neq$ sur la figure 64). Il est possible de s'appuyer sur un processus de *révélation*. La connaissance de l'élève sera préalablement *explicitée*. Le processus d'*Assimilation* est identique au macro-parcours précédent.

le **macro-parcours « inductif »**. Il vise à enseigner une « composante sémantique » pour laquelle nous pensons que l'élève possède une connaissance particulière préalable (elle est représentée par un cercle entourant une lettre K sur la figure 66). C'est notamment le cas pour les composantes « On apprend quoi ? », « Avec quoi apprend-on ? » et « Comment on apprend ? ».

Ce macro-parcours repose sur le principe de faire *induire* la définition (ou une partie) de la connaissance de l'élève ($K_{\text{élève}}$). Par exemple, faire induire la « démarche d'investigation » des souvenirs de la pratique de l'élève à l'école primaire ou de ce qu'il fait quand il est en technologie, depuis sa rentrée au collège.

Il mobilise tout d'abord un processus d'*Explicitation* de la connaissance de l'élève, sous-tendu par une *prise de conscience*. Il est adossé à un processus de *Discrimination* de la connaissance de l'élève (= ou $\neq$ sur la figure 66). Ensuite, un processus d'*abstraction* permettra de mettre en exergue un exemple générique (Ex.), à partir un processus de généralisation mènera à l'explicitation de la définition de la composante. Le processus d'*Assimilation* est identique aux macro-parcours précédents. On pourra lui adosser un processus

de *révélation* (via un effet Jourdain) : par exemple, un stick de colle ou une paire de chaussures de running sont des objets technologiques.

Ces macro-processus génériques permettent de définir un parcours d'enseignement à la carte », au sein de ce tronçon 3, adaptable aux circonstances créées par le comportement cognitif des élèves. Cependant, nous nous garderons de « traiter » en premier lieu les composantes liées à la démarche pour « Apprendre en Technologie au Collège ». Ceci afin de laisser le temps à l'élève de « vivre » une situation d'apprentissage en « Technologie au Collège ».

Nous voulons aussi être attentifs à ce que ce troisième temps d'enseignement-apprentissage soutienne la motivation de l'élève et notamment celle à persévérer dans l'apprentissage. Nous envisageons pour cela de mettre en place des *feed-back* motivationnels (individuels et collectifs) lors de la conduite de cet enseignement. Mais, nous avons aussi choisi de mettre en place des temps d'utilisation de la connaissance, au travers de tâche de production, où l'enjeu sera la *motivation émotionnelle* (prendre du plaisir). Par exemple, chercher des images numériques d'objet technologiques d'hier, d'aujourd'hui et de demain afin (a) d'illustrer le concept d'objet technologique et (b) de décorer la page de garde du classeur de technologie et ainsi de la personnalisée.

3.5.4. Quelles tâches d'apprentissage ?

Ce parcours d'enseignement-apprentissage sera servi par des tâches d'apprentissage que nous voulons représentatives et cognitivement engageantes :

représentatives d'un enseignement de Technologie au Collège, c'est dire cette alternance de tâche de résolution de problème en co-élaboration et de tâches d'écoutes de cours ;

cognitivement engageantes au niveau *interactif* (modèle ICAP).

Ces deux critères nous conduisent à proposer à la classe (tous les élèves) d'élaborer la carte heuristique du champ notionnel (formalisation de la structure sémantique du champ notionnel). Pour cela, la classe serait divisée en groupes (répartis en îlot) et chacun d'eux devrait contribuer à la définition des nœuds de la carte heuristique via un travail d'équipe.

Les situations d'apprentissage (découverte ou transfert) seront prises dans l'environnement immédiat de l'élève (par exemple, le contenu de sa trousse), puis celui de la salle de classe pour s'étendre à la maison, puis le village... (Ndlr : dans mon petit village, il y a actuellement un véhicule autonome qui circule sur un trajet de 200 mètres).

3.6. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

Afin de conduire de mettre en œuvre cet enseignement, nous avons décidé d'utiliser le Tableau Blanc Interactif qui équipe le laboratoire de Technologie. On y affichera les cartes sémantiques établies par chacun des groupes. Elles seront respectivement enrichies par les élèves, après validation collective permettront élaborer celle de la classe (avec l'enseignant en juge de paix).

La représentation collective de la connaissance (proche de celle présentée par la figure 63) prendra place dans le classeur de l'élève, juste après la page de garde.

3.7. À propos de cet exemple

Au travers de cette étude de cas, nous avons voulu illustrer la dynamique de conception d'un dispositif d'enseignement-apprentissage :

celle qui mène de la commande institutionnelle au champ notionnel (cartes des formats de connaissance – figure 62) puis de ce dernier au savoir scolaire (figure 63) ;

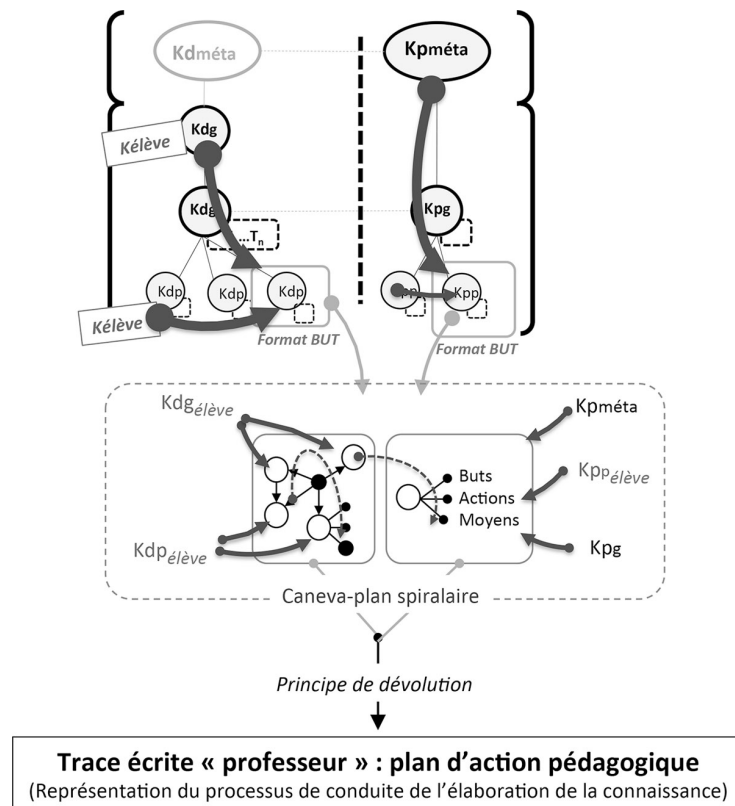
celle qui permet d'élaborer un parcours d'apprentissage en s'appuyant respectivement sur la carte des formats de connaissance du champ notionnel (figure 64) et celle de sa structure sémantique (figure 65) ;

celle qui transforme le parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement « à la carte » (figure 66), s'appuyant sur des macro-parcours génériques.

Nous avons aussi voulu montrer comment cette dynamique interroge et se nourrit des dimensions motivation et métacognition nécessaires à la conception d'une situation d'enseignement-apprentissage.

Cet exemple permet particulièrement de dévoiler comment le travail de cartographie du champ notionnel, en soutenant le travail de définition de son parcours d'investigation, conduit à l'élaboration d'une trace écrite « professeur » pertinente (c'est-à-dire une représentation explicite du processus de conduite de l'élaboration de la connaissance visée). Comme le dessine la figure 67, la trace écrite « professeur » est issue de ce travail de planification.

Figure 67 : Représentation schématique du travail d'élaboration du plan d'action pédagogique



Ce travail s'appuie principalement sur l'explicitation du champ notionnel sous la forme d'une carte de connaissance. La carte des formats de connaissance, quant à elle, a permis de catégoriser les composantes dans les domaines déclaratif (*Kdg* et *Kdp*) et procédural (*Kpg* et *Kpp*) et de prendre conscience de la nécessité de faire appel à des connaissances métacognitives (*K-méta*) pour caractériser les connaissances visées. Elle a permis aussi, grâce à l'identification des connaissances des élèves (*Kélèves*), de choisir une approche de type top-down pour esquisser le parcours d'apprentissage, mais aussi de constater que la « bonne » échelle pour planifier était celle d'une carte de connaissance (carte de réseau sémantique), qui intégrait les *formats-BUT* déclaratifs et procéduraux. Le nombre de composantes

caractérisant la connaissance visée (ainsi que la nature des relations qu'elles entretiennent), nous a conduit à nous appuyer sur un canevas-plan, de type spiralaire, pour définir le parcours d'apprentissage. Le plan d'action pédagogique a été esquissé en appliquant le principe de dévolution, qui questionne la capacité du public « élève » à suivre ce parcours d'apprentissage (c'est-à-dire comment nous soutenons chacun des processus d'apprentissage : quelle partie des processus d'apprentissage laisse-t-on à l'élève et quelle partie l'enseignant prend à son compte).

4. ENSEIGNER L'ÉCOUTE D'UNE ŒUVRE MUSICALE, AU COLLÈGE

4.1. Apport de cet exemple

Cet exemple propose d'illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'une compétence scolaire, mobilisant une perception sensorielle. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le champ notionnel et le savoir scolaire.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage centré sur la motivation des élèves.

Comment transformer un parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement-apprentissage.

4.2. Contexte et objectif de l'enseignement

L'enseignement a pour but l'apprentissage de l'« Écoute d'une œuvre musicale ». Il s'adresse à un public de collégiens (cycle 4).

L'objectif pédagogique (une compétence) est de rendre capable d'« Analyser des œuvres musicales en utilisant un vocabulaire précis ». Par exemple, il s'agit de dire que « Les quatre saisons, de Vivaldi » est une suite de brefs concertos pour violon, et que le tempo du premier mouvement de « l'Automne » est joué *allegro*, et le second *adagio*.

4.3. Définir le contenu à enseigner

4.3.1. De la commande au champ notionnel

Pour caractériser le contenu à enseigner, nous avons d'abord interrogé la tâche d'« Écoute d'une œuvre musicale » selon trois points de vue : celui du professionnel, du didacticien et du psychocogniticien. Nous cherchons particulièrement à savoir si certaines connaissances à acquérir relèvent du procédural, comme semble le suggérer la compétence visée.

Pour le professionnel, le terme d'« Écoute une œuvre musicale » renvoie à l'objectivation de l'art. Il s'agit de dépasser l'« Écoute globale », pour le plaisir, pour le bien-être. Comme l'écrit Jean-Marie Schaeffer (1996), il s'agit de répondre à une question clé : « Comment l'art fonctionne-t-il ? » Cette écoute musicale se veut analytique : on peut la considérer comme une activité de traitement de l'information sonore (Eduscol). Elle propose de comprendre un monde sonore particulier, celui d'une œuvre musicale. Cette utilité (comprendre un aspect du monde) nous renvoie donc à une connaissance déclarative.

D'un point de vue de la didactique de la discipline (M.E.N., 2016), « Écouter », c'est d'abord savoir focaliser son attention sur une source d'informations et s'y concentrer. Si les « sensations » et les « émotions » font partie intégrante du processus visé, elles ne

constituent qu'un moyen au service d'une fin : la conversion du regard des élèves sur la musique pour qu'ils parviennent à une « compréhension » de la musique. Celle-ci, passant par l'élaboration de connaissances concernant le « langage », le « contexte », l'« histoire de la musique et des autres arts », ou encore des capacités à « analyser » et à « commenter », fait directement écho à la « disposition esthétique » décrite par P. Bourdieu (Eloy, 2013).

C'est ensuite savoir discriminer les sources, les identifier, les qualifier, les décrire.

Ainsi, plus spécifiquement, « Écouter une œuvre musicale » relève d'un processus d'analyse qui examine les caractéristiques d'une œuvre musicale afin d'en établir son identité musicale. Elle consiste notamment à spécifier ses composantes à l'aide du vocabulaire issu du lexique du langage musical. Par exemple, écouter (un extrait d') une œuvre musicale, c'est préciser la nature des instruments, les variations de tempo (vitesse de la musique : lente, rapide, modérée) ou encore la diversité des hauteurs (grave et aigu).

D'un point de vue cognitif, il s'agit là d'une tâche de reconnaissance des composantes (attributs) d'un concept : celui d'« œuvre musicale ». C'est-à-dire une tâche qui mobilise des connaissances déclaratives pour comprendre une situation du monde (en l'occurrence celle d'un monde sonore) et non pour agir sur le monde.

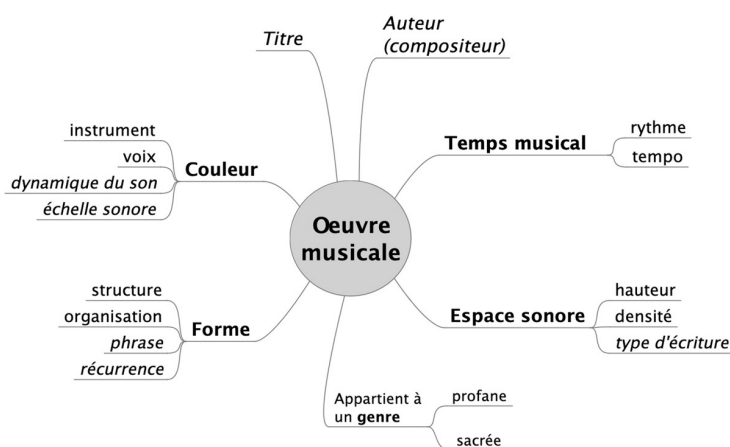
Ce regard croisé sur la tâche nous invite à centrer la caractérisation du champ notionnel autour du concept d'« œuvre musicale ».

4.3.2. Quelle est la structure de la connaissance ?

Comme l'illustre la figure 68, outre les attributs « titre » et « auteur », ce concept peut se caractériser par quatre

attributs principaux (appelés aussi composantes musicales de référence) que sont le temps musical (via le rythme et le tempo), la couleur ou le timbre (via les instruments, la voix, la dynamique du son et l'échelle musicale), la forme (via la structure, l'organisation, une phrase ou des récurrences) et l'espace sonore (via la hauteur, la densité et/ou encore le type d'écriture).

Figure 68 : Carte sémantique du concept d'« œuvre musicale »



Une œuvre musicale peut se décliner en fonction de son genre (qui peut être vocal ou instrumental). On distingue les œuvres musicales dites « profanes » (comme la chanson populaire, la symphonie, le concerto ou l'opéra) de celles dites « sacrées » (comme le requiem ou le chant grégorien).

4.3.3. Quelle est l'utilité de cette connaissance ?

L'utilité de cette connaissance est de (contribuer à) comprendre une organisation musicale complexe, c'est-à-dire « l'identifier, la décrire, la commenter et la situer dans un réseau de références musicales et artistiques diversifiées » (M.E.N., 2016).

Outre sa vocation à « comprendre » la musique (*i.e.* une œuvre musicale), ce savoir déclaratif sera aussi utilisé pour « dire » et « construire » la musique : « l'éducation musicale s'organise autour de deux grands champs de compétences qui structurent l'ensemble du parcours de formation : la perception et la production » (M.E.N., 2016).

On peut qualifier cette connaissance comme une connaissance spécifique d'un Domaine ($CsD = (\text{Format } K ; \text{Tâches } T_n)$), et la décrire de la manière suivante :

$CsD_{\text{musique}} = (\text{Concept d'œuvre musicale ; Spécifier une œuvre musicale + interpréter une œuvre musicale + Élaborer une œuvre musicale}).$

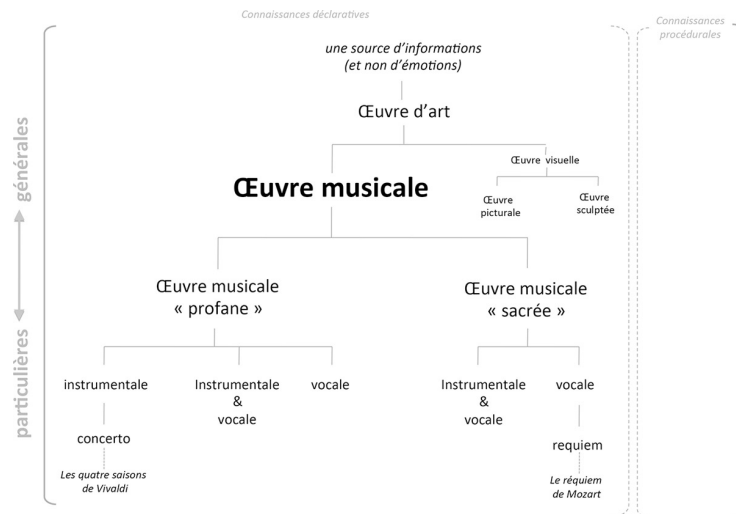
4.3.4. À quelle structure de connaissance appartient le savoir à enseigner ?

Après avoir esquissé la structure conceptuelle d'une œuvre musicale, nous cherchons à identifier le domaine de connaissances dans lequel peut s'inscrire cette connaissance déclarative.

Une œuvre musicale est une œuvre d'art (*i.e.* une production humaine) composée de sons et de rythmes. Dans notre contexte didactique, ce terme est appréhendé comme une source d'informations (*i.e.* composé d'éléments identifiables) et non comme une source d'émotions. Elle se distingue, par son mode de perception auditif, des œuvres d'art visuelles comme l'œuvre picturale ou sculptée.

Ce complément d'information nous permet d'esquisser une structure hiérarchique du champ notionnel relatif à l'« œuvre musicale », représentée par la carte des formats suivante (figure 69).

Figure 69 : Carte des formats du champ notionnel « œuvre musicale »



4.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

L'objectif pédagogique de cet enseignement est de rendre capable l'élève de décrire (*i.e.* spécifier à l'écrit) une œuvre musicale écoutée.

Le travail de planification consiste à discuter de la façon d'atteindre le niveau de performance attendu. Autrement dit, préciser ce que faut-il apprendre (le but d'apprentissage) et comment l'apprendre (processus et tâche d'apprentissage) avant de s'entraîner à l'utiliser de façon performante. Il nécessite aussi de préciser le niveau de soutien de l'enseignant à cet apprentissage (processus et tâche d'enseignement).

4.4.1. Définir le parcours d'apprentissage

4.4.1.1. Quels buts d'apprentissage ?

Il s'agit ici d'une compétence scolaire, caractérisée par la maîtrise d'une tâche qui mobilise des connaissances à propos du concept d'« œuvre musicale ». Pour faire atteindre ce but, nous avons distingué, en premier lieu, (a) l'acquisition de la connaissance et (b) sa mise en œuvre dans une situation, c'est-à-dire la tâche d'utilisation. Ces deux composantes, la connaissance K et la Tâche T, renvoient ici à deux buts d'apprentissage scolaires :

- (a) élaborer le concept d'œuvre musicale ;
- (b) utiliser ce concept pour caractériser une instance d'œuvre musicale (en tant que source sonore d'informations).

En second lieu, nous avons noté que le concept d'œuvre musicale est une connaissance *précurseur* (Bastien, 1997) à la tâche d'écoute analytique d'une œuvre musicale.

4.4.1.2. Quels processus d'apprentissage ?

Nous souhaitons élaborer un parcours d'apprentissage en cohérence avec les recommandations didactiques institutionnelles. Elles précisent que « Par un travail de la perception, celui de l'écoute de la musique, les élèves développent leurs capacités à percevoir des caractéristiques plus fines et des organisations plus complexes de la musique ; ils apprennent à identifier des relations, des ressemblances et des différences entre plusieurs œuvres ; ils acquièrent des repères structurant leur culture artistique et apprennent à s'y référer » (M.E.N., 2015).

Selon nous, ce texte indique que :

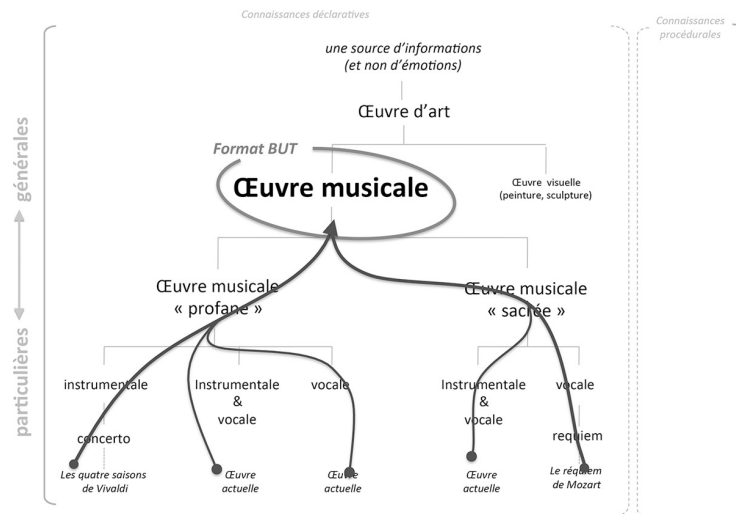
L'élaboration du concept se fait de manière progressive, c'est-à-dire par enrichissement.

La tâche d'apprentissage est une tâche d'écoute d'instance, c'est-à-dire une tâche d'étude de cas.

L'étude de cas consiste à étudier une situation réelle, généralement complexe et a comme strict objectif de comprendre une situation (et non pas d'agir sur elle pour la transformer). La tâche d'écoute d'une œuvre musicale est une tâche de reconnaissance de caractéristiques du concept dans une situation singulière. Elle permet de mettre en œuvre la connaissance déclarative. Elle constitue une forme procédurale nécessaire à rendre la connaissance déclarative utilisable (à la rendre dynamique, sinon, elle est statique).

Nous souhaitons que cette tâche d'étude de cas (*i.e.* la tâche d'apprentissage) soit à la fois un moyen de découverte de la connaissance et un moyen d'assimilation. L'enjeu est d'inscrire l'apprentissage dans une dynamique emblématique énoncée, dans les programmes de 1977 comme de ceux de 1985, par la formule : « *sentir d'abord, comprendre ensuite, apprendre enfin* ». Autrement dit, cette tâche d'étude de cas est avant tout un moyen de découvrir un attribut du concept et concourt aussi à l'enrichissement progressif de ce dernier.

Figure 70 : Parcours d'apprentissage, de type bottom-up, du concept d'œuvre musicale



Dans cette perspective, nous décidons d'inscrire notre parcours d'apprentissage dans une approche de type *bottom-up*, qui mobilise un processus de *conceptualisation par généralisation* (cf. figure 70). Un processus d'*abstraction* d'une connaissance particulière, soutenu par la tâche d'étude de cas, servira de point d'appui à ce processus de *généralisation*. Autrement dit, l'écoute d'une œuvre musicale doit permettre d'identifier, via une instance, un attribut du concept.

Comme le précisent les recommandations institutionnelles, les études de cas seront prises dans des œuvres dites « savantes », « populaires » et « non occidentales » contemporaines, anciennes, modernes. Chaque étude de cas contribuera à l'enrichissement progressif des attributs du concept, via un processus de *conceptualisation par généralisation*.

Même si ces premiers choix concourent, selon nous, à rendre l'apprentissage cognitivement acceptable, c'est-à-dire permettant à l'élève de s'emparer peu à peu des composantes du concept et des

spécificités du langage musical, il nous faut maintenant discuter de cette acceptabilité chez les élèves.

4.4.1.3. Acceptabilité du savoir et de la tâche d'apprentissage (tâche d'écoute)

Nous réfléchissons ici au volet motivation de notre parcours d'apprentissage, c'est-à-dire comment faire accepter à l'élève (a) d'acquérir le savoir et (b) de réaliser la tâche d'apprentissage. On étudie donc les paramètres de l'acceptabilité que sont l'utilité et la faisabilité.

Utilité du savoir

Selon l'institution, ce savoir scolaire vise à enrichir *les repères structurant de la culture artistique* (M.E.N., 2015). Il contribue aussi à donner du sens aux émotions provoquées par la musique (*par exemple, comprendre que le sentiment de tristesse est généré par telle sonorité instrumentale*).

Comme nous l'avons déjà précisé, outre sa vocation à « comprendre » la musique (*i.e.* une œuvre musicale), ce savoir déclaratif sera aussi utilisé pour « dire » et « construire » la musique. *C'est-à-dire, pour un élève, comprendre et décrire l'œuvre musicale de son artiste préféré, pour pouvoir peut-être par la suite créer sa musique par imitation.*

Faisabilité de l'apprentissage

Selon nous, cet apprentissage s'avère tout à fait adapté au public visé. En effet, il consiste à structurer des connaissances factuelles. Certaines de ces connaissances ont fait l'objet d'un apprentissage scolaire antérieur (cf. Programme scolaire cycle 3).

La structure de connaissance (notamment esquissée par la figure 68) de par sa largeur (nombre de classe d'attributs) et sa profondeur (nombre d'attributs par classe) reste cognitivement acceptable.

Le vocabulaire utilisé pour dénommer ces attributs relève d'un registre sémantique adapté au public visé.

Utilité de la tâche d'apprentissage

Il s'agit d'une tâche d'étude de cas, qui consiste à rechercher par l'écoute des informations contenues dans une source sonore. Cette tâche d'apprentissage est donc la même que la tâche d'utilisation de la connaissance.

Faisabilité de la tâche

Selon nous, elle ne tombe pas sous le sens, et ceci pour plusieurs raisons. Les premières difficultés sont dues à la tâche elle-même. Les travaux en psychologie cognitive sur cette tâche d'écoute montrent que :

Elle consomme des ressources en mémoire de travail pour stocker l'information sonore.

Elle se distingue de la tâche d'écoute libre que réalise quotidiennement un élève. En effet, elle impose un but de recherche, celui d'identifier les caractéristiques d'un concept (connues ou pas). Elle contraint une connaissance quasi automatisée et devient, par là, plus coûteuse cognitivement.

Elle impose une chronologie de traitement de l'information... ce qui la rend peu contrôlable et nuit à la motivation.

Une autre difficulté est liée au rôle cognitif de la tâche.

En effet, nous avons décidé d'utiliser cette tâche pour supporter un processus d'abstraction en vue d'élaborer la connaissance. Mais cette tâche sera aussi celle utilisée pour supporter le processus d'assimilation de cette connaissance. Autrement dit, la tâche d'utilisation de la connaissance se confond avec la tâche d'apprentissage.

Cette double tâche doit nous alerter sur les difficultés pour l'élève à hiérarchiser les enjeux : acquérir le concept et (puis) apprendre à « bien » utiliser le concept (« bien » signifiant pour nous : avec justesse, précision, rapidité et pertinence).

Aussi, la fonction cognitive de cette tâche d'étude doit être claire : abstraire ou assimiler.

Enfin, une dernière difficulté réside dans la compréhension de la tâche, c'est-à-dire saisir le but et le moyen pour la réaliser, surtout quand celle-ci est nouvelle.

Afin d'améliorer la faisabilité de cette tâche d'écoute, nous avons décidé de nous appuyer sur des compétences analogues et déjà acquises par les élèves. Nous avons retenu la tâche de reconnaissance d'éléments caractéristiques dans un tableau réalisé par un artiste-peintre (une œuvre picturale). Cette tâche nous semble « plus faisable » et surtout permet de donner du sens (faire comprendre) à la tâche d'écoute par un transfert analogique.

Ces deux tâches analogues sont des tâches particulières de la tâche générale « reconnaître des éléments particuliers dans une source d'informations ». Cette tâche plus générale relève d'une compétence acquise par les élèves, et ceci certainement de façon bien implicite à l'école et en dehors de l'école.

Cette réflexion sur la faisabilité de la tâche d'apprentissage nous conduit à modifier le parcours d'apprentissage précédemment esquissé.

En effet, on peut remarquer que ces tâches de reconnaissance ont des buts analogues, comme trouver le titre de l'œuvre, le genre ou encore sa structure ou les éléments contenus. Ces buts constituent des attributs du concept d'œuvre. En conséquence de quoi, nous

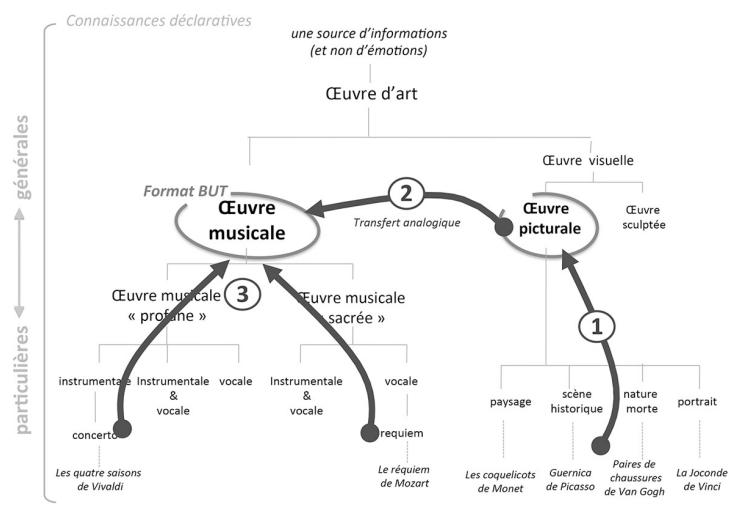
décidons de modifier le champ notionnel et le parcours d'apprentissage, précédemment esquissé.

Comme l'illustre la figure 71, ce nouveau parcours d'apprentissage s'organise autour de ce transfert analogique :

Élaborer une connaissance du concept d'œuvre picturale (*Format-BUT* intermédiaire) par *abstraction-généralisation* (trajet 1).

Élaborer le concept d'œuvre musicale par *transfert analogique* (trajet 2) et par *abstraction-généralisation* (trajet 3).

Figure 71 : Parcours d'apprentissage du concept d'œuvre musicale



4.4.1.4. Faisabilité de la tâche d'apprentissage (processus de transfert analogique)

Le processus de transfert analogique (trajet 2) va permettre de mettre en place un premier niveau de connaissances à propos du concept d'œuvre musicale (rendant le savoir scolaire plus accessible). Fonctionnellement, il va servir de structure cognitive d'« accueil » pour les connaissances élaborées par le trajet 3. Ce transfert

analogique entre « œuvre picturale » et « œuvre musicale » trouve aussi son sens (didactique) dans le fait que les deux disciplines concourent à l'éducation artistique (M.E.N., 2015). Même si on a souvent admis la peinture comme un art de l'espace et la musique comme un art du temps, donnant ainsi aux deux disciplines respectives et aux notions d'espace et de temps un caractère antinomique (Hudry, 2014).

Se pose donc la question de la profondeur de cette structure cognitive atteignable par le transfert analogique. Afin de la déterminer, nous avons mené une étude comparative de ces deux concepts particuliers d'œuvre d'art : l'œuvre musicale et l'œuvre picturale. Nous avons identifié et retenu les caractéristiques communes (*i.e.* leurs attributs définitoires, qui correspondent à ceux du concept d'œuvre d'art) suivantes et que présente la figure 72 :

création humaine

un titre et un auteur

un genre : *concerto, opéra, chanson, messe, chant grégorien... pour l'œuvre musicale et portrait, nature morte, scène historique, paysage... pour l'œuvre picturale*

une structure (différentes parties) et une organisation : *le premier et le second plan, pour l'œuvre picturale et un « couplet-refrain », pour l'œuvre musicale*

des éléments (un contenu) : *des sons émis par des instruments et/ou des voix, pour l'œuvre musicale et des personnages, des objets naturels ou artificiels, pour l'œuvre picturale*

une quantité (une densité) : *de couleurs, pour l'œuvre picturale et de sons, pour l'œuvre musicale*

une intensité (une hauteur) : *un ton clair/obscur, pour l'œuvre picturale et une grave/aigu, pour l'œuvre musicale*

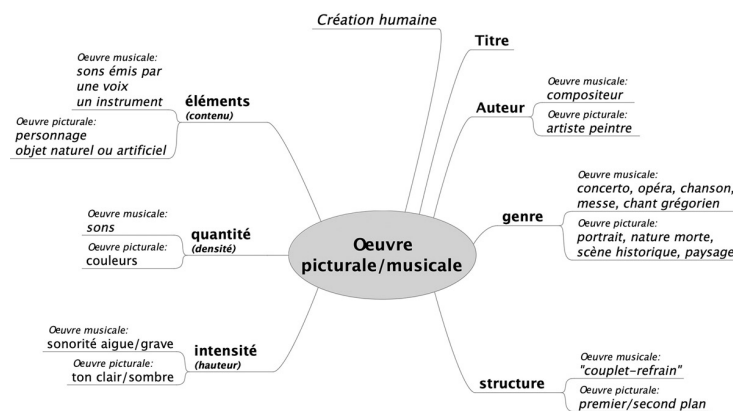
Nous considérons cette structure de connaissances comme une *formulation adaptée (niveau d'informations)* du concept d'œuvre musicale, c'est-à-dire correspondant à un niveau de savoir accessible aux élèves et préparatoire (précurseur) au savoir visé.

Nous postulons que les élèves :

possèdent ces connaissances à propos de cette structure conceptuelle (mais pas forcément le vocabulaire) ;

savent réaliser la tâche de reconnaissance libre des éléments constitutifs de la structure conceptuelle d'œuvre picturale.

Figure 72 : Carte sémantique de la « structure cognitive d'accueil » du concept d'« œuvre musicale »



4.4.2. Du parcours d'apprentissage au parcours d'enseignement

Se pose maintenant la question de la dévolution du parcours d'apprentissage : quelle partie laissons-nous à l'élève et quelle partie l'enseignant prend-il à son compte ? Nous interrogeons ici l'autonomisation du processus d'apprentissage et celui de la tâche.

Dans le respect du principe d'économie cognitive, nous avons fait des choix en cherchant à optimiser l'engagement cognitif et

motivationnel des élèves. L'ordre chronologique dans lequel nous les présentons se veut une description du parcours d'enseignement-apprentissage.

4.4.2.1. But et processus de motivation

1. *Faire comprendre (faire expliciter et faire expliquer)* l'utilité de l'apprentissage du concept d'œuvre musicale en la contextualisant aux artistes préférés des élèves.
2. *Expliquer le but* de la tâche d'apprentissage par la *métaphore* de la carte d'identité.

Sur une « carte d'identité », on trouve des éléments qui décrivent un individu : sa nationalité, le nom, prénom, sexe, date de naissance, lieu de naissance, taille (et une photo).

3. *Expliciter le moyen pour réaliser* la tâche d'apprentissage :
 - a. écouter : se fait à l'aide de nos oreilles (un de nos sens pour comprendre le monde... sonore) ;
 - b. observer : se fait à l'aide de nos yeux (un de nos sens pour comprendre le monde).
4. *Faire comprendre les actions* de la tâche d'apprentissage
 - a. *expliquer les actions* : discriminer les sources, les identifier, les qualifier, les décrire ;
 - b. *expliquer les actions* via une métaphore : la tâche consiste à établir la « carte d'identité » d'une œuvre musicale, au même titre que celle d'un tableau d'un artiste-peintre.

4.4.2.2. But et processus d'enseignement

Trajet 1 : Faire élaborer le concept d'œuvre picturale

Faire extraire de plusieurs instances les caractéristiques générales du concept d'œuvre picturale définies par la « structure conceptuelle d'accueil » (cf. figure 72) (processus d'apprentissage : abstraction -> processus d'enseignement : extraction).

Expliciter les caractéristiques générales du concept d'œuvre picturale définies par la « structure conceptuelle d'accueil » (cf. figure 72) (processus d'apprentissage : conceptualisation -> processus d'enseignement : explicitation).

Remarque : le parcours peut être réalisé par l'enseignant de musique ou par l'enseignant de dessin et de musique. Interdisciplinarité. Cohérence des enjeux éducatifs.

Trajet 2 : Faire élaborer le concept d'œuvre musicale (structure conceptuelle « d'accueil »)

Faire expliciter par transfert analogique les caractéristiques du concept d'œuvre musicale définies par la « structure conceptuelle d'accueil » (cf. figure 72) (processus d'apprentissage-enseignement : transfert analogique).

Expliciter la « structure conceptuelle d'accueil » (processus d'apprentissage : compréhension-mémorisation -> processus d'enseignement : Faire comprendre *et instituer*)

Entraîner à utiliser la « structure conceptuelle d'accueil » pour décrire une œuvre musicale (processus d'apprentissage : assimilation déclarative -> processus d'enseignement : Entraînement déclaratif (*mise en action de la connaissance déclarative*))

Trajet 3 : Enrichir le concept d'œuvre musicale (figure 71)

Faire extraire de plusieurs instances une ou plusieurs caractéristiques encore inconnues du concept d'œuvre musicale (processus d'apprentissage : abstraction -> processus d'enseignement : extraction).

*Explicit*er la ou les caractéristiques encore inconnue(s) du concept d'œuvre musicale *Explicit*er la nouvelle « structure conceptuelle » (processus d'apprentissage : conceptualisation-généralisation-> processus d'enseignement : explicitation).

Entraîner à utiliser la nouvelle « structure conceptuelle » pour décrire une œuvre musicale (processus d'apprentissage : assimilation déclarative -> processus d'enseignement : entraînement déclaratif (*mise en action de la connaissance déclarative*))

Pour soutenir un apprentissage efficient (cognitivement économique) lors de la phase de découverte (tâche d'apprentissage – processus d'abstraction), nous visons un engagement cognitif profond (niveau interactif chez Chi & Wylie (2014)). Nous proposons une tâche d'analyse d'extraits d'œuvres musicales, en groupe, pour laquelle les élèves devront produire une carte heuristique, un tableau ou une liste des caractéristiques identifiées. Ces dernières seront explicitées avec les « mots » des élèves, sous forme verbale ou picturale (dessin, schéma, graphe). Ces écrits seront complétés par des formes orales.

Les extraits d'œuvres musicales seront choisis pour faciliter l'identification des caractéristiques musicales.

Lors de la phase d'entraînement (processus d'assimilation), nous veillons à gérer la difficulté de mise en œuvre du concept.

Nous proposons des tâches de reconnaissance pour lesquelles :

- l'enseignant précise toutes les caractéristiques musicales de l'extrait écouté (exercice corrigé) ;
- l'enseignant précise certaines des caractéristiques musicales de l'extrait écouté (exercice partiellement corrigé) ;
- l'enseignant ne précise aucune des caractéristiques musicales de l'extrait écouté (exercice non corrigé).

De plus, les tâches seront doublées : la première sera effectuée en groupe et la seconde individuellement.

4.5. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

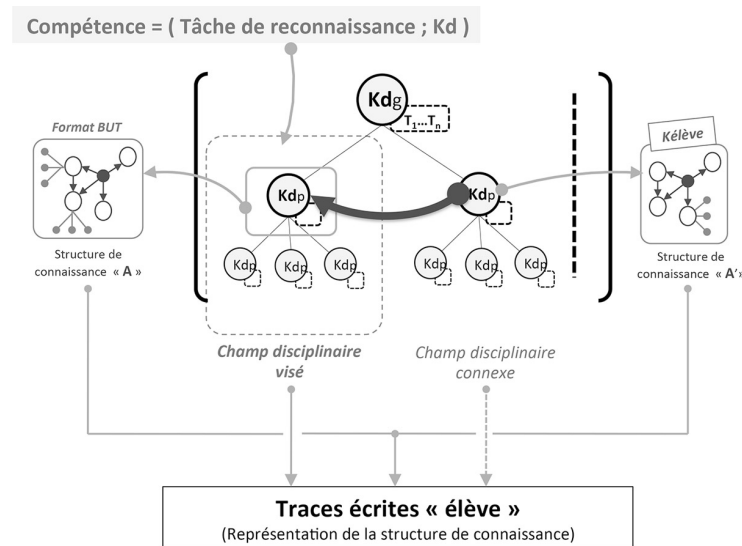
Parmi toutes les différentes traces écrites qui vont être nécessaires à l'apprentissage (et l'enseignement) du concept d'œuvre musicale, nous souhaitons centrer notre propos sur celles qui indiquent de façon explicite la *structure du contenu*.

C'est le cas des cartes sémantiques du concept d'« œuvre musicale » illustrées par les figures 68, et 72 (cartes heuristiques) et les figures 69 et 71 (carte des formats de connaissance). Elles jouent un rôle essentiel dans la compréhension et la rétention des informations (Bjork, 1994 ; Bransford *et al.* 2000).

4.6. À propos de cet exemple

L'étude de cas exposé ici permet d'illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement-apprentissage et notamment une double caractéristique de ce processus : son itérativité et sa récursivité. Comment la caractérisation du contenu à enseigner (et plus précisément le travail de cartographie – figures 68 et 69) a permis d'esquisser un parcours d'apprentissage (figure 70) et comment la prise en compte de l'acceptabilité (utilité et faisabilité) de la tâche d'apprentissage a nécessité de revoir le contenu à enseigner (figure 72) et le parcours d'apprentissage (figure 71).

Figure 73 : Représentation schématique du travail d'élaboration de la trace écrite « élève »



Cet exemple permet aussi de montrer comment le travail de cartographie du champ notionnel, dirigé par un processus de *transfert analogique*, conduit à l'élaboration de traces écrites « élève » pertinentes (c'est-à-dire une représentation explicite d'une structure de connaissance à la fois connue et à connaître). Comme l'illustre la figure 73, les traces écrites « élève » sont issues de ce travail de planification.

Ce travail commence par une caractérisation de la compétence scolaire visée et notamment de la nature particulière de la tâche T : en tant que tâche de reconnaissance, elle mobilise un domaine de connaissances déclaratives (Kd).

L'étude de la faisabilité de cette tâche de reconnaissance conduit à identifier des tâches de reconnaissance analogues, mobilisant des structures de connaissances analogues ($Kdp-A$ et $Kdp-A'$), dans un contexte interdisciplinaire. C'est ce principe d'analogie qui régit

l'élaboration de la carte des formats et des cartes de connaissances de chacun des *formats-BUT* (Kdp-A) et (Kdp-A').

Les traces écrites « élève » visent à proposer une représentation explicite de ces structures de connaissance.

Le travail de conception présenté ici ne demande qu'à être poursuivi pour conduire à un scénario d'enseignement-apprentissage opérationnel.

5. ENSEIGNER LE SYSTÈME DE NUMÉRATION EN SCIENCES DE L'INGÉNIEUR, AU LYCÉE

5.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'un savoir déclaratif afin de préparer celui de son pendant procédural. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le champ notionnel.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage à partir d'une carte des formats.

Comment transformer un parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement.

5.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Le dispositif à concevoir s'adresse à un public de lycéens dans le cadre d'un enseignement de sciences de l'ingénieur. Il a pour objectif

de rendre capable un élève d'utiliser un système de numération pondéré pour représenter un nombre. Nous nous limiterons ici aux systèmes binaire, décimal et hexadécimal.

5.3. Définir le contenu à enseigner

5.3.1. De la commande au champ notionnel

L'objet de l'enseignement que nous avons conçu relève de l'acquisition d'une compétence, caractérisée par la tâche : représenter un nombre à l'aide d'un système de numération pondéré. Pour définir le champ notionnel associé, nous avons cherché en premier lieu à caractériser le concept de « système de numération » et ses formats déclaratifs particuliers, pour mieux ensuite identifier les savoirs procéduraux affiliés.

5.3.2. À quelle structure de connaissance appartient le savoir à enseigner ?

Un système de numération est un ensemble de règles d'utilisation des signes, des mots ou des gestes permettant de représenter les nombres. La numération est le concept qui désigne le mode de représentation des nombres.

Le système de numération le plus ancien est le système dit unaire. Bien que son nom soit peu évocateur pour la plupart d'entre nous, il est sûrement le système le plus connu : c'est celui des « bâtons », qu'utilise le naufragé pour compter les jours qui passent (dans notre culture collective). Il crée même des « groupes de cinq » pour améliorer la lisibilité ; souvent, quatre traits parallèles barrés horizontalement par un cinquième (par exemple, 10 jours s'écrivent : ~~HHH-HHH~~).

Cependant, ce système s'avère peu pratique, notamment lorsqu'il s'agit de manier des quantités importantes. C'est ce défaut qui est à l'origine des nombreux systèmes de numération, comme le système de numération romain (qui utilise les lettres majuscules I, V, X, L, C, D, et M) ou encore notre actuel système de numération (qui utilise les chiffres arabes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 0), appelé « système décimal ».

Ces trois systèmes de numération appartiennent à la catégorie des systèmes de notation : ceux qui utilisent un chiffre (ou lettre) comme symbole. On les distingue de systèmes de mime ou d'énonciation.

Au sein des systèmes de notation, les systèmes de numération unaire et romain relèvent d'une catégorie dite « système additif » (tout comme le système égyptien) alors que notre système dit « arabe » appartient à une autre catégorie dite « système positionnel ».

Comme le montre la carte des formats du champ notionnel « système de numération » (cf. figure 74), c'est parmi les « systèmes de numération positionnels » que l'on trouve le savoir à enseigner en sciences de l'ingénieur : les systèmes de numération dits « pondérés », comme le système binaire, décimal et hexadécimal.

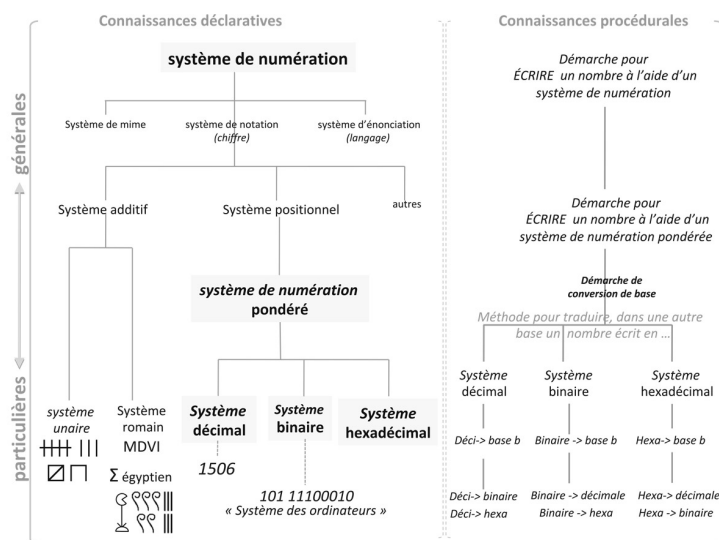
Le système binaire, même s'il n'est pas aussi connu que le système décimal, renvoie à des connaissances communes (de tout à chacun) : c'est le système de numération qui écrit les nombres sous forme d'une juxtaposition de 1 et de 0 (« le langage de l'ordinateur »).

Nous avons enrichi la carte des formats de connaissance du champ notionnel de quelques formats procéduraux, notamment ceux qui permettent de changer de système de numération. Ces démarches appartiennent à une catégorie procédurale, appelée « conversion de base ». La base est une caractéristique définitoire du système de

numération : le système décimal est associé à la base 10, le système binaire à la base 2 et le système hexadécimal à la base 16. La « conversion de base » signifie changer de système de numération pondéré.

La conversion de base renvoie donc à des procédures qui permettent de traduire un nombre écrit dans un système de numération en un autre système de numération. Nous retenons trois types de méthodes, qui se déclinent en deux savoir-faire. Par exemple, les méthodes « décimal->base b » permettent d'écrire un nombre décimal dans un autre système de numération pondéré b. On y trouve deux savoir-faire : « déci->binaire » et « déci->hexa ».

**Figure 74 : Carte des formats du champ notionnel
« système de numération »**



La conversion de base renvoie donc à des procédures qui permettent de traduire un nombre écrit dans un système de numération en un autre système de numération. Nous retenons trois types de méthodes, qui se déclinent en deux savoir-faire. Par

exemple, les méthodes « décimal->base b » permettent d'écrire un nombre décimal dans un autre système de numération pondéré b. On y trouve deux savoir-faire : « déci->binaire » et « déci->hexa ».

Dans le contexte didactique présent, nous allons maintenant spécifier le concept de « système de numération pondéré » pour pouvoir caractériser les trois sous-concepts associés, que sont les « systèmes binaire, décimal et hexadécimal ».

5.3.3. Le concept de « système de numération pondéré »

Comme tout « système de numération à notation », un « système de numération pondéré » est défini par un alphabet, composé de « b » symboles (chiffres et/ou lettres), et des règles de placement (juxtaposition) des composantes de cet alphabet. On parle alors de système de numération en « base b ».

En tant que système positionnel, la place d'un symbole (chiffre et/ou lettre) au sein du nombre est définie par un poids. Ce poids correspond à une puissance de b.

Ainsi, un nombre N, écrit dans une base b, (noté $N_{(b)}$), est représenté par une juxtaposition de symboles (chiffre ou lettre) : $N_{(b)} = a_{n-1} a_{n-2} \dots a_0_{(b)}$. Par exemple, $5E2_{(16)}$ est la représentation du nombre 1506 avec :

a_i : est un symbole de l'alphabet de poids i (position i),

a_0 : symbole de poids 0 appelé symbole de poids faible,

a_{n-1} : symbole de poids n-1 appelé symbole de poids fort.

La valeur du nombre N en base 0 (c'est-à-dire dans le système décimal) est donnée par la relation :

$$N_{(b)} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot b^i = a_{n-1} \cdot b^{n-1} + \dots + a_1 \cdot b^1 + a_0 \cdot b^0_{(10)}$$

Ainsi, le concept de « système de numération pondéré » peut être spécifié au travers de cet ensemble d'attributs que sont : son alphabet, son nombre de symboles, sa base de pondération, la forme d'un nombre et sa formule de conversion dans le système décimal (qui est notre système usuel).

À partir de cette spécification générale, nous avons caractérisé les sous-concepts associés via un processus de particularisation des attributs. La figure 1b propose une carte de connaissance qui rend compte de ces relations de filiation conceptuelle.

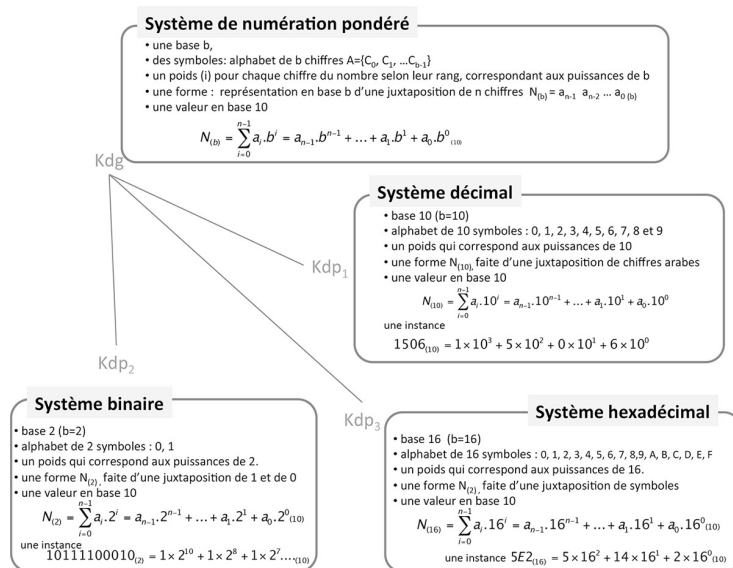
Ainsi, le sous-concept de « système de numération décimal », que l'on nomme « système décimal », peut être décrit comme (cf. figure 75) :

Un système de numération pondéré en base 10 ; son alphabet est donc composé de dix chiffres (allant de 0 à 9). Un nombre N écrit en base 10, noté $N_{(10)}$, est formé d'une juxtaposition de chiffres. Chaque chiffre possède un poids qui correspond à une puissance de 10. La valeur du nombre N en base 10 (c'est-à-dire dans le système décimal) est donnée par la relation :

$$N_{(10)} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 10^i = a_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 10^1 + a_0 \cdot 10^0_{(10)}$$

Une instance est : $1506_{(10)} = 1 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 6 \times 10^0_{(10)}$

**Figure 75 : Carte de connaissance du concept
de « système de numération pondéré »**



Pour avoir une vision plus « parlante » du champ notionnel lié au « système de numération pondéré », nous avons élaboré deux représentations du domaine de cette connaissance :

une *carte des formats* (cf. figure 74), afin d'avoir une vue globale du *contexte conceptuel* dans lequel s'inscrit la connaissance ;

une *carte de connaissance* (cf. figure 75), afin d'avoir une vue globale des *caractéristiques clés* définissant le concept (Kdg) et ses sous-concepts (Kdp_i).

Ces cartes du « pays du savoir » vont servir d'appui à élaboration d'un parcours d'enseignement-apprentissage. Nous allons nous attacher à le montrer dans la suite de notre propos.

5.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

L'objectif pédagogique de cet enseignement est de rendre un élève capable d'utiliser un système de numération (binaire, décimal et hexadécimal) pour représenter un nombre.

5.4.1. *Quels buts d'apprentissage ?*

Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire que l'élève élabore deux formats de connaissance que sont, d'une part, le concept de « système de numération (binaire, décimal et hexadécimal) » et, d'autre part, les démarches de « conversion de base » associées. Ces deux formats constituent des *formats-BUT* d'apprentissage.

5.4.2. *Quel parcours d'apprentissage ?*

Comme l'illustre la figure 76, nous avons retenu un parcours d'apprentissage qui propose que les formats procéduraux soient élaborés à partir des formats déclaratifs. Notre choix a été guidé par : la volonté de construire de nouvelles connaissances à partir de connaissances existantes ($K_{\text{élève}}$). Il s'agit notamment ici des connaissances à propos des systèmes de numération additive (unaire, romain, égyptien) et des systèmes positionnels (binaire et décimal) ; le fait que les démarches de « conversion de base » reposent sur des mécanismes (a) non intuitifs (artificiels), (b) qui trouvent leur ressort dans la formule de conversion dans notre système décimal.

Le parcours d'apprentissage s'articule autour de trois phases :
phase 1 : élaboration du concept de « système de numération », à partir des connaissances des élèves, via un *processus de généralisation* (processus 1) ;

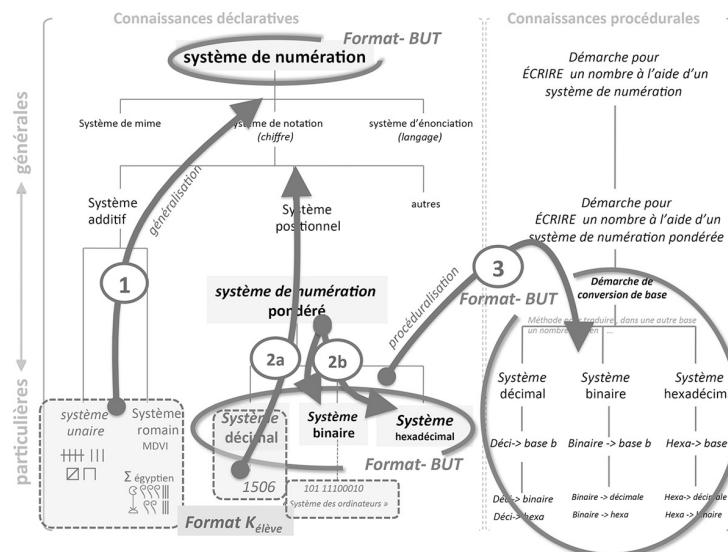
phase 2 : élaboration du concept de « système de numération pondéré » et des sous-concepts associés (processus 2a et 2b) ;

phase 3 : élaboration des savoir-faire liés à la « conversion de base » par *procéduralisation* des sous-concepts de « système décimal, binaire et hexadécimal » (processus 3).

Pour favoriser la clarté de notre discours sur la conception d'un dispositif d'enseignement, nous souhaitons limiter (à partir d'ici) notre propos explicatif au parcours d'apprentissage des *formats-BUT* déclaratifs (phases 1 et 2).

Cette phase consiste à construire le concept de « système de numération » à partir des connaissances communes des élèves dans ce domaine. L'enjeu est clairement d'établir une « structure de connaissance d'accueil » du concept de « système de numération pondéré » et des sous-concepts associés (qui seront élaborés en phase 2). On peut aussi remarquer que cette phase relève d'un processus de révélation (un effet Jourdain) favorisant l'engagement motivationnel de l'élève.

**Figure 76 : Parcours d'apprentissage régi par une approche
« du déclaratif vers le procédural »**



Parcours phase 1 : Élaborer une structure de connaissance d'accueil

La figure 77 illustre le schéma cognitif permettant d'élaborer le concept de « système de numération » via un processus de *généralisation*.

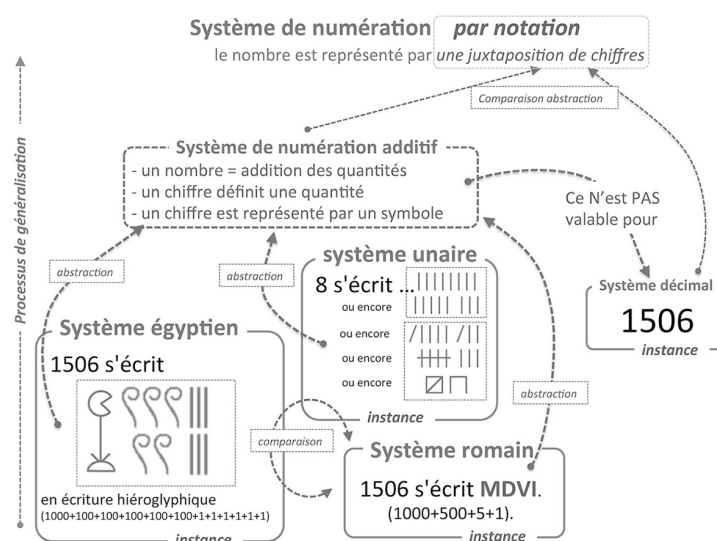
On peut y lire que le concept de « système de numération » est tout d'abord défini par l'attribut « un nombre est représenté par une juxtaposition de chiffres... *mais pas que* ». Cet attribut est une caractéristique commune à toutes les instances des « systèmes de numération *par notation* », que l'on peut percevoir (*abstraction*) par *comparaison*. Ce même mécanisme de *comparaison* permet de fabriquer deux catégories conceptuelles : celle du « système de numération additif » et celle à laquelle appartient notre « système décimal ». Le concept de « système de numération *additif* » est défini par deux attributs :

Un nombre est une addition de quantités.

Une quantité est définie par un chiffre, représenté par un symbole.

Chacune des catégories conceptuelles (par exemple, « système égyptien ») abordées pendant le processus d'apprentissage est étiquetée au moment opportun. L'ensemble des attributs forme un premier niveau d'information concernant le *format-BUT*.

Figure 77 : Schéma cognitif d'élaboration du concept de « système de numération »



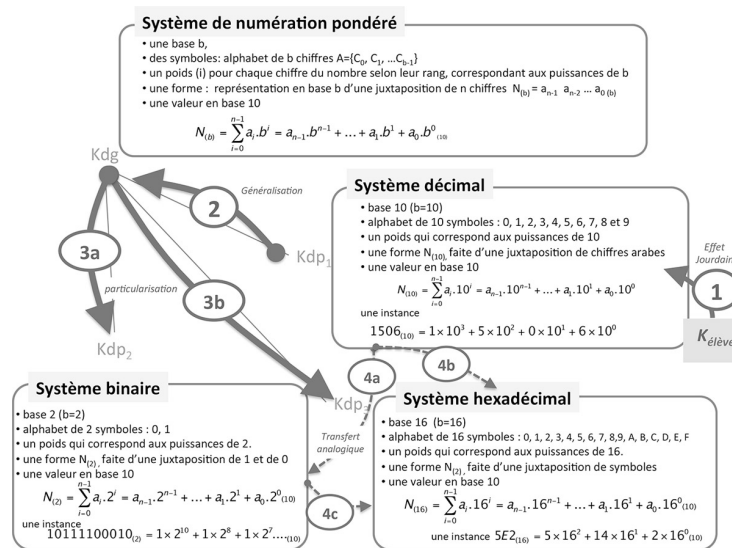
Parcours phase 2 : Enrichir la structure de connaissance

Comme le suggère la figure 78, le concept de « système de numération pondéré » (K_g) est élaboré à partir du sous-concept de « système décimal », via un *processus de généralisation* (processus 2). Ce dernier sera préalablement façonné au travers d'un processus double de *prise de conscience* et d'*explicitation déclarative* (processus 1). Cet « effet Jourdain » portera sur connaissances des élèves ($K_{\text{élève}}$) concernant le « système décimal ».

Quant aux sous-concepts de « système binaire » et « système hexadécimal », ils sont le résultat d'un processus de *particularisation* du concept de « système de numération pondéré » (processus 3a et 3b).

À noter que la proximité structurelle des trois sous-concepts (Kp_i) laisse à penser qu'un processus de *transfert analogique* pourra être mis en œuvre pour étayer l'élaboration de ces formats de connaissances (processus 4a, 4b et 4c).

Figure 78 : Parcours d'apprentissage du concept et sous-concepts de « système de numération pondéré »



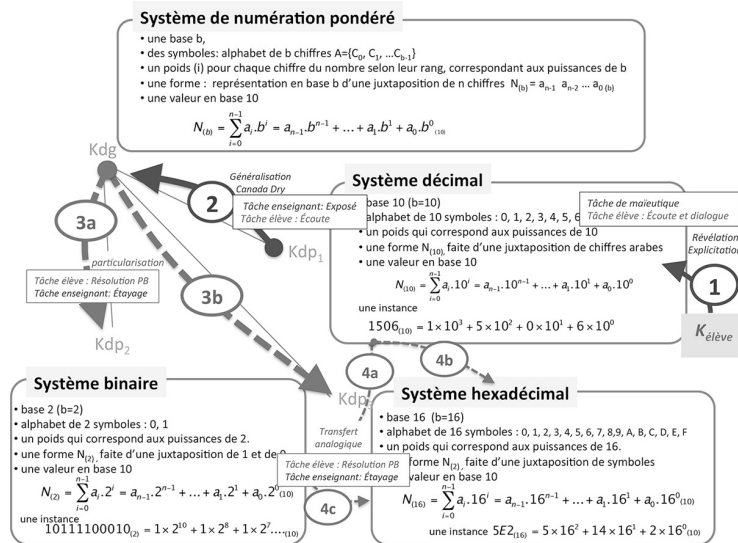
5.4.3. Quel parcours d'enseignement-apprentissage ?

La transformation de ce parcours d'apprentissage (de la phase 2) en parcours d'enseignement consiste, en premier lieu, à décider de qui « prend à son compte » le processus d'apprentissage. Ce choix sur la dévolution de la conduite du processus d'apprentissage va permettre de définir les tâches de l'enseignant et celles de l'élève.

Le parcours d'apprentissage, défini par la figure 78, peut être décrit comme l'enchaînement d'une approche *bottom-up* (processus 1 et 2) et d'une approche *top-down* (processus 3i et 4i).

Nous avons décidé que l'enseignant « prendrait à son compte » le parcours *bottom – up* ($K_{\text{élève}} \rightarrow Kp_1 \rightarrow Kg$) et que les élèves « prendraient à leur compte » le parcours *top-down* ($Kg \rightarrow Kp_{2,3}$).

Figure 79 : Parcours d'enseignement-apprentissage du concept et sous-concepts de « système de numération pondéré »



Ainsi, comme l'illustre la figure 79, lors de la première phase (approche *bottom-up*), les processus d'enseignement de *révélation-explicitation déclarative* et de *généralisation Canada Dry* (processus 1 et 2) seront soutenus par des tâches de maïeutique et d'exposé pour l'enseignant et des tâches de dialogue et d'écoute pour les élèves ;

lors de la seconde phase (approche *top-down*), les processus d'apprentissage (processus 3i et 4i) seront soutenus, pour les élèves, par des tâches de résolution de problème. Le but de la tâche est de

définir les systèmes binaire et hexadécimal. Le contexte de résolution de problème est propice au transfert analogique (processus 4i). Le processus d'enseignement, pendant du processus d'apprentissage, sera, quant à lui, soutenu par des tâches d'étayage.

Pour finaliser la phase d'enseignement-apprentissage, il nous faut ajouter un processus d'assimilation des formats de connaissance. On proposera des tâches de reconnaissance de divers systèmes de numération pondérés.

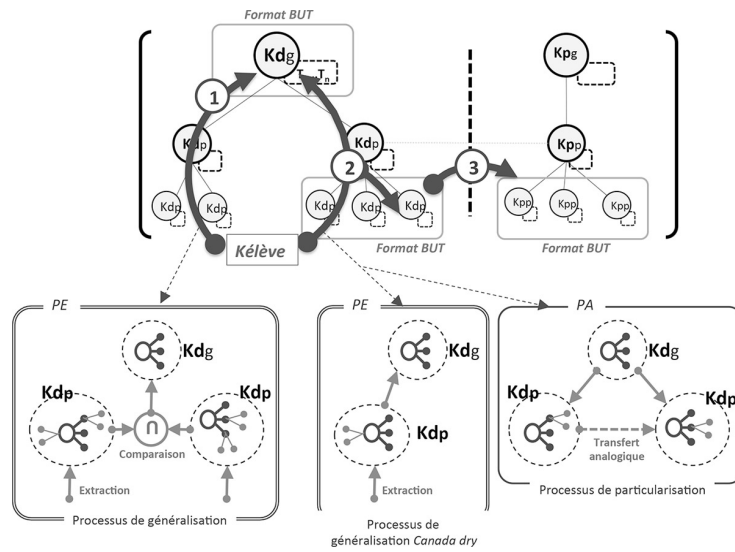
5.5. À propos de cet exemple

L'étude de cas exposée ici a pour ambition d'illustrer une partie du processus de conception d'un dispositif d'enseignement-apprentissage : celle qui permet de façonner un parcours d'enseignement-apprentissage à partir d'un travail de cartographie du champ notionnel à enseigner.

Dans ce cadre, cet exemple s'attarde sur une manière de caractériser un parcours d'enseignement-apprentissage, afin de le rendre opérationnel.

Comme l'illustre la figure 80, le travail de planification commence par une esquisse du parcours d'apprentissage sur la carte des formats (sous forme de flèche) ; chaque étape est définie par un ou plusieurs processus d'apprentissage. On cherche ensuite, pour chaque étape, à préciser la « mécanique » qui permet de transformer un format en un autre. Pour cela, on change d'échelle de planification : on mobilise les cartes de connaissances de chacun des formats (Kdg et Kdp, par exemple). Une fois tranché le problème du niveau de « la prise à son compte » des étapes du parcours d'apprentissage, on spécifie la nature des tâches de l'élève et de l'enseignant pour chaque processus d'apprentissage (PA) ou d'enseignement (PE).

Figure 80 : Schéma de principe de la caractérisation d'un parcours d'apprentissage-enseignement



6. ENSEIGNER LE DOSAGE D'UNE SOLUTION COLORÉE PAR ÉTALONNAGE EN CHIMIE AU LYCÉE

6.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'un savoir procédural et de son pendant déclaratif. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le champ notionnel.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage à partir d'une carte des formats.

Comment élaborer une trace écrite à partir des structures de connaissances du domaine.

6.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Le dispositif à concevoir s'adresse à un public de lycéens dans le cadre d'un enseignement de chimie. Il concerne le « Dosage de solutions colorées par étalonnage » et doit rendre capable un élève de « Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce colorée à partir d'une courbe d'étalonnage en utilisant la loi de Beer-Lambert ».

6.3. Définir le contenu à enseigner

6.3.1. *De la commande au champ notionnel*

Afin de définir ce qu'il y a lieu d'enseigner (le besoin d'enseigner) à propos du « dosage d'une espèce chimique en solution par étalonnage en utilisant la loi de Beer-Lambert », nous allons chercher à répondre essentiellement aux deux questions : *quelle est structure du savoir ? Et dans quelle structure de connaissance s'intègre-t-il ?*

En d'autres termes, et en référence à la métaphore introductive de la théorie d'ingénierie de l'« acte de concevoir » (cf. chapitre 3), avant d'emmener les élèves découvrir le site du « dosage d'une espèce chimique... », on va chercher à se munir du plan du site, puis à le situer sur la carte du pays du savoir du « dosage en chimie » et, si nécessaire, à le localiser sur celle de la région abritant le site.

Dans cette perspective, nous avons cherché à caractériser le concept de « dosage en chimie » pour ensuite le particulariser jusqu'à établir un lien avec le savoir « loi de Beer-Lambert ». En parallèle, on s'est attaché à identifier des savoirs procéduraux associés.

Nous présentons ici les principales informations caractérisant le champ notionnel, issues notre recherche, utiles à l'élaboration d'un parcours d'apprentissage et au façonnage de traces écrites d'enseignement-apprentissage. La terminologie utilisée est celle usitée dans les programmes d'enseignement de chimie au lycée.

En chimie, le dosage est une action qui a pour but de déterminer la quantité ou la proportion d'un élément (appelé espèce chimique) entrant dans la composition d'un mélange (appelé solution).

Le principe consiste à utiliser une solution de référence pour la comparer ou la faire réagir avec l'espèce chimique (en solution) à doser.

Selon le principe utilisé pour doser une espèce chimique, on distingue :

1. Le dosage par titrage

Il vise à déterminer la quantité de matière de l'espèce chimique présente dans un échantillon de solution en exploitant une réaction chimique.

Ce type de dosage est qualifié de « destructif ». En effet, on relève l'évolution d'une caractéristique physique d'une solution, contenant l'espèce chimique à doser, au fur et à mesure que l'on introduit une quantité connue d'une espèce chimique en solution.

On distingue principalement trois types de dosage par titrage : le titrage conductimétrique, le titrage pH-métrique et le titrage colorimétrique.

2. Le dosage par étalonnage

Il vise à déterminer la concentration d'une espèce chimique présente dans une solution. Ce type de dosage est qualifié de « non destructif ». En effet, il repose sur la comparaison d'une propriété physique d'un échantillon de la solution contenant l'espèce chimique à doser à la même propriété physique pour une gamme étalon (ou dans certains cas, une solution étalon). Cela suppose également que (a) la concentration de l'espèce chimique influe sur une grandeur physique (par exemple l'absorbance, la conductivité, etc.), (b) qu'il est possible de mesurer. Une loi physique modélise cette influence (sous forme d'application linéaire).

La démarche pour réaliser un dosage par étalonnage, à l'aide d'une gamme étalon, s'articule autour de deux étapes :

Élaboration de la courbe d'étalonnage : cette courbe est une représentation graphique de la loi physique. Pour cela, il faut reporter sur un graphique des points dont l'abscisse correspond à la concentration des solutions connues et l'ordonnée correspond à la grandeur physique mesurée à l'aide d'un appareil. Ce dernier sera mis en œuvre selon les indications prescrites par sa notice d'utilisation.

Exploitation de la courbe d'étalonnage : il suffit alors de mesurer (à l'aide de l'appareil) la grandeur physique de la solution à doser afin d'obtenir un point de la courbe dont l'abscisse indique la concentration recherchée. Cette démarche donne lieu à l'élaboration d'un protocole expérimental qui précise notamment la nature et les quantités de solutions à utiliser, ainsi que les divers instruments à mettre en œuvre.

Dans le contexte didactique présent, on distingue principalement deux types de dosage par étalonnage caractérisé par la technique employée : le dosage par étalonnage spectrophotométrique par absorption (qui utilise la loi de Beer-Lambert) et le dosage par étalonnage conductimétrique (qui utilise la loi de Kohlraush). Ces deux lois permettent d'établir une relation de proportionnalité entre la concentration de l'espèce chimique à doser et la grandeur physique mesurée.

Le « dosage d'une solution colorée par étalonnage », qui est le savoir visé, correspond au « dosage par étalonnage spectrophotométrique par absorption (qui utilise la loi de Beer-Lambert) »

6.3.2. Quelles sont les structures de connaissance du savoir à enseigner ?

Pour clarifier cette caractérisation du champ notionnel lié au « Dosage d'une solution colorée par étalonnage, en utilisant la loi de

Beer-Lambert », nous avons élaboré deux représentations du domaine de cette connaissance :

une *carte des formats* (cf. figure 81), afin d'avoir une vue globale du *contexte conceptuel* dans lequel s'inscrit la connaissance ;

une *carte conceptuelle* (cf. figure 82), afin d'avoir une vue globale des *caractéristiques clés* définissant le concept.

Ces cartes du « pays du savoir » vont servir d'appui à élaboration d'un parcours d'enseignement-apprentissage. Nous allons nous attacher à montrer comment elles peuvent permettre d'élaborer des traces écrites, qui seront utilisées comme support d'enseignement et d'apprentissage.

Pour des raisons de lisibilité de la carte des formats, nous n'avons pas fait apparaître les types de dosage par titrage : le titrage conductimétrique, le titrage pH-métrique et le titrage colorimétrique.

Cette carte conceptuelle peut être spécifiée pour un type de dosage par étalonnage particulier. Ainsi, dans le cas du « dosage d'une solution colorée », la *propriété physique* est celle de l'absorption de la lumière, la *grandeur physique* mesurée est l'absorbance, la *loi physique* est celle de Beer-Lambert, la *technique instrumentale* est celle de la spectrophotométrie par absorption et l'*appareil* est un spectrophotomètre d'absorption.

**Figure 81 : Carte des formats du champ notionnel
« Dosage d'une solution colorée par étalonnage »**

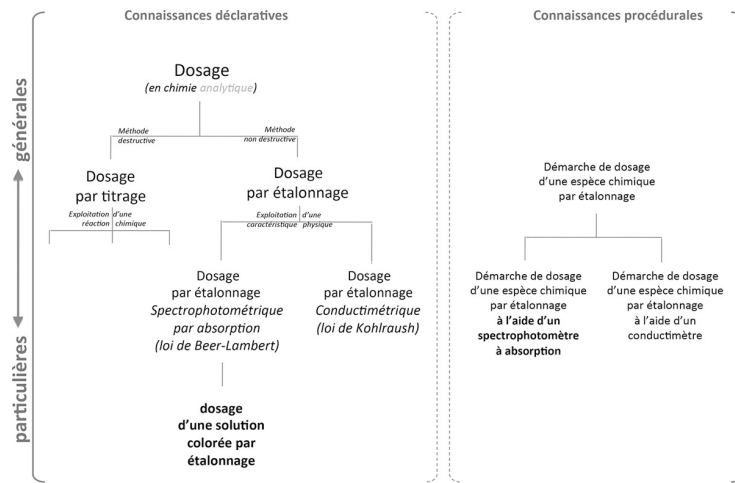
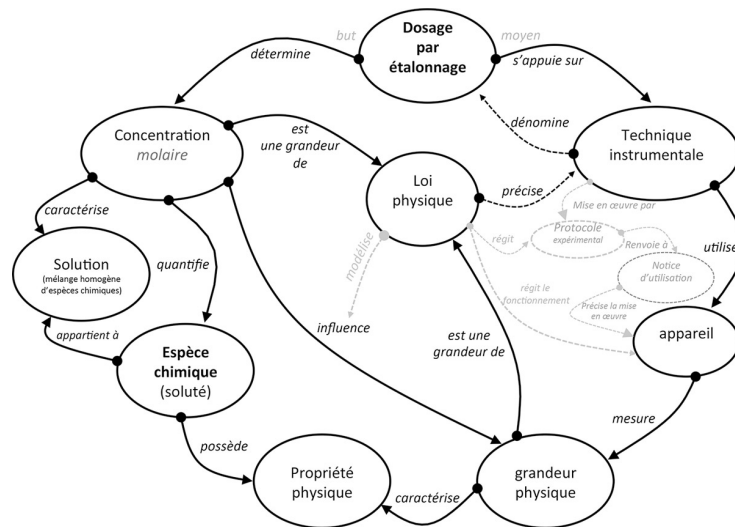


Figure 82 : Carte conceptuelle du « Dosage d'une solution colorée par étalonnage »



6.3.3. Quelle est l'utilité de la connaissance ?

Nous cherchons maintenant à identifier les tâches qui mobilisent les connaissances (i.e. établir les couples (K ; T) du domaine de connaissances) concernant le dosage par étalonnage (et plus

généralement à tout type de dosage en chimie). Ces tâches seront utilisées pour donner du sens à l'acquisition des connaissances en termes de motivation et d'assimilation.

De manière générale, les dosages permettent de déterminer rapidement et efficacement une quantité de matière présente dans un échantillon. Nous avons identifié deux classes de tâches mobilisant les connaissances visées.

6.3.3.1. Réaliser des tâches professionnelles (tâches extrascolaires)

Les connaissances à leur propos permettent de réaliser des tâches de contrôle de qualité indispensables à la commercialisation de produits industriels (à vocation pharmaceutique, agroalimentaire ou à usage ménager) qui sont soumis à des normes strictes.

On utilise par exemple les techniques de dosage en médecine pour doser des médicaments ou encore dans l'industrie agroalimentaire pour doser les quantités de solutés à incorporer dans les boissons (on peut étudier par exemple la concentration du fer dans le vin, ou encore celle de certains acides dans des boissons de type cola).

6.3.3.2. Réaliser des tâches scolaires

Les connaissances à propos des dosages par étalonnage font régulièrement l'objet d'évaluation dans les épreuves du baccalauréat (notamment des disciplines scientifiques et technologiques).

6.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

L'objectif pédagogique de cet enseignement est de rendre un élève capable de « Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce colorée à partir d'une courbe d'étalonnage en utilisant la loi de Beer-Lambert ».

6.4.1. Quels sont les buts d'apprentissage ?

Cette compétence mobilise deux formats de connaissance que sont, d'une part, le concept de « dosage d'une espèce chimique par étalonnage par spectrophotométrie d'absorption » et, d'autre part, la démarche associée. Ces deux formats constituent des *formats-BUT* d'apprentissage.

Mais l'enjeu va bien au-delà de cette tâche spécifique. Selon nous, il s'agit d'inscrire cet apprentissage dans une structure de connaissances plus large qui permettra à l'élève d'acquérir (plus facilement) un champ de compétences plus vaste comme celui de :

Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce à l'aide de courbes d'étalonnage en utilisant la spectrophotométrie et la conductimétrie, dans le domaine de la santé, de l'environnement ou du contrôle de la qualité. (Extrait du programme de Physique-Chimie de la série Scientifique)

Ou encore

Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce chimique par titrage par le suivi d'une grandeur physique et par la visualisation d'un changement de couleur, dans le domaine de la santé, de l'environnement ou du contrôle de la qualité. (Extrait du Programme de Physique-Chimie de la série Scientifique)

Et donc de manière plus générale, de

Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce chimique dans le domaine de la santé, de l'environnement ou du contrôle de la qualité.

Cette structure de connaissances est illustrée par la carte des formats (figure 81) et la carte conceptuelle (figure 82). Elle propose des structures complexes de connaissances en hiérarchisant les éléments de savoir, ce qui facilite l'acquisition de connaissances nouvelles (Schneider & Stern, 2010).

6.4.2. Quel parcours d'apprentissage ?

Cet enjeu nécessite que l'on discute de la façon d'atteindre l'objectif pédagogique d'enseignement. En nous appuyant sur la carte des formats de connaissance, nous avons envisagé plusieurs parcours d'apprentissage.

Par exemple, comme l'illustre la figure 83a, nous pouvons proposer à l'élève un parcours régit par une approche de type *top-down* : le *format-BUT* déclaratif est élaboré par *particularisation* du concept général de « dosage en chimie ». Les formats procéduraux sont élaborés à partir des formats déclaratifs.

Une autre possibilité serait d'offrir à l'élève un parcours régit par une approche de type *bottum-up*, comme le montre la figure 83b. Les formats déclaratifs particuliers sont élaborés à partir de leur format procédural respectif, via un processus d'*abstraction simple*. Ils servent ensuite d'appui pour bâtir le concept de « dosage en chimie » par *généralisation*.

Figure 83a : Parcours d'apprentissage régi par une approche « top-down »

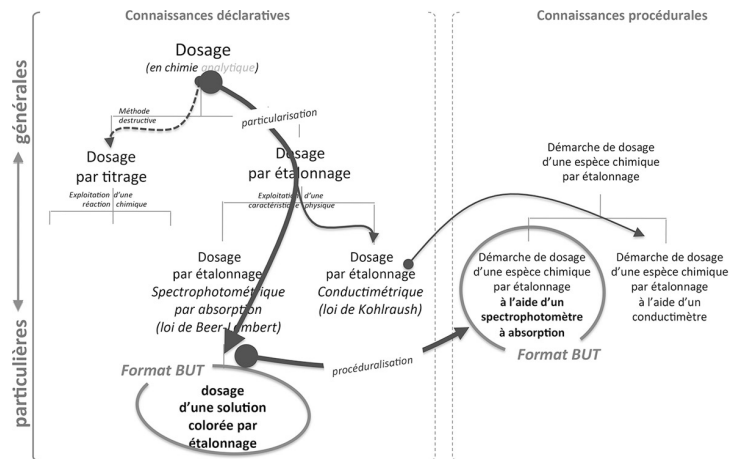
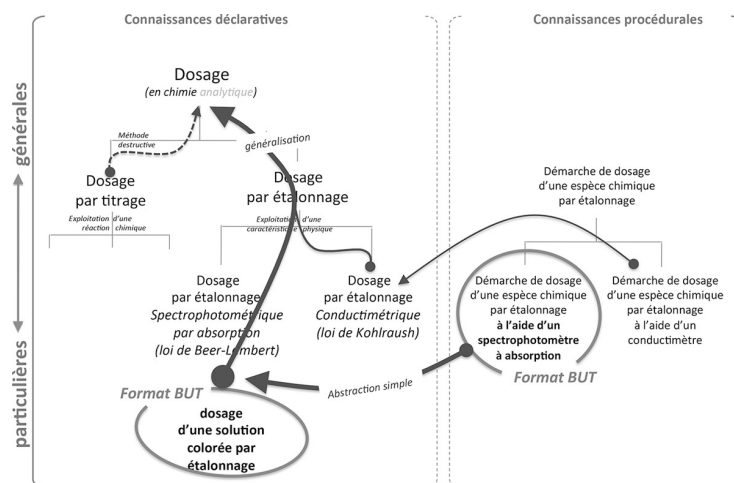


Figure 83b : Parcours d'apprentissage régi par une approche « bottom-up »



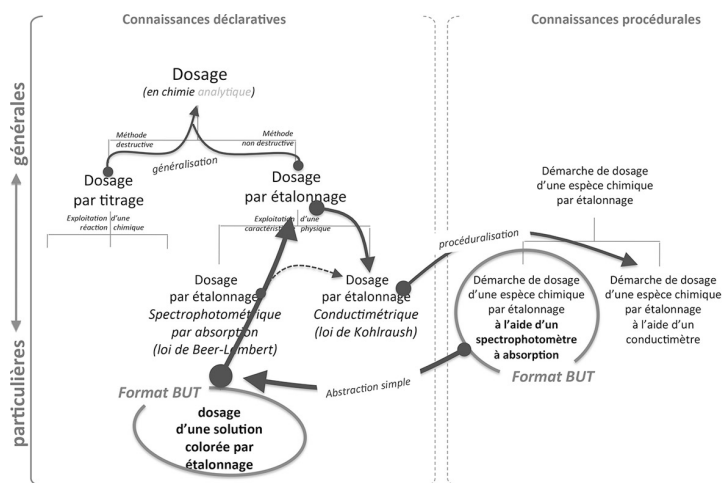
Enfin, on peut encore envisager une dernière possibilité de parcours régi par une approche plus hybride. Comme l'illustre la figure 83c, le *format-BUT* déclaratif est d'abord élaboré à partir de son pendant procédural, via un processus d'*abstraction simple*. Ce format permettra de construire le concept de « dosage par

étalonnage », via un processus de généralisation, puis le concept de « dosage par étalonnage par conductimétrie », soit par un processus de *particularisation* et/ou un processus de *transfert analogique*. Ce format déclaratif particulier sera transformé en format procédural.

Cette approche pourra être transférée de façon analogue pour élaborer le concept de « dosage par titrage » à partir des sous-concepts associés.

Les concepts de « dosage par étalonnage » et de « dosage par titrage » serviront d'appui pour façonner le concept de « dosage en chimie ».

Figure 83c : Parcours d'apprentissage régi par une approche « hybride »



6.5. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

À partir de cette première esquisse de plans d'action possibles, nous avons commencé à façonner des traces écrites d'enseignement et d'apprentissage.

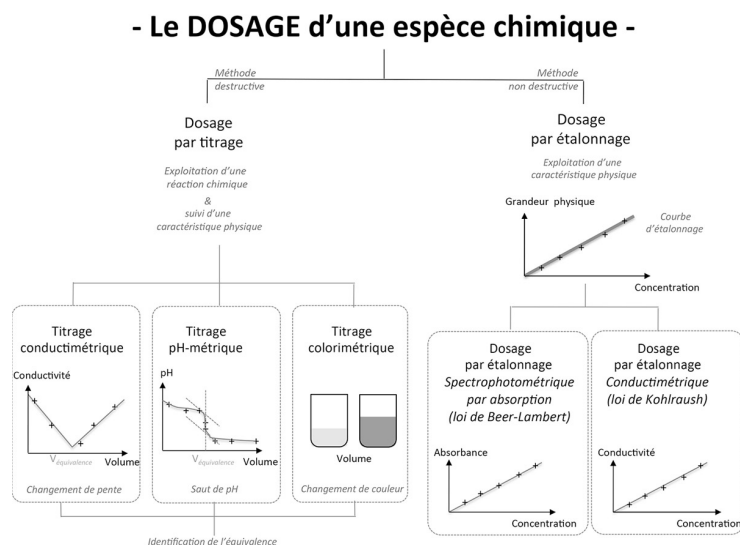
Parmi toutes les différentes traces écrites qui vont être nécessaires à l'enseignement des différents dosages en chimie, nous souhaiterions centrer notre propos sur certaines d'entre elles.

La première trace écrite est liée au concept de « dosage en chimie ».

Ce document (esquissé en figure 84) a été élaboré à partir du volet déclaratif de la carte des formats du champ notionnel (figure 81). Sa vocation est de fournir une représentation de la structure hiérarchique du domaine de connaissance. Sur le plan des apprentissages, ce type de représentation apparaît comme le plus adapté pour la rétention des connaissances d'un domaine, pour favoriser les processus de recherche rapide et efficace et pour l'intégration de nouveaux éléments de connaissance, sans restructuration de la connaissance déjà présente (De Jong, 1996).

Nous avons fait le choix de favoriser la compréhension (et par voie de conséquence la mémorisation) de cette « typologie de dosages », en mobilisant le principe de double modalité texte-image. Pour les images, nous avons retenu des registres de représentation sémiotique (graphique et dessin d'expérience) qui évoquent le caractère empirique de la méthode.

Figure 84 : Esquisse d'un document d'enseignement-apprentissage du concept de « dosage en chimie »



Selon le parcours d'enseignement-apprentissage retenu, ce document pourra être appréhendé en début ou en fin d'apprentissage, ou même encore élaboré progressivement au cours de l'apprentissage.

Quoi qu'il en soit, il constitue le premier *niveau d'information* du savoir scolaire.

La deuxième trace écrite est liée au concept de « dosage par étalonnage ».

Ce document reprend la carte conceptuelle présentée en figure 82. Sa vocation, en tant que structure conceptuelle, est de soutenir différents processus d'apprentissage liés au concept de « dosage par étalonnage ».

Par exemple, on peut proposer une tâche de complémentation de la carte conceptuelle : on donne uniquement les attributs (les « bulles ») et on demande de (re)trouver des liens et d'en préciser

Une autre possibilité serait de fournir aux élèves la carte conceptuelle complète et de leur demander d'élaborer celles des deux sous-concepts de « dosage par spectrophotométrie d'absorption » et « dosage conductimétrique », comme illustré par la figure 85. Il s'agit ici de soutenir un *processus de particularisation* du concept.

Diagramme de connaissances sur la spectrophotométrie d'absorption :

- Concentration molaire (c)**
 - détermine **Dosage par étalonnage**
 - caractérise **Solution (mélange homogène d'espèces chimiques)**
 - quantifie **Espèce chimique (soluté)**
 - est une grandeur de **Loi physique Beer-Lambert**
 - appartient à **Espèce chimique (soluté)**
- Dosage par étalonnage**
 - but **Dosage par étalonnage**
 - moyen **Technique instrumentale Spectrophotométrie d'absorption**
- Loi physique Beer-Lambert** ($A = \epsilon \cdot l \cdot c$)
 - modélise **Absorbance (A)**
 - est une grandeur de **Absorbance (A)**
- Technique instrumentale Spectrophotométrie d'absorption**
 - dénomme **Appareil Spectrophotomètre d'absorption**
 - précise **Loi physique Beer-Lambert**
 - utilise **Appareil Spectrophotomètre d'absorption**
- Espèce chimique (soluté)**
 - possède **Absorption de la lumière visible**
- Absorption de la lumière visible**
 - caractérise **Absorbance (A)**
- Absorbance (A)**
 - est une grandeur de **Absorbance (A)**
- Appareil Spectrophotomètre d'absorption**
 - mesure **Absorbance (A)**

Informations supplémentaires :

- Propriété physique** : Absorption de la lumière visible
- Nombre de Double liaison Conjuguée >7** : lié à l'espèce chimique
- Graphique** : Absorbance vs Concentration (Loi de Beer-Lambert)
- Spectre** : Absorbance vs Longueur d'onde (λ nm)

La troisième trace écrite est liée à la « démarche de dosage d'une solution colorée par étalonnage ».

Ce document (cf. figure 86) a vocation à mettre en exergue le savoir-faire mobilisé pour réaliser une tâche de dosage d'une solution

colorée. Il se distingue du « traditionnel » compte rendu de travaux pratiques (ou d'activité expérimentale). Cette emblématique pratique scolaire de référence est une description chronologique des différentes étapes de la tâche. Elle relève d'un processus de *prise de conscience procédurale* de l'action.

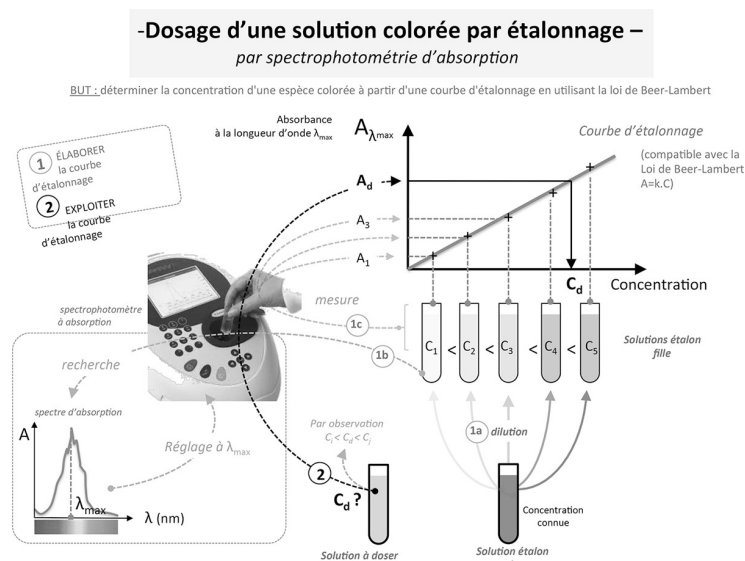
Cette présentation « adjacente » implique que l'élève devine les relations entre chaque aspect de la procédure, ce qui représente un coût cognitif inutile.

Nous souhaiterions mettre davantage de profondeur dans la compréhension de cette connaissance procédurale au travers d'une trace écrite qui :

mettre en exergue les liens fonctionnels qu'entretiennent entre elles les différentes étapes (but, action et moyen) ;

minimise la charge cognitive inutile en convoquant le principe *l'effet d'attention partagée* (Sweller, 2010) dans les exemples travaillés.

Figure 86 : Esquisse d'un document d'enseignement-apprentissage de la démarche de « dosage d'une solution colorée par étalonnage »



Ce document peut être élaboré partiellement ou en totalité en fonction du niveau d'engagement cognitif choisi. Il peut l'être à partir ou à la place du « traditionnel » compte rendu.

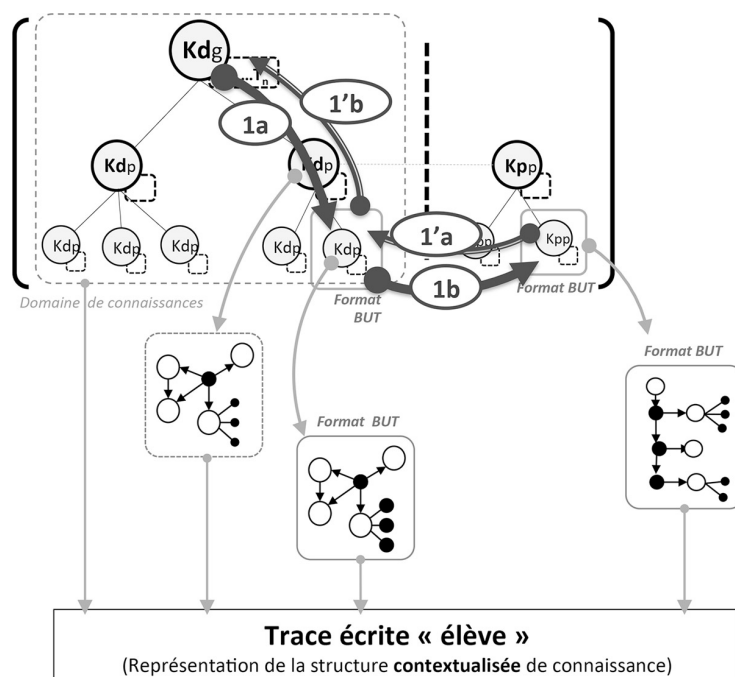
6.6. À propos de cet exemple

Dans cette étude de cas, nous avons voulu mettre en avant un aspect particulier du processus de conception d'un dispositif d'enseignement-apprentissage : celui du travail de cartographie du champ notionnel. Il participe de l'élaboration d'un scénario d'enseignement-apprentissage et des traces écrites pour apprendre.

Comme l'illustre la figure 87, le premier rôle de la carte des formats est d'offrir la possibilité d'établir des parcours d'apprentissage « possibles » (du format déclaratif général vers le format procédural particulier (1a et 1b) ou et inversement (1'a et 1'b)). Ces possibles

permettent de s'adapter aux contraintes (en offrant une panoplie de solutions) et de favoriser la régulation lors la mise en œuvre du dispositif d'enseignement (en offrant la possibilité de changer de solution).

Figure 87 : Schéma illustratif du double rôle du travail de cartographie du champ notionnel



Le second rôle du travail de cartographie, c'est de proposer des représentations explicites de la structure d'une connaissance et/ou d'un domaine de connaissances. Ces représentations, contextualisées ou pas, servent de canevas à l'élaboration de traces écrites « élèves ». Et ceci, indépendamment du parcours d'apprentissage établi.

7. ENSEIGNER LA LECTURE D'UN SCHEMA CINEMATIQUE EN ENSEIGNEMENT TECHNOLOGIQUE, AU LYCEE

7.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'un savoir procédural et de son pendant déclaratif. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le champ notionnel et le savoir scolaire.

Comment utiliser notre modèle de connaissance $CsD = \{\text{Format K ; T\}}$ pour caractériser le savoir et planifier un parcours d'apprentissage.

Comment convoquer des connaissances issues de la recherche pour caractériser le savoir et planifier un parcours d'apprentissage.

Comment transformer un parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement.

Comment utiliser le processus de transfert pour enseigner un savoir d'expert (ou la « main cachée » du processus d'assimilation).

7.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Cet enseignement relève des savoirs en technologie mécanique et s'adresse à des lycéens du cycle terminal. Le savoir à enseigner concerne la représentation schématique des objets technologiques et plus précisément un type de schéma : le schéma cinématique. Le programme d'enseignement précise que l'apprentissage concernant

les schémas se limite au mode lecture et interprétation sur des systèmes (*i.e.* un objet technologique de type mécatronique).

7.3. Définir le contenu à enseigner

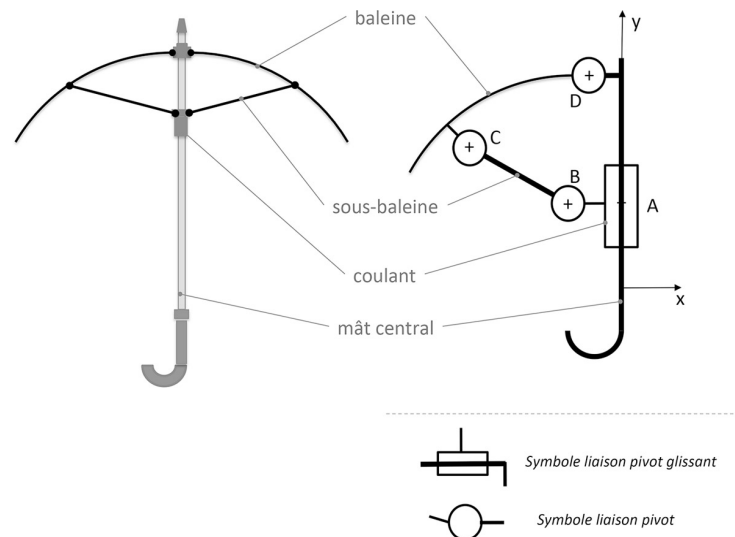
7.3.1. De la commande au champ notionnel

Le libellé du programme d'enseignement articule trois termes à partir desquels nous pouvons définir le champ notionnel : « schéma cinématique », « lecture » et « interprétation sur le système ».

Le terme de « schéma cinématique » renvoie tout d'abord au concept de « schéma ». Un schéma est un dessin, un tracé sur lequel figurent les éléments essentiels d'un objet, d'un ensemble complexe, d'un phénomène, d'un processus et destinés à faire comprendre sa conformation et/ou son fonctionnement (Dictionnaire Larousse).

Le schéma cinématique est schéma mécanique explicatif destiné à traduire le fonctionnement cinématique de l'objet technologique (Vezin, 1986), plus précisément de sa partie opérative. En d'autres termes, il explique comment fonctionne la partie mécanique de l'objet. Il établit une représentation claire du mécanisme étudié afin de mettre en évidence les liaisons mécaniques à un ou plusieurs degrés de liberté intervenant dans la transmission du mouvement entre les solides (*i.e.* les pièces constitutives de l'objet) (Benielli *et al.*, 1996). La figure 88 montre le schéma cinématique du mécanisme d'ouverture d'un parapluie. Cet exemple n'est pas représentatif du type de système étudié par les élèves à ce niveau de formation, mais nous l'avons choisi pour ses qualités pédagogiques.

Figure 88 : Représentation d'un parapluie : dessin (à gauche) et schéma cinématique (à droite)



Le schéma cinématique est constitué d'une représentation graphique du modèle et d'un paramétrage (caractérisation mathématique des positions des pièces). Les liaisons entre les pièces sont représentées par des symboles normalisés. Les positions relatives des différentes liaisons sont prises en compte. Les pièces apparaissent sous forme de « jonctions matière » (traits) entre les symboles. Seules les pièces indéformables sont représentées.

Comme tout schéma, le schéma cinématique contient des hypothèses simplificatrices : le schéma fait voir le réel non pas tel qu'on le voit, mais tel qu'on le sait être. Il permet aussi de visualiser ce qui n'est pas visuel (effet de concrétisation) et a valeur synoptique (Drouin, 1987). Autrement dit, le schéma cinématique est le squelette de l'objet technologique.

Outre sa fonction explicative (Vezin, 1986), le schéma cinématique permet de modéliser le mécanisme dans le but de résoudre des problèmes techniques. Il est alors un modèle permettant

de faire un calcul dans le domaine de la mécanique du solide indéformable. (Biondi & Cartonnet, 1996). Selon l'objet (but) du calcul (effort ou mouvement), on élabore alors un schéma cinématique d'architecture ou un schéma cinématique minimal. Le schéma d'architecture décrit toutes les liaisons entre les pièces alors que le schéma cinématique minimal précise le mouvement relatif entre pièces par une liaison unique, dite équivalente (Biondi & Cartonnet, 1996). Par exemple, une porte de maison est reliée à son bâti par des gonds, en général au nombre de trois. Le schéma cinématique d'architecture fait apparaître trois liaisons pivots (articulation) alors que le schéma cinématique minimal réduirait l'articulation de la porte à une seule liaison pivot.

Le terme de « lecture » est une tâche qui renvoie au pendant procédural des concepts précédents : « démarche de lecture un schéma », qui se particularise en « démarche de lecture d'un schéma cinématique ».

La lecture d'un schéma est une activité cognitive où il faut décoder des informations pour donner un sens au dessin (Baldy & Weill-Fassina, 1986, dans Hamon, 2009). Cette compréhension n'est ni évidente ni spontanée. C'est une tâche décontextualisée (*i.e.* qui ne nécessite aucune autre ressource) qui consiste à décoder un objet abstrait. Elle met alors en jeu des compétences de décodage d'un modèle par sélection et interprétation d'informations pertinentes (Hamon, 2009).

La fonction d'un schéma cinématique, c'est de décrire le fonctionnement du mécanisme. Dans cette perspective, et selon nous, « Lire un schéma cinématique », c'est décrire le mouvement de chaque pièce induit par le précédent. C'est-à-dire décrire l'enchaînement de relations *cause à effet*. Cela nécessite d'inférer le(s) mouvement(s) possible(s) de la pièce (relatif et absolu) à partir du

décodage du symbole de la liaison et de l'interaction avec le mouvement possible d'une autre pièce adjacente.

Afin d'aider l'élève à résoudre cette tâche de résolution de problème, nous proposons ici une esquisse du contenu procédural :

Le résultat attendu est une description sous forme de phrases des différentes étapes de la transformation du mouvement de la « pièce(s) d'entrée » du mécanisme en mouvement de la « pièce(s) de sortie ».

Pour cela, réaliser les actions suivantes :

Pour un symbole de liaison donné, se remémorer le nom de la liaison et les mobilités associées (sinon utiliser le catalogue des liaisons).

Pour un couple de pièces et un symbole donné, indiquer le(s) mouvement(s) relatif(s) possible(s) à l'aide d'une flèche(s) sur le schéma.

Identifier la pièce fixe.

Pour une pièce donnée et les symboles associés, indiquer le(s) mouvement(s) absolu (s) possible(s) à l'aide d'une flèche(s) sur le schéma.

Identifier une « pièce entrée » et une « pièce(s) sortie » du mécanisme.

Pour un mouvement de la « pièce d'entrée », déduire le mouvement absolu possible de la pièce(s) en liaison. Puis, continuer de pièce en pièce, jusqu'à la pièce(s) de sortie. Il est possible de commencer la recherche par le mouvement de la « pièce de sortie ».

Dessiner le schéma dans une autre position.

Le terme d'« interprétation sur le système » renvoie à la relation qu'entretient le schéma cinématique avec l'objet réel : à quelle partie du réel correspond-il ?

Le schéma est une simplification du réel. Notamment, il réduit le nombre d'éléments du mécanisme. Par exemple, un trait de « jonction

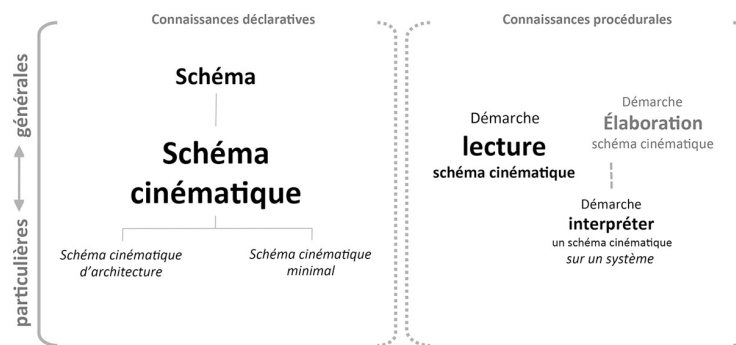
matière » peut représenter plusieurs pièces. On parle alors de « classe d'équivalence ». C'est le cas pour la baleine du parapluie, qui est représentée par un trait alors qu'elle est constituée en général de quatre pièces.

Cette mise en lien du modèle avec le réel est une activité que l'on retrouve dans la schématisation. Autrement dit, cette tâche d'interprétation peut être perçue comme une activité *précurseur* (Bastien, 1997) de l'élaboration d'un schéma. L'« interprétation sur le système » est donc une tâche d'apprentissage qui prépare la construction d'une nouvelle connaissance.

7.3.2. À quelle structure de connaissance appartient le savoir à enseigner ?

Ce recueil d'informations concernant les termes de « schéma cinématique », « lecture » et « interprétation sur le système », nous permet d'établir une première représentation du notionnel dans lequel s'inscrit le savoir à enseigner (cf. figure 89).

**Figure 89 : Carte des formats du champ notionnel
« schéma cinématique »**



Pour mener à bien cette « analyse de la matière », en complément d'une transposition didactique ascendante (Schubauer-Leoni dans

Wallian *et al.*, 2008), nous avons éprouvé le besoin d'interroger la littérature scientifique à propos des apprentissages et de l'enseignement de la lecture et d'élaboration d'un schéma, en général, et du schéma cinématique, en particulier.

Notre attention a été attirée par une étude menée par Biondi et Cartonnet (1996) sur les stratégies d'élaboration d'un schéma cinématique. Les auteurs rapportent que la schématisation cinématique peut relever de deux types de stratégies : une stratégie dite « analytique » utilisée par les débutants et une stratégie dite « analogique » utilisée par les experts. Cette dernière se caractérise par la mobilisation de schémas cinématiques mémorisés : les déclencheurs. Ces schémas correspondent à ceux de modèle de mécanismes de transmission de mouvement (ces mécanismes relèvent du champ des solutions technologiques). Les auteurs précisent qu'il est tout à fait envisageable de prévoir une activité où le professeur et les élèves « experts » constituent une base de données de ces schémas.

Nous décidons de convoquer cette connaissance sur l'élaboration d'un schéma et de la transposer à la lecture d'un schéma. Cela a une double conséquence.

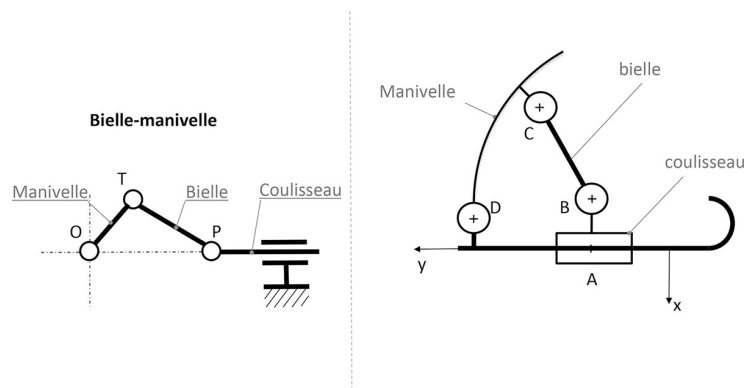
Tout d'abord, il nous faut envisager un autre format procédural à la démarche de lecture d'un schéma cinématique : une « lecture analogique » qui se distinguerait d'une « lecture analytique ». Au même titre que la méthode de lecture globale se distingue de la méthode de lecture syllabique. Dans cette « stratégie analogique », le déclencheur, une fois identifié, permet de remplacer un ensemble de relations *cause à effet* par une seule. C'est-à-dire de trouver le sens d'une partie d'un TOUT. Le déclencheur, en tant que schéma, a valeur d'économie cognitive. Il exprime de façon synthétique un ensemble

de données, allégeant ainsi la charge mnémonique pour l'élève (Peraya, 1995).

L'autre conséquence concerne le pendant déclaratif de la démarche de lecture d'un schéma cinématique. Les déclencheurs se posent comme des formats particuliers du concept de schéma cinématique.

Parmi les déclencheurs, on peut distinguer les liaisons équivalentes (en série et en parallèle) et les mécanismes comme les réducteurs, des mécanismes de translation à « vis-écrou », des mécanismes à barres, comme le parallélogramme déformable ou le système bielle-manivelle. D'ailleurs, comme le montre la figure 90, le mécanisme d'ouverture d'un parapluie relève du déclencheur « système bielle-manivelle ».

**Figure 90 : Deux formes schématiques du déclencheur
« système bielle-manivelle »**



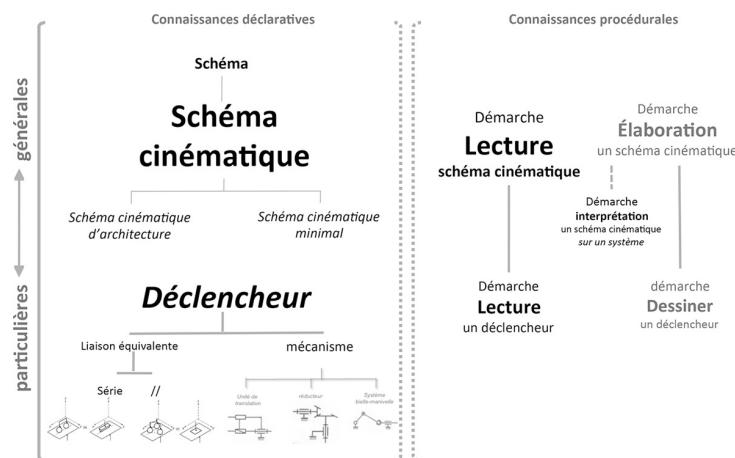
Ces « déclencheurs » sont des connaissances d'expert issues de la pratique de la tâche de lecture de schéma cinématique. Elles contribuent à l'efficacité de la tâche (c'est-à-dire l'optimisation des outils mis en œuvre pour parvenir à un résultat). Par voie de

conséquence, nous pouvons définir la compétence à « lire un schéma cinématique » sous la forme :

$$CsD_{\text{Schéma_Cinématique}} = \{ \text{Lecture d'un schéma cinématique ; } K_{\text{Schéma_Cin}} + \text{Déclencheurs} \}.$$

Cette connaissance particulière, issues des recherches en didactique de la discipline, nous permet d'enrichir le contexte notionnel dans lequel s'inscrit le savoir à enseigner, et d'en préciser la *carte des formats de connaissance* (cf. figure 91).

Figure 91 : Carte des formats du champ notionnel « schéma cinématique »



7.3.3. Quelle est l'utilité de la connaissance ?

Afin d'anticiper sur la nature des tâches d'apprentissage (élaboration ou assimilation), nous avons cherché à caractériser l'utilité de ces formats de connaissances. Ce travail a vocation à modéliser le champ notionnel en termes de Connaissances spécifiques de Domaine (CsD = Ensembles de couples {Format K ; Tâche T}). Ce champ notionnel (cf. figure 93) peut être spécifié par un domaine

$D_{Schéma_cinématique}$ de connaissances spécifiques au schéma cinématique
 $CsD_{Schéma_cinématique}$ au sein duquel :

le **concept de « schéma cinématique »** se caractérise par une information $K_{Schéma_cin}$ qui permet de réaliser (notamment) les deux tâches suivantes : expliciter le concept et reconnaître le concept. Cette tâche de reconnaissance mobilise une forme procédurale $Kp_{Schéma_cin}$ de l'information $K_{Schéma_cin}$. Elle permet aussi d'élaborer la procédure de lecture d'un schéma cinématique ainsi que celle d'interprétation sur un système (notamment, la tâche de reconnaissance des classes d'équivalence).

Ce format de connaissance peut être formalisé par les couples ($Kd_{Schéma_cin}$; Explicitation du concept), ($Kp_{Schéma_cin}$; Reconnaissance du concept), ($Kd_{Schéma_cin}$; Élaboration de la procédure de lecture d'un schéma cinématique) et ($Kd_{Schéma_cin}$; Élaboration de la procédure d'interprétation sur un système). L'information $Kd_{Schéma_cin}$ est une trace littérale, qui correspond au savoir scolaire.

le **sous-concept de « déclencheur »** se caractérise par une information $K_{déclencheur}$ qui est une typologie (correspondant à une structure hiérarchique de connaissance contextualisée). Cette information est de nature figurative (la représentation graphique du modèle).

On peut noter tout d'abord la relation de réciprocité entre cette information $K_{déclencheur}$ et celle $K_{Schéma_cin}$ du concept de schéma cinématique. En effet, l'information $K_{Schéma_cin}$ permet d'élaborer l'information $K_{déclencheur}$.

Mais cette information $K_{déclencheur}$ permet d'enrichir le concept de schéma cinématique, en ce sens qu'un schéma cinématique peut être constitué de déclencheurs.

Cette information $K_{\text{déclencheur}}$ permet de réaliser une tâche de reconnaissance d'un « déclencheur » au sein d'un schéma cinématique d'un système (via un processus gestaltien) et contribue ainsi à une lecture analogique du schéma. Mais elle participe aussi de l'élaboration de connaissances d'un autre champ de la technologie : celui des solutions technologiques. Elle concourt aussi à l'enrichissement du concept de schéma cinématique, en ce sens qu'un schéma cinématique peut être constitué de déclencheurs.

Ce format de connaissance peut être formalisé par les couples ($Kd_{\text{Déclencheur}}$; Explicitation d'un déclencheur particulier) ($Kp_{\text{Déclencheur}}$; Reconnaissance d'un déclencheur particulier), ($Kd_{\text{Déclencheur}}$; Élaboration du concept de schéma cinématique, par enrichissement) et ($Kd_{\text{Déclencheur}}$; Élaboration du concept de solutions technologiques). L'information $Kd_{\text{Schéma_cin}}$ est une trace littérale qui correspond au savoir scolaire qui sera institutionnalisé.

La **démarche « lire un schéma cinématique »** se caractérise par une information procédurale $Kp_{\text{Lecture_Schéma_cin}}$ qui permet de réaliser (notamment) les deux tâches suivantes : réciter (restituer par cœur, expliciter) la démarche et décrire le fonctionnement cinématique d'un système. L'information procédurale $Kp_{\text{Lecture_Schéma_cin}}$ se décline en deux informations : $Kp_{\text{Lecture_analytique}}$, propre au novice, et $Kp_{\text{Lecture_analogique}}$, propre à l'expert. L'information $Kp_{\text{Lecture_analogique}}$ est fonction des connaissances expertes sur les déclencheurs : $Kp_{\text{Lecture_analogique}} = f(K_{\text{Déclencheur}})$.

Ce format procédural de connaissance peut être formalisé par les couples ($Kp_{\text{Lecture_Schéma_cin}}$; Récitation de la procédure) et ($Kp_{\text{Lecture_Schéma_cin}} = Kp_{\text{Lecture_analytique}} + Kp_{\text{Lecture_analogique}}$; Description du fonctionnement cinématique d'un système). L'information $Kd_{\text{Schéma_cin}}$ est une trace littérale qui correspond au savoir scolaire qui sera institutionnalisé.

Nous avons considéré que la reconnaissance d'un déclencheur dans la procédure de lecture d'un schéma cinématique constituait un enrichissement de cette procédure (*i.e.* un apport d'une étape supplémentaire : « existe-t-il des déclencheurs dans le schéma »). Mais, il est tout à fait possible de le considérer comme une création de macro-opérateurs, c'est-à-dire comme le résultat d'un processus de macroproductions (ou compilation) à l'œuvre dans la phase associative de la procéduralisation (Heurley, 2014). Dans ce cas, il contribue à optimiser le format procédural (en réduisant le nombre d'étapes), mais nécessite que l'identification et la lecture du déclencheur soient automatisées.

Le **savoir-faire « lire un déclencheur »** est un format particulier de la démarche de lecture mais aussi une de ces composantes. En effet, il participe de l'optimisation de la démarche de lecture d'un schéma cinématique (lecture analogique). C'est pourquoi ce savoir-faire doit aussi relever de l'automatisme. Dans ce cas, l'information $Kp_{\text{Lecture_Déclencheur}}$ se réduit à son but, c'est-à-dire à énoncer le fonctionnement cinématique du déclencheur sous sa plus simple expression : « tel mouvement d'entrée implique tel mouvement de sortie ». Par exemple, le savoir-faire « lire le déclencheur *système bielle-manivelle* » revient à énoncer l'expression « la rotation de la manivelle implique la translation du piston et inversement ».

Ce format de connaissance peut être formalisé par les couples ($Kp_{\text{Lecture_Déclencheur}}$; Description du fonctionnement cinématique d'un déclencheur) et ($Kp'_{\text{Lecture_Déclencheur}}$; Élaboration de la procédure de lecture analogique d'un schéma cinématique).

7.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

Cet enseignement a pour double objectif de rendre capable l'élève de lire un schéma cinématique et de caractériser la relation (de simplification) qu'il entretient avec le système réel qu'il modélise.

7.4.1. Définir le parcours d'apprentissage

7.4.1.1. Quels buts d'apprentissage ? Quels processus d'apprentissage ?

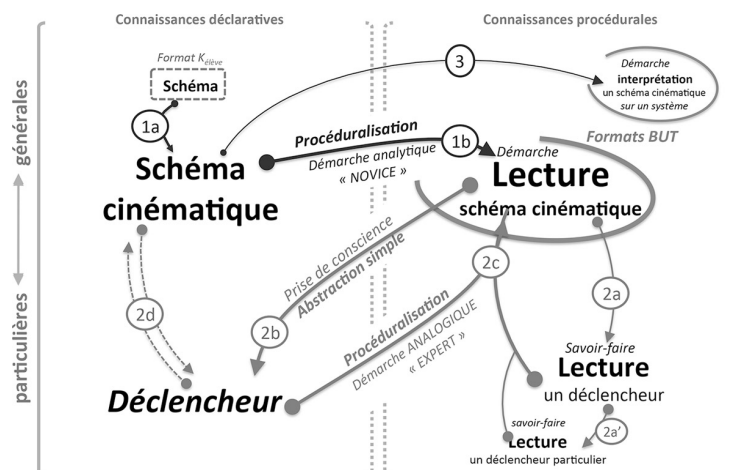
Nous positionnons ce nouvel apprentissage comme un approfondissement du concept de schéma.

Afin d'atteindre les objectifs pédagogiques, nous avons arrêté le parcours d'apprentissage défini par la figure 92. Il s'articule autour de trois *formats-BUT* :

la démarche analytique « NOVICE » pour lire un schéma cinématique,
la démarche analogique « EXPERT » pour lire un schéma cinématique,

la démarche pour interpréter un schéma cinématique sur un système.

**Figure 92 : Parcours d'apprentissage du champ notionnel
« schéma cinématique »**



La première partie du parcours d'apprentissage a pour objet l'apprentissage de la « démarche analytique de lecture » (celle du novice). Nous décidons de nous appuyer sur le « concept de schéma », qui est une connaissance déjà élaborée (« Format $K_{élève}$ »), pour atteindre ce premier *format-BUT*. Cela nous conduit à passer par l'élaboration du « concept schéma cinématique », via une *particularisation* du « concept de schéma » (processus 1a), pour ensuite le *procéduraliser* (processus 1b).

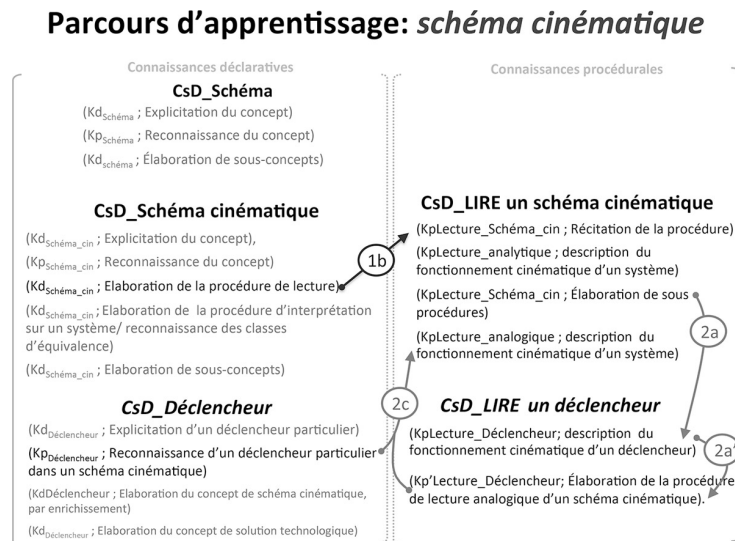
La deuxième partie du parcours d'apprentissage vise l'apprentissage de la « démarche analogique de lecture » (celle de l'expert). Cet apprentissage nécessite de construire, d'une part, une « routine de lecture d'un précurseur » et une « routine de reconnaissance d'un déclencheur au sein d'un schéma cinématique », d'autre part (processus 2c). La « routine de lecture d'un déclencheur » relève d'une *automatisation* du « savoir-faire lire un déclencheur » (processus 2a'). Ce savoir-faire est construit à partir de la *particularisation* de la « démarche analytique de lecture » (processus 2a). La « routine de reconnaissance d'un déclencheur au

sein d'un schéma cinématique » repose sur la construction du « sous-concept de déclencheur ». Pour cela, nous avons décidé de mettre à profit la *mise en pratique* de la « démarche analytique de lecture » (phase de transfert) et de nous appuyer sur un processus de *prise de conscience* et plus précisément sur une *abstraction simple* des schémas cinématiques étudiés (processus 2b). Enfin, un enrichissement mutuel (*particularisation* et *généralisation* ; processus 2d) entre le « concept de schéma cinématique » et le « sous-concept de déclencheur » viendra clore cette phase d'apprentissage.

La troisième et dernière partie du parcours d'apprentissage conduit à l'élaboration de la « démarche d'interprétation sur un système » via une procéduralisation du concept de schéma cinématique (processus 3).

Nous avons cherché plus de profondeur à la cohérence du parcours d'apprentissage, en précisant les interactions entre les formats de connaissance. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur le travail précédent de caractérisation des formats-BUT, en termes d'utilité (c'est-à-dire en termes de Connaissances spécifiques d'un Domaine (CsD) du champ notionnel). Nous l'avons traduit sous la forme d'une carte des formats de connaissance, comme l'illustre la figure 93. Chaque format de connaissance est décrit comme un ensemble de couples {Format K ; Tâche T}. Cette formalisation permet de mettre en exergue l'utilité d'un format de connaissance, dont celle de contribuer à élaborer un autre format de connaissance (c'est-à-dire une tâche didactique).

Figure 93 : Parcours d'apprentissage du CsD « schéma cinématique »



Les processus d'apprentissage apparaissent comme la mise en lien de l'information K d'une CsD avec l'information K d'une autre CsD, via une tâche didactique d'élaboration de connaissance. Par exemple, l'information $Kd_{Schéma_cin}$ permet d'élaborer l'information $Kp_{Lecture_Schéma_cin}$.

7.4.2. Définir le parcours d'enseignement-apprentissage

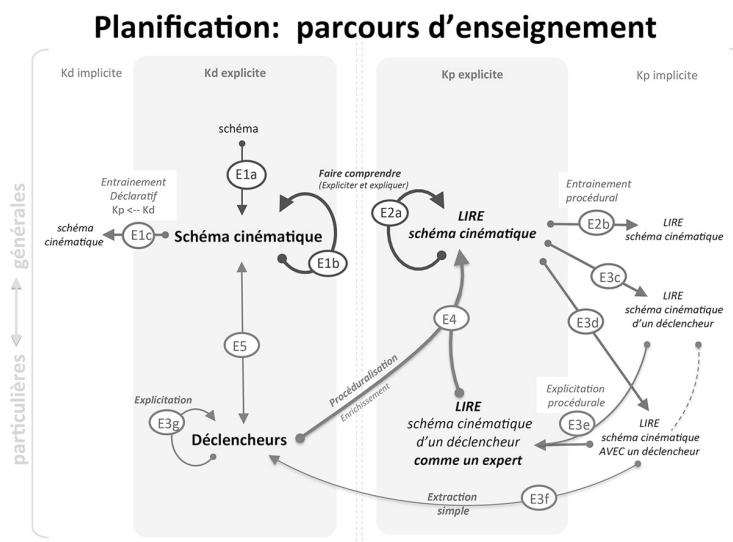
Pour la suite, et pour des raisons de clarté de notre discours, nous limitons volontairement notre propos au parcours d'enseignement de la procédure de lecture d'un schéma cinématique.

7.4.2.1. Du parcours d'apprentissage vers le parcours d'enseignement

La lecture d'un schéma cinématique n'a rien de trivial : sa nature décontextualisée et l'usage de codes techniques normalisés n'en permettent pas un décodage intuitif (Fischbein, 1970 dans Peraya,

1995). Selon nous, et comme le suggèrent Biondi et Cartonnet (1996), la conceptualisation des « déclencheurs » nécessite d'être encadrée au regard des enjeux didactiques (optimisation des procédures de lecture et de schématisation et construction d'autres savoirs technologiques), mais aussi ceux d'économie cognitive dans un contexte scolaire contraint par la durée d'enseignement.

**Figure 94 : Parcours d'enseignement du champ notionnel
« expression littérale »**



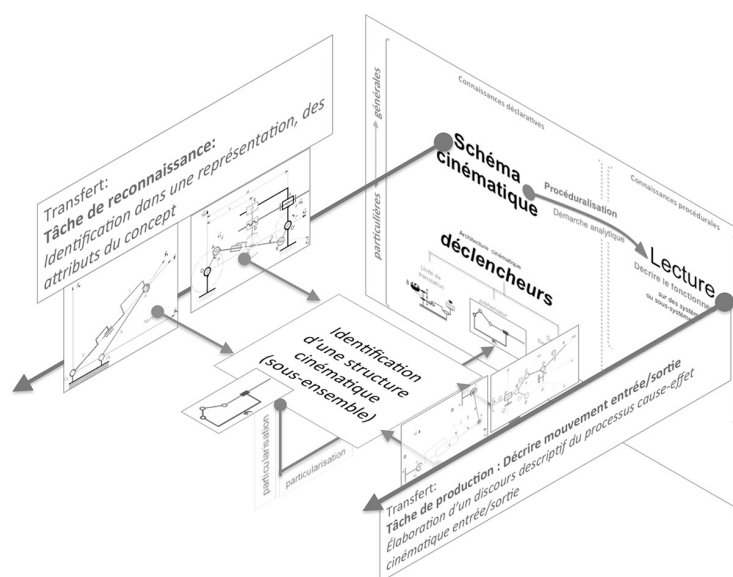
En conséquence de quoi, pour esquisser un parcours d'enseignement (cf. figure 94), nous avons donc décidé de « prendre à notre compte » :

L'élaboration des formes déclaratives de chacun des formats de connaissances du parcours d'apprentissage pour en faire des savoirs scolaires.

Les processus de *conceptualisation* (1a) et de *procéduralisation* (1b) conduisant à la « procédure analytique de lecture » (celle du novice). Pour ce faire, ces apprentissages seront soutenus par des processus

d'enseignement de *particularisation* (processus E1a) et de *Faire comprendre* (processus E1b et E2a). Le *transfert* de ces connaissances sera soutenu par un processus d'*entraînement déclaratif* (processus E1c) et un processus d'*entraînement procédural* (processus E2b). Leur planification répondra aux prescriptions issues de la théorie de la charge cognitive : notamment aux effets de disparition progressif du guidage, comme le problème résolu ou le problème à compléter (Sweller, 2010) et en augmentant progressivement la complexité des schémas cinématiques à étudier (Vezin, 1972).

Figure 95 : Illustration du processus d'enseignement du concept de déclencheur, via la « main cachée » du processus d'assimilation



Les processus de *particularisation procédurale* (2a), de *prise de conscience* (2b) et d'*enrichissement procédural* (2c) conduisant à la « procédure analogique de lecture » (celle de l'expert). Pour soutenir l'élaboration des connaissances liées aux « déclencheurs », nous mobiliserons « la main cachée » du processus d'*assimilation* : le

macro-parcours E3c-E3d-E3e pour le volet procédural et le macro-parcours E3c-E3d-E3f-E3g pour le volet déclaratif (cf. figure 95). L'enrichissement procédural sera soutenu par le processus E4.

7.5. À propos de cet exemple

L'étude de cas exposée ici a pour ambition d'illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement-apprentissage et notamment le travail de cartographie du champ notionnel qui participe de l'élaboration d'un parcours d'enseignement-apprentissage.

Le travail présenté ne constitue que les fondations du dispositif d'enseignement. Il demande à être complété d'une recherche d'un dispositif de motivation et de ressources pour apprendre et enseigner

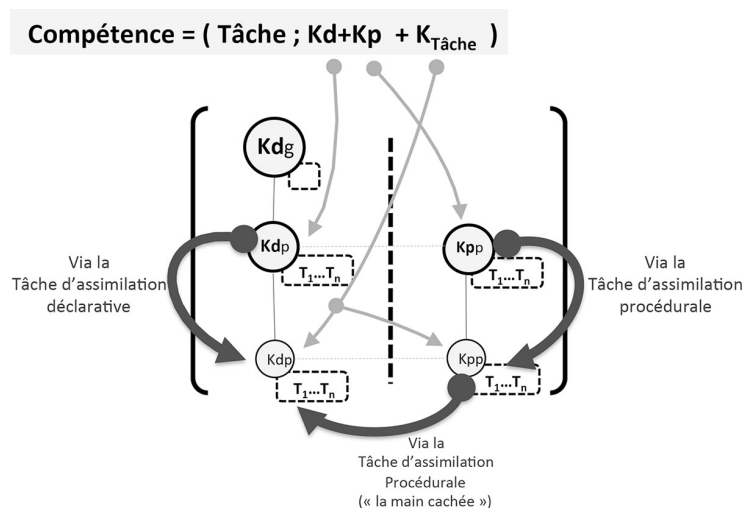
Mais au travers de cet exemple, nous avons voulu mettre en exergue l'utilisation, lors de la planification, des connaissances spécifiques à l'expert : les connaissances issues de la pratique de la tâche ($K_{\text{t\^a}che}$). Ces connaissances relèvent d'une économie cognitive pour l'élève. Nous rappelons ici que ces connaissances sont identifiables grâce à la mise en œuvre d'un processus IP de prise de conscience didactique (cf. chapitre 3 « Théorie de l'acte de concevoir »).

Comme l'illustre la figure 96, le travail commence par une caractérisation de la compétence visée : la tâche T, les connaissances déclaratives (K_d) et procédurales (K_p) qu'elle mobilise et les connaissances issues de la pratique de la tâche ($K_{\text{t\^a}che}$).

Ces dernières, de nature déclarative et/ou procédurale, viennent enrichir le champ notionnel de connaissances particulières (K_{dp} et/ou K_{pp}). Afin de s'inscrire dans le principe d'économie cognitive, ces connaissances seront élaborées via des tâches d'assimilation et

soutenues par des processus d'enseignement de type *extraction* et *explicitation*. Autrement, dit les processus d'apprentissage, d'*abstraction* et de *prise de conscience* seront entièrement « pris à son compte » par l'enseignant.

Figure 96 : Principe d'utilisation des connaissances d'expert pour planifier



8. ENSEIGNER LE CONCEPT D'ACCORD DES METS ET DES BOISSONS EN ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL, AU LYCÉE

8.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'un savoir à caractère subjectif, nécessaire à l'acquisition de savoir-faire professionnels. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment caractériser le savoir scolaire.

Comment élaborer un parcours d'enseignement-apprentissage.

Cet exemple a été traité avec la précieuse collaboration de Dominique Alvarez, formateur d'enseignants en hôtellerie-restauration.

8.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Cet enseignement a pour contexte la formation de futurs professionnels du service en restauration, en charge du conseil des boissons. Il porte sur la tâche professionnelle de sommellerie.

Le but est d'enseigner le concept d'« accord entre des mets et des boissons ». Cette connaissance est mobilisée dans la compétence « *proposer des accords mets-boissons ou boissons-mets en respectant les attentes de la clientèle (goût, budget, nouveauté...)* ».

La volonté de l'équipe enseignante est de proposer des activités expérimentales de découverte (dégustation-analyse sensorielle).

8.3. Définir le contenu à enseigner

8.3.1. De la commande au champ notionnel

Pour définir le savoir à enseigner, nous allons commencer par identifier les connaissances générales nécessaires à la réalisation de la tâche professionnelle. Nous spécifierons ensuite, à l'appui d'un travail de cartographie, le domaine de connaissances qui accueille le savoir scolaire et celui qui caractérise son contenu.

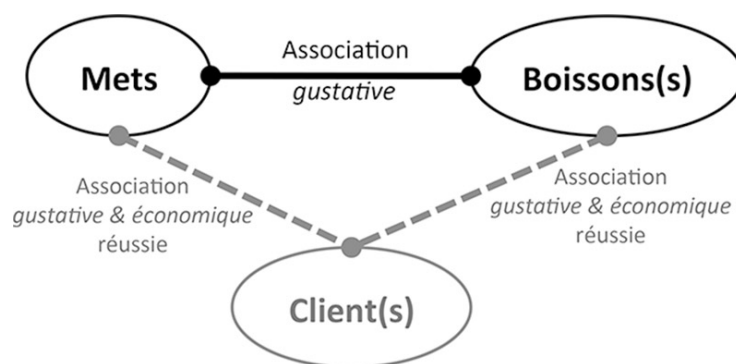
La compétence qui mobilise les connaissances à propos des « accords mets & boissons » relève du conseil gastronomique

(cf. figure 97) : conseil de validation ou de délégation (Hatchuel, 1996) d'une promesse de plaisir.

Il s'agit de trouver la juste association entre un mets et un client(s) et entre une boisson(s) et un client(s). La justesse relève des goûts et du pouvoir d'achat du client(s) mais aussi de l'association gustative entre le(s) mets et la boisson(s).

Les connaissances à propos des « accords mets-boissons » permettent de caractériser cette association gustative. C'est-à-dire cette harmonie des mélanges de saveurs, qui donnera une sensation agréable en bouche.

Figure 97 : Représentation conceptuelle du conseil gastronomique



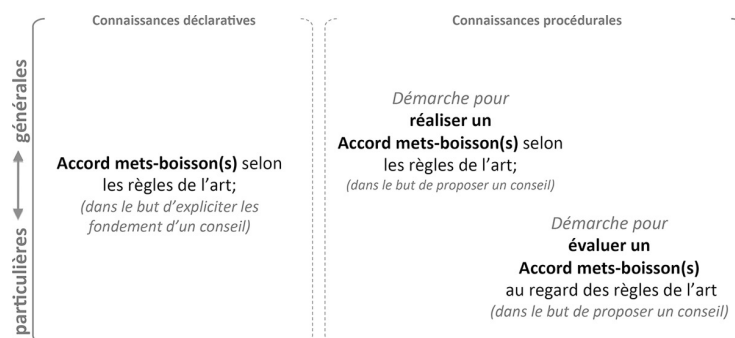
Ces connaissances sont utiles, le plus souvent, pour :
proposer au client une association entre un mets choisi(s) et une boisson(s) proposée(s) à la « carte de la cave » du restaurant. Cette tâche d'appariement, par complémentarité, nécessite de savoir associer un mets et une boisson(s), dans les règles de l'art. Autrement dit, mobiliser le savoir-faire « *savoir réaliser un accord mets-boisson(s) selon les règles de l'art* ».

(in)valider l'association entre un mets choisi(s) et une boisson(s) proposée(s) par un client(s). Cette tâche de reconnaissance (ou pas) d'un appariement nécessite de *savoir évaluer une association entre un mets et une boisson(s), au regard des règles de l'art*. Autrement dit, mobiliser le savoir-faire « *savoir évaluer un accord mets-boisson(s), au regard des règles de l'art* ».

explicitier les fondements du conseil promulgué, c'est-à-dire préciser les principes qui ont conduit à proposer une association gustative ou à la (in)valider. Cette tâche de restitution de connaissance, avec pertinence, nécessite de *connaître les associations d'un mets et une boisson(s), qui respectent les règles de l'art*. Autrement dit, mobiliser le savoir « *accord mets-boisson(s), selon les règles de l'art* ».

Cette première analyse de la connaissance nous a permis d'identifier des formats de connaissance liés au terme « accord mets et boisson(s) » (cf. figure 98a).

**Figure 98a : Esquisse d'une carte des formats à propos
« accord des mets & des boissons »**



Nous allons maintenant nous attacher à caractériser les connaissances déclaratives liées au terme « accord des mets et des boissons » (qui est le savoir à enseigner). C'est-à-dire préciser, d'une part, *le contexte conceptuel* dans lequel il s'inscrit (i.e. la structure

d'accueil) et la *structure conceptuelle* qui le précise, d'autre part. Autrement dit, « à quelle structure de connaissances appartient-il ? » et « quelle est sa propre structure de connaissance ? »

8.3.2. À quelle structure de connaissance appartient le savoir à enseigner ?

Ce terme apparaît, avant tout, comme un format de connaissance particulier du concept d'« accord ». Pour déterminer le sens à donner à ce concept général (*i.e.* identifier l'attribut(s) définitoire(s) qui régit la filiation conceptuelle), nous avons interrogé les connaissances du domaine professionnel à propos de l'« accord mets & vins ».

De grands spécialistes du domaine évoquent un « *mariage réussi et partagé* » (Delmas, 2016), « *une rencontre [...] d'où naissent les plus belles harmonies, celles qui exaltent les arômes* » (Puisais & Pierre, 1985), « *une harmonie résultant d'un équilibre dans lequel la boisson n'écrase pas le mets et inversement* » (Pitte, 2017). Ces formulations font écho à une connaissance instituée (Dictionnaire CNRTL) : « un accord est un ensemble de goûts considéré comme formant un tout du point de vue de l'harmonie, une sensation agréable ou bonne ». Selon Kant (Buisson, 2006), le goût est la faculté de juger d'un objet ou d'un mode de représentation sans aucun intérêt, par une satisfaction ou une insatisfaction. Cela relève de notre échange sensible avec le bon, que Kant définit comme solitaire, sensible et subjectif (Stengel, 2015). On n'est donc en présence d'un concept « flou », empirique ou subjectif (Barth, 2011) dont les attributs varient selon l'expérience de chacun (parce que, selon le vieil adage, « les goûts et les couleurs, ça ne se discute pas »). En d'autres termes, un accord est un « mélange qui est bon ». Il est possible de dire en quoi c'est bon, plus difficile de dire pourquoi c'est bon, et encore plus

difficile d'avoir un consensus sur le *quoi* et le *pourquoi* (Defossez, 2014).

Cependant, cette première approche du terme « accord des mets et des boissons » nous renvoie au concept d'« accord » en tant que synonyme d'harmonie, c'est-à-dire un lien de concordance (ou de convenance) entre des choses (Dictionnaire CNRTL). Cette caractéristique définitoire est commune aux concepts particuliers d'« accord en parfumerie », d'« accord en musique » ou encore d'« accord en décoration » et bien sûr celui d'« accord en gastronomie ».

L'« accord des mets et des boissons » est un format particulier d'« accord en gastronomie », c'est-à-dire cette équation associative d'ingrédients, pour lequel on distingue d'autres formats déclaratifs particuliers comme celui de l'« accord des mets et des pains ».

Tous ces concepts particuliers partagent deux caractéristiques :

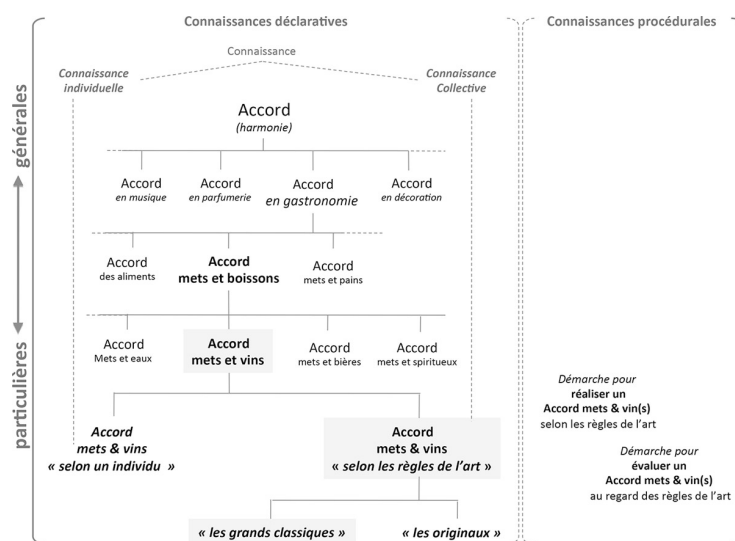
le fait d'être « *une conclusion faisant partie d'un examen global* » (Dictionnaire du vin) mêlant connaissances explicites à propos d'un goût collectif (consensus social) et connaissances implicites, expression d'un goût individuel. Selon Ascott (dans Borrillo et Sauvageot, 1996), certains composés (comme I-valine, alpha D méthyl-mannnopyranoside) sont perçus amers par certains sujets et sucrés par d'autres, de même que les couleurs intermédiaires sont rangées dans l'une ou l'autre catégorie selon les récepteurs des sujets, par exemple le turquoise bleu ou vert ;

le caractère évolutif : ils marquent leur époque et évoluent avec le temps.

Le concept d'« accord des mets et des boissons » peut se décliner en plusieurs en plusieurs catégories, en fonction du type de boisson : eau, vin, bière ou encore spiritueux.

En termes plus techniques, le concept d'« accord des mets et des boissons » est une association harmonieuse entre les qualités organoleptiques d'un plat et d'une boisson (les qualités organoleptiques des aliments sont l'ensemble des propriétés perçues par les organes des sens qui nous permettent de les connaître et de les apprécier). Stengel (2015) définit ce concept comme « *une tentative, dans l'imaginaire des consommateurs, de marier deux produits sensiblement différents ; tandis qu'aucune logique scientifique ne peut justifier ce schéma harmonique* ». Il semblerait que l'on soit davantage en présence de connaissances implicites difficilement explicites (objet de la recherche en sciences des aliments), issues d'apprentissages implicites pour le « bon populaire » Stengel (2015) et explicite pour le « bon élitiste » Stengel (2015).

Figure 98b : Carte des formats de connaissance du champ notionnel « accord des mets & des vins »



Il nous faut donc distinguer ici la connaissance individuelle (attribut d'un individu) et la connaissance collective (attribut d'une

société, d'une collectivité, d'un groupe socioprofessionnel), appelée les « règles de l'art ». Dans le contexte des mets & boissons, ces dernières se déclinent en « grands classiques » et en « originaux ».

Ce recueil d'informations nous permet d'enrichir notre vue globale du *contexte conceptuel* dans lequel s'inscrit le savoir à enseigner, et ainsi préciser la *carte des formats de connaissance* (cf. figure 98b). Cette carte du « pays du savoir » va servir d'appui à élaboration d'un parcours d'enseignement-apprentissage.

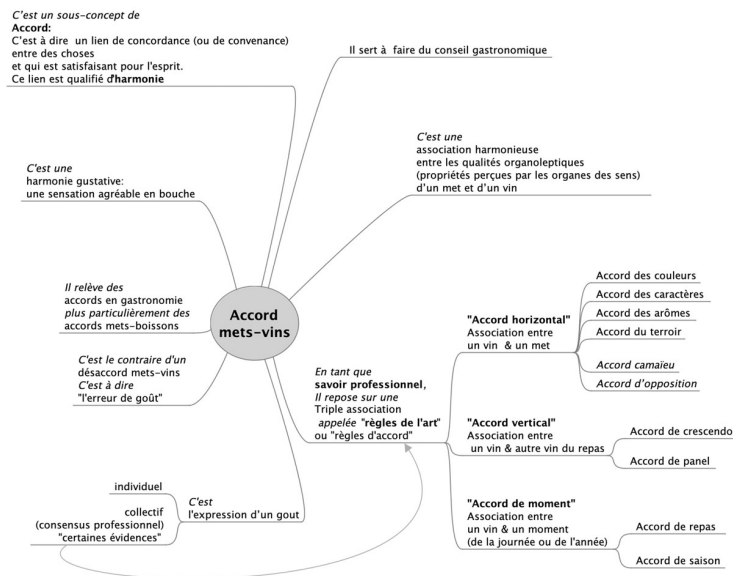
8.3.3. Quelle est la structure de connaissance du savoir à enseigner ?

Sur la base des éléments précédemment recueillis, nous avons ensuite précisé le savoir à enseigner : dire explicitement de quoi est fait ce concept. Pour spécifier le contenu du savoir scolaire d'« accords des mets & vins », comme l'illustre la carte heuristique (figure 99), nous avons plus particulièrement cherché répondre aux questions : à quel domaine de connaissances ce concept appartient-il ? Pourquoi existe-t-il (son but) ? Pour quoi existe-t-il (sa raison d'être) ? À quoi sert-il (sa fonction) ? C'est quoi ? Il est fait de quoi ?

Les connaissances collectives à propos des « accords des mets & vins », constituent un savoir de référence permettent de spécifier ce concept en tant qu'« harmonie sensorielle collective ».

Cet ensemble très éclectique de connaissances s'articule autour de deux grandes catégories : l'« accord horizontal » (harmonie entre un plat et une boisson) et l'« accord vertical » (harmonie entre une suite d'accords en conciliant les vins entre eux).

**Figure 99 : Structure notionnelle du concept
« accord des mets & des vins »**



Parmi les « accords horizontaux », on trouve notamment pour les vins et les mets (ce qui s'applique aussi aux bières) :

L'« accord des couleurs » : les couleurs des vins et des plats sont souvent liées. On va préférer des vins blancs sur des poissons, des volailles ou des viandes blanches et des vins rouges pour du canard ou des viandes rouges.

L'« accord des caractères » : vin léger sur plat léger, vin subtil sur plat raffiné, vin rustique sur plat rustique ou encore vin puissant sur plat au goût prononcé ou épicé.

L'« accord des arômes » : Le plat et le vin doivent se mettre en valeur et non se concurrencer. Ainsi vaut-il mieux éviter un plat parfumé avec un vin parfumé, au contraire, un plat simple s'harmonisera avec un vin au bouquet développé.

Si un plat comporte du vin pour sa réalisation, servir le même vin avec.

L'« accord du terroir » : un plat régional s'accorde en priorité avec un vin de la région, par exemple une bouillabaisse avec un vin blanc de Cassis.

On peut aussi ajouter d'accords « tendance » comme :

L'« accord camaïeu » : le vin et le plat partagent des arômes, c'est une fusion de saveurs semblables.

L'« accord d'opposition gourmande » : le vin et le plat ont des arômes qui s'opposent et font naître de nouvelles sensations gustatives lors de leur rencontre.

On trouve aussi des check-lists d'accords « famille de plat – type de vin (couleur & corps ou tanin, sucre) ».

Parmi les « accords verticaux », on trouve notamment pour les vins et les mets (ce qui s'applique aussi aux bières) :

L'« accord crescendo » : du plus léger au plus puissant, du plus jeune au plus vieux, du plus sec au plus sucré, monter en qualité (pour ne pas faire regretter le vin précédent).

L'« accord de panel » : le vin à bulles (pour la sensation de fraîcheur), puis le vin blanc, le vin rosé, le vin rouge et pour terminer le vin moelleux.

À ces deux grandes catégories d'accord, on peut aussi ajouter celle de l'« accord de moment » :

L'« accord de saison » : un vin rouge puissant et capiteux ne sera pas apprécié pendant un repas estival.

L'« accord de repas » : un vin rouge léger et frais sera mieux apprécié pour un déjeuner qu'un rouge puissant et capiteux.

Ces trois grandes catégories d'« accords des mets et des boissons » constituent par opposition de complément, les « erreurs à ne pas

commettre » qui caractérisent le concept de « désaccord mets & boisson(s) ».

Remarque : ces trois catégories de connaissances sont des formats de connaissances, qui peuvent venir enrichir la carte des formats de connaissances (figure 98b), comme déclinaison du concept « accord mets et vins ».

8.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

L'enseignement à planifier a pour but de rendre capable l'élève d'élaborer le concept d'« accord des mets et des vins *selon des règles de l'art* » (la connaissance collective définie par la profession). Cette connaissance sera utilisée par la suite pour élaborer des connaissances liées au conseil gastronomique.

Pour définir le scénario d'enseignement-apprentissage, nous avons d'abord défini un parcours d'apprentissage, en nous appuyant sur la carte des formats de connaissances (figure 98b). Puis, nous avons transformé ce parcours en parcours d'enseignement-apprentissage, en intégrant un dispositif de motivation. Nous avons utilisé la carte heuristique du concept d'« accord mets & vins » (figure 99) pour décrire ce parcours.

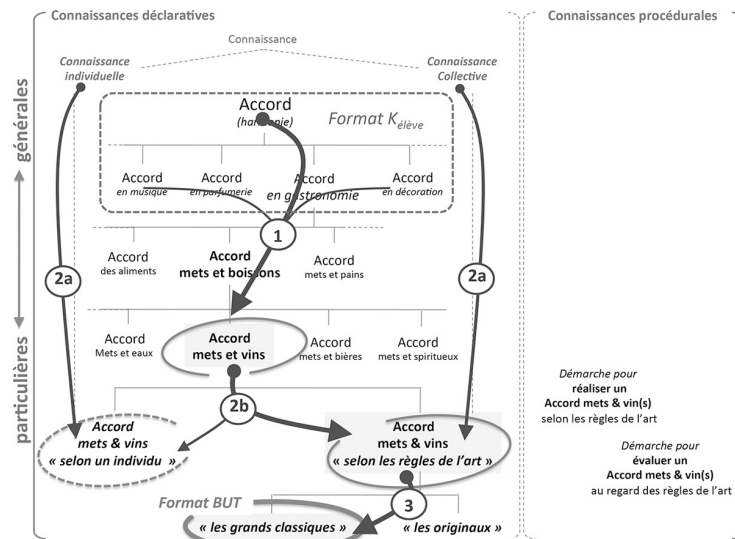
8.4.1. Définir le parcours d'apprentissage

8.4.1.1. Quels formats-BUT ?

Quels processus d'apprentissage ?

Si les accords mets & vins font partie intégrante de notre culture en France, force est de constater que les élèves d'aujourd'hui n'en sont pas des ambassadeurs (Alvarez & Carnuz, 2017).

**Figure 100 : Parcours d'apprentissage du champ notionnel
« accord des mets et des vins »**



Fort de ce constat, nous décidons d'élaborer un parcours d'apprentissage de type *top-down*, qui vise à *particulariser* le concept d'« accord », au sens d'« harmonie ». Ce parcours s'articulera autour de trois tronçons (cf. figure 100) :

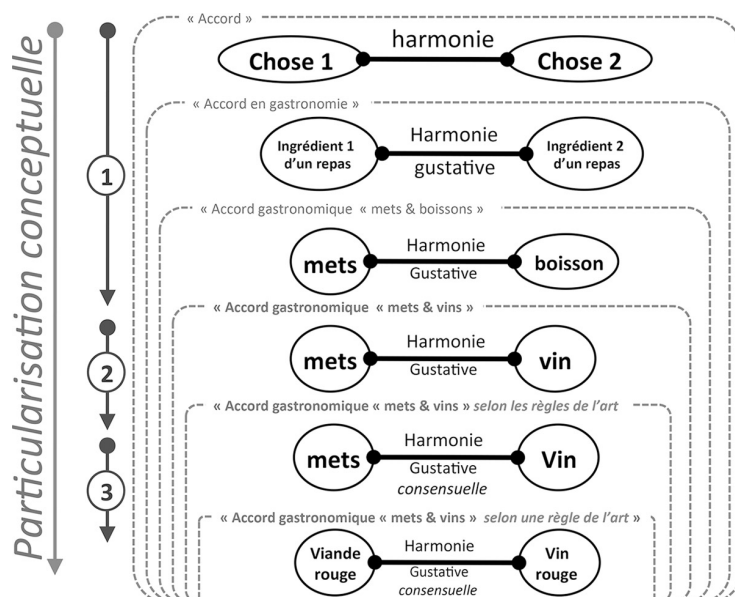
Tronçon 1 : Élaborer le concept d'« accord mets & vins » en prenant appui sur les connaissances des élèves (*Format K_{élève}*) à propos du concept d'« accord » et des sous-concepts d'autres domaines (comme la musique, la décoration, ou encore la parfumerie...).

Tronçon 2 : Élaborer le concept d'« accord mets & vins selon les règles de l'art » en distinguant connaissances individuelles et connaissances professionnelles.

Selon nous, cela constitue le véritable enjeu du parcours : prendre conscience de la (absolue) nécessité de distinguer « connaissances personnelles » et « connaissances collectives ». Pour devenir un professionnel, ce qui est important, c'est de connaître le consensus.

Tronçon 3 : Élaborer les concepts particuliers d'« *accord mets & vins selon les règles de l'art* » en discriminant les connaissances collectives.

Figure 101 : Processus de particularisation du concept d'« accord »



Remarque : comme l'illustre la figure 101, ce parcours de particularisation d'un concept peut être décrit comme un mécanisme d'ajout progressif d'attributs caractéristiques à un attribut définitoire d'une catégorie conceptuelle.

Ce processus de particularisation permet d'explicitier le concept particulier d'« accord mets & vins *selon les règles de l'art* » comme :

une sous-catégorie du concept d'« accord », en ce sens qu'il est un lien de convenance entre des choses et qui est satisfaisant pour l'esprit. Ce lien est qualifié d'harmonie (Dictionnaire Larousse).

une sous-catégorie du concept d'« accord en gastronomie », en ce sens qu'il est un lien de convenance entre les qualités organoleptiques de deux ingrédients d'un repas : un mets et une boisson.

Tout comme en musique, en parfumerie ou en décoration, la satisfaction de l'esprit en gastronomie passe par un sens : ici, le goût (et l'odorat). On parle alors d'harmonie gustative, celle qui « satisfait les papilles ».

Cependant, la qualité de cette harmonie relève de l'appréciation du « beau » (du « bon »). Comme le sous-tend l'adage bien célèbre « du goût et des couleurs, on ne discute pas », et comme le précise Kant, cette appréciation est solitaire, sensible et subjective (Stengel, 2015).

une sous-catégorie du concept d'« accord mets & vins », en ce sens qu'il est un lien de convenance entre deux ingrédients d'un repas : un mets et un vin.

La satisfaction de l'esprit relève certes d'une appréciation du « beau » solitaire, sensible et subjective MAIS cette appréciation peut être partagée. Ce qui en fait une connaissance collective, une référence, c'est-à-dire un savoir, nommé « règles de l'art ».

8.4.2. Définir le parcours d'enseignement-apprentissage

Avant de décider comment nous allons permettre à l'élève de mettre en œuvre le parcours d'apprentissage défini précédemment, nous souhaitons nous interroger sur la manière de l'engager dans ce parcours.

8.4.2.1. Quels buts motivationnels ?

Phase 0 : Engager les élèves dans l'apprentissage.

Afin de donner un sens (une utilité et une nécessité) à l'apprentissage des connaissances liées au concept d'« accord mets & vins », nous allons chercher une tâche qui doit permettre à l'élève de mesurer son déficit de connaissances dans le domaine et

provoquer le besoin de le combler (but de motivation de progrès). Cette tâche d'étude de cas vise à inscrire le concept d'« accord mets & vins » comme une connaissance professionnelle liée au conseil gastronomique.

Nous avons retenu la situation problème suivante : « Expliquer, à un client, le choix des vins d'un menu de type "*Menu Découverte, accord Mets et Vins*" d'un restaurant gastronomique ». Ce libellé sera projeté et visible par les élèves dès leur installation dans la salle de classe : il s'agit d'indiquer implicitement l'objet de l'apprentissage, de capter l'attention des élèves et de les engager cognitivement sous le couvert d'un dialogue qui s'imposerait naturellement. Le but d'enseignement est de *faire expliciter* les connaissances des élèves et de *révéler* l'existence d'un savoir professionnel.

La suite du parcours d'enseignement-apprentissage vise à faire mettre en œuvre, à l'élève, les trois phases du parcours d'apprentissage défini précédemment (cf. figure 100). Il est la traduction d'une « prise à son compte », par l'enseignant et l'élève, des processus d'apprentissage choisis (*i.e.* tâche élève vs tâche enseignant).

Il repose sur les choix de dévolution suivants :

Pour le premier tronçon

Cette première étape d'apprentissage s'appuie sur le concept général d'« accord ». Devoir convoquer des connaissances explicites à propos de ce concept, à la nature très abstraite, ne nous semble pas trivial. Nous avons donc décidé que cette tâche serait prise entièrement à son compte par l'enseignant, avec comme but d'enseignement de *Faire comprendre* ce concept.

Par contre, nous allons demander à l'élève de prendre davantage à son compte le processus de *particularisation* de ce concept, en vue

d'élaborer celui d'« accord mets & vins ». Nous allons l'associer à une tâche cognitive engageante (de niveau *constructif*) qui devrait permettre d'évaluer la compréhension du concept d'« accord ».

Pour le deuxième tronçon

Comme nous l'avons précisé précédemment, selon nous, ce tronçon porte le véritable enjeu du parcours d'apprentissage : l'adhésion de l'élève au consensus. Autrement dit, l'élève doit comprendre que (a) chacun peut avoir un avis (une connaissance) sur le caractère harmonieux d'un accord mets-vin, (b) que cet avis peut être différent d'une personne à une autre, (c) mais qu'il peut être aussi identique. En conséquence de quoi, (d) il existe un avis collectif reconnu par la profession (une connaissance collective, c'est-à-dire un savoir), (e) qui peut être différent d'un avis personnel, (f) mais qu'il est important professionnellement de connaître et d'y adhérer afin « de ne pas commettre d'erreurs de goût ou respecter certaines évidences » (cité par Emmanuel Delmas, Sommelier sur son blog).

Du point de vue des apprentissages, il s'agit d'abord de particulariser les concepts de « connaissance individuelle » et de « connaissance collective », eux-mêmes étant des sous-concepts du concept de « connaissance ». Nous sommes, ici, dans le domaine de la métaconnaissance. Adossé à ce processus, on trouvera le processus de particularisation d'« accord mets & vins » en deux sous-concepts : celui des « accords mets & vins *selon un individu* » et celui des « accords mets & vins *selon les règles de l'art* ».

Nous avons décidé de demander à l'élève de prendre à son compte une partie du processus de *particularisation* : celle qui consiste à créer les deux catégories et à enrichir celle qui concerne « l'individu ». La seconde partie, celle qui consiste à enrichir la

seconde catégorie relative aux « règles de l'art », sera prise à son compte par l'enseignant, avec comme but d'enseignement de *Faire comprendre* ce sous-concept.

Nous avons décidé de soutenir la part du processus de *particularisation* dévolue à l'élève par une tâche de dégustation, typique des activités expérimentales de découverte (dégustation-analyse sensorielle).

Selon Langlois (2010), l'acquisition de ces connaissances relève d'un apprentissage perceptif. L'apprentissage perceptif se produit continuellement dans la vie de tous les jours et peut être défini comme une augmentation de la capacité à extraire de l'information à partir de l'environnement, résultat de la pratique et de l'expérience avec des stimuli venant de cet environnement (Gibson et Gibson, 1955).

Il peut résulter d'instructions explicites et de pratique délibérée dans la discrimination d'échantillons ou d'une expérience relativement passive mais intense pour des échantillons variés appartenant à un domaine (Goldstone, 1998).

Selon Monaco et Guimelli (2008), la dégustation, en tant que rapport praxique avec un objet donné (Abric, 1994, 2001), permet de réduire la « distance à l'objet » et amène les sujets à compléter et à affiner leur connaissance de l'objet. En effet, du point de vue symbolique, consommer du vin renvoie au principe d'incorporation (Fischler, 1990), croyance selon laquelle « en incorporant ce qu'il mange [ou ce qu'il boit], l'être assimile certaines vertus de la chose mangée [ou bue] » (Lahlou, 1994, p. 109, dans Monaco et Guimelli, 2008).

Ainsi, une pratique aussi proximale que la dégustation et un niveau de connaissance approfondi devrait permettre (notamment)

aux sujets d'optimiser la transmission de l'information la concernant et d'étoffer l'argumentation discursive (exemples de cas exceptionnels, de conditions dans lesquelles il est admis de voir les choses différemment, etc.)

Cette tâche d'étude de cas est sans doute la plus pertinente pour qualifier l'association gustative entre les qualités organoleptiques d'un mets et un vin, et, au travers de l'émergence de connaissance personnelle, faire élaborer la catégorie conceptuelle associée. Mais au travers de cette tâche, le but est aussi de faire émerger le consensus, celui qui constituera les « règles de l'art » dans le domaine. Nous décidons donc d'associer à cette tâche d'étude de cas, une tâche d'étude statistique des évaluations individuelles de différents accords mets-vin donné. En d'autres termes, faire définir le goût collectif à partir du goût individuel, via une procédure d'élaboration de connaissance.

Pour le troisième tronçon

Cette dernière étape d'apprentissage s'inscrit en droite ligne du but précédent : préciser les connaissances collectives. L'enjeu est de faire gagner du temps aux élèves, en ce sens où on lui fait part des résultats d'études statistiques « réalisées » sur un ensemble d'individus depuis des années.

Nous avons donc décidé que cette tâche serait prise entièrement à son compte par l'enseignant, avec comme but d'enseignement de *Faire comprendre* ces concepts particuliers, mais aussi de les *faire assimiler*. En effet, la finalité ici réside dans l'acquisition d'une compétence professionnelle liée au conseil gastronomique.

L'ensemble de ces choix exposés ici, nous conduisent au parcours d'enseignement-apprentissage suivant (illustré par la figure 102),

articulé en trois phases (correspondant respectivement aux trois trajets du parcours d'apprentissage) :

Phase 1 : Faire élaborer le concept d'« accord mets & vins » par *particularisation* du concept d'« accord ».

Étape 1.1 : *Convoquer* le concept d'« accord » et *Faire expliciter* les connaissances des élèves à son propos.

Devoir convoquer des connaissances à propos du concept d'accord ne nous semble pas utile spontanément pour un élève.

Pour lever cet obstacle et engager les élèves dans l'apprentissage, nous décidons d'utiliser la situation problème (une énigme) suivante : « *Expliquer ce que veut dire Jacques Puisais à propos des accords mets-vins : une rencontre [...] d'où naissent les plus belles harmonies* ».

La fonction de cette énigme est double :

établir une transition avec la phase d'engagement. Elle convoque un spécialiste du domaine, un professionnel, pour apporter une première information à propos du savoir professionnel.

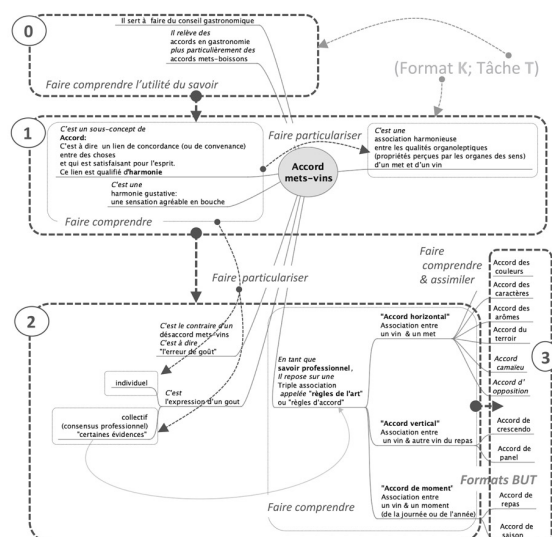
établir l'existence d'un lien sémantique entre « accord » et « harmonie », qui demande à être explicité et expliqué.

Cette tâche d'apprentissage sera étayée par l'enseignant au travers d'un dialogue de questionnement.

Étape 1.2 : *Faire comprendre* le concept d'« accord » :

Tâche enseignement : exposé oral et visuel

Figure 102 : Esquisse du parcours d'enseignement-apprentissage des règles d'« accord des mets & des vins »



Explicitation sous forme de définition verbale et schématique (figure 102).

Explication d'« harmonie » grâce à une formulation adaptée (par exemple : c'est une sensation agréable) et d'un exemple et contre-exemple.

Tâche apprentissage : écoute de cours. Engagement cognitif de niveau *actif* (prise de notes et annotation du photocopié de cours).

Étape 1.3 : *Faire particulariser* le concept d'« accord » afin d'élaborer celui d'« accord mets & vins ».

Tâche apprentissage : tâche de résolution de problème. Engagement cognitif de niveau *constructif*.

BUT : Produire une définition et un schéma du sous-concept.

Tâche enseignement : étayage de la tâche + explicitation d'une définition.

Phase 2 : Faire élaborer le concept d'« accord mets & vins *selon les règles de l'art* » par *particularisation* du concept d'« accord mets & vins ».

Étape 2.1 : *Faire comprendre par prise de conscience déclarative (révélation)* l'attribut « c'est l'expression d'un goût à la fois individuel & à la fois collectif (*i.e.* collectif vs individuel » :

Temps 1 : Collecte des goûts individuels.

Tâche apprentissage : étude de cas. Engagement cognitif de niveau *constructif*.

Évaluation gustative d'association mets-vin. Par exemple, les associations seront établies à partir de mets comme une charcuterie, un poisson et un fromage et croisés avec des vins comme un vin rouge, un vin blanc sec (et/ou un rosé) et vin blanc moelleux. Chaque élève complète un tableau croisé, dans lequel il précise par « OUI », « NON » ou « 0 » si l'association mets-vin goûtée constitue, selon lui, une harmonie gustative (une sensation agréable en bouche).

Tâche enseignement : exposé oral et visuel de la tâche (explicitation et explication)

Temps 2 : Identification de goûts collectifs.

Tâche apprentissage : Résolution de PB. Engagement cognitif de niveau *constructif*.

À partir d'une étude statique des différentes évaluations individuelles, identification d'accords mets-vin plébiscités.

Tâche enseignement : Exposé oral et visuel de la tâche (explicitation et explication)

Temps 3 : Distinction goût personnel et goût collectif.

Tâche enseignement : exposé oral et visuel

BUT : À partir d'accords mets-vin plébiscités, Faire prendre conscience que « pour un accord mets-vin, il existe une connaissance individuelle et une connaissance collective. Ces deux types de connaissances peuvent être en opposition (et en concurrence) ».

Tâche apprentissage : Écoute de cours (prise de notes).
Engagement cognitif de niveau *actif*.

Étape 2.2 : *Faire comprendre l'attribut « règles d'accord » :*

Temps 1 : Institutionnalisation du savoir professionnel.

Tâche enseignement : exposé oral et visuel

BUT : À partir des accords mets-vin plébiscités, faire comprendre le concept accord mets-vin selon les règles de l'art :

« Comme pour votre groupe classe, il existe un goût collectif reconnu par la profession et nommé “règles d'accord mets-vin” et qui appartiennent aux “règles de l'art”. Ce goût collectif défini par la profession peut être différent de votre goût personnel. Ce goût collectif est important professionnellement de ne pas commettre d'erreurs de goût ou respecter certaines évidences. »

On illustrera ce savoir par des propos de professionnels de renom.

Tâche apprentissage : Écoute de cours (prise de notes). Engagement cognitif de niveau *actif*.

Temps 2 : Enrichissement du savoir professionnel.

Tâche enseignement : exposé oral et visuel

BUT : Faire comprendre les « 3 grandes règles d'accord mets-vins »

Explicitation sous forme de définition verbale

Explicitation à l'aide d'une double modalité texte-image et d'exemples

Tâche apprentissage : Écoute de cours (prise de notes). Engagement cognitif de niveau *actif*.

Phase 3 : Faire élaborer quelques les règles particulières d'« accord mets & vins *selon les règles de l'art* »

Étape 3.1 : *Faire comprendre* des règles classiques d'« accord horizontal / vertical / moment ».

Tâche enseignement : exposé oral et visuel

BUT : *Faire comprendre* les règles classiques

Explicitation sous forme de dénomination + définition verbale

Explicitation à l'aide d'une double modalité texte-image et d'exemples

Tâche apprentissage : Écoute de cours (prise de notes). Engagement cognitif de niveau *actif*.

Étape 3.2 : *Faire assimiler* des règles classiques d'« accord horizontal / vertical / moment »

Tâche apprentissage : étude de cas. Engagement cognitif de niveau *constructif*.

À partir de plusieurs menus gastronomiques de type « *Menu Découverte, accord Mets et Vins* » identifier les *types d'accord mets-vins particuliers* mis en œuvre pour élaborer le choix des vins.

Un des menus étudiés sera celui présenté au début de la séquence d'enseignement : il s'agit, en « bouclant la boucle », de permettre aux élèves de mesurer la plus-value amenée par l'apprentissage.

Tâche enseignement : exposé oral et visuel de la tâche (*explicitation* et *explication*) + étayage de la tâche.

8.5. À propos de cet exemple

Nous avons voulu ici montrer comment élaborer une représentation d'un domaine de connaissances (carte d'un « pays du savoir »), pour ensuite y inscrire un parcours d'apprentissage et le

transformer en parcours d'enseignement-apprentissage, comme le ferait un moniteur d'auto-école. Autrement dit, comment le travail de cartographie du champ notionnel participe de l'élaboration d'un scénario d'enseignement-apprentissage.

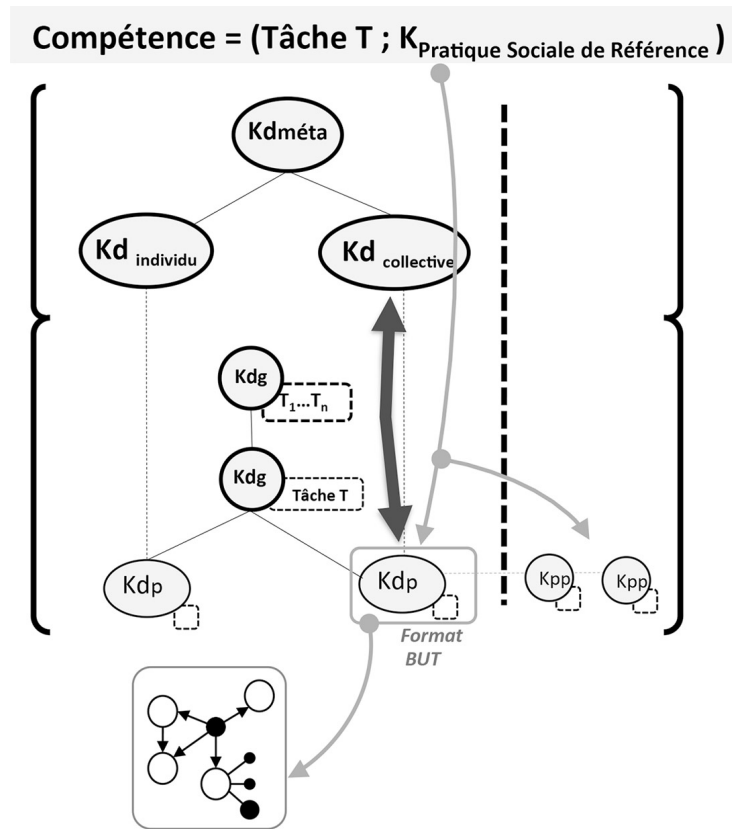
Le travail de conception reste à poursuivre. Il faut maintenir définir les moyens pour enseigner : les traces écrites des élèves, les supports d'étude (menu ; nourritures et vins) et les documents de l'enseignant (Diaporama et trace tableau) en interaction avec le parcours d'enseignement-apprentissage. Il faut aussi calibrer la durée de la séquence d'enseignement en fonction des contraintes spatio-temporelles.

Mais cet exemple vise à mettre en exergue le travail de planification, à partir d'une compétence mobilisant des connaissances issues de pratiques sociales de référence.

Comme l'illustre la figure 103, ce travail nécessite une caractérisation de la compétence visée : la tâche T et les connaissances relevant d'une Pratique Sociale de Référence (K_{PSR}). C'est la spécification de cette connaissance qui est le moteur du travail de cartographie ; son acceptation invite à identifier les métaconnaissances dont il relève.

Le parcours d'apprentissage intégrera un processus d'apprentissage (généralisation ou particularisation) reliant la métaconnaissance et la connaissance visée (K_{PSR}).

Figure 103 : Représentation schématique du travail de planification de pratique sociale de référence



9. ENSEIGNER LE CALCUL LITTÉRAL EN PREMIÈRE ANNÉE IUT GÉNIE MÉCANIQUE DES SYSTÈMES AÉRONAUTIQUES ET SPATIAUX

9.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'une compétence scolaire. Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment élaborer un champ notionnel à partir d'une commande exprimée sous la forme d'une tâche scolaire.

Comment élaborer un parcours d'apprentissage à partir d'une carte des formats de connaissance.

Comment transformer un parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement.

Comment enrichir un parcours d'enseignement d'un dispositif motivationnel.

Comment spécifier fonctionnellement une ressource numérique d'enseignement-apprentissage.

9.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Cet enseignement s'adresse à des étudiants de première année d'IUT génie mécanique des systèmes aéronautiques et spatiaux. Dès le début de leur formation, ces étudiants sont amenés à faire du calcul littéral (*i.e.* un calcul qui se « fait avec des lettres ») dans le cadre de résolution de problème de physique appliquée à l'ingénierie des systèmes aéronautiques et spatiaux. Parmi les tâches à réaliser, il faut savoir transformer avec aisance (vite et bien) et pertinence (en fonction d'un but) une expression littérale, résultat du calcul littéral.

Cependant, il existe une grande hétérogénéité chez les étudiants quant à la maîtrise de cette compétence. L'équipe pédagogique souhaite proposer un dispositif d'aide, sous la forme d'une ressource numérique utilisable à distance. Cette ressource doit offrir un parcours individualisé de « mise à niveau » en fonction de la maîtrise initiale de la compétence.

9.3. Définir le contenu à enseigner

9.3.1. De la commande au champ notionnel

La compétence, suggérée par la commande, relève des mathématiques appliquées aux sciences appliquées et plus spécifiquement du calcul littéral. Elle participe de la description des phénomènes physiques à l'aide d'expressions mathématiques.

La compétence visée consiste à savoir transformer une expression littérale d'un paramètre physique.

Par exemple, l'expression suivante est celle d'une vitesse V , résultat d'un calcul littéral :

$$V = \frac{(\omega^2 \cos \alpha \sin \beta) d^3 + d^3 (\sin \alpha \cos \beta) \omega^2}{d^2 \sqrt{1 - \sin^2(\alpha + \beta)}} \omega$$

Comme le montre cet exemple, une expression littérale (EL) est un ensemble de symboles numériques ou algébriques (constantes ou variables) qui peuvent être reliés entre eux à l'aide de symboles opératoires. Elle est formée de termes qui peuvent comporter des valeurs numériques constantes ou des valeurs numériques variables, représentées par des lettres. Les termes sont les éléments séparés par des opérations (par ex., multiplication ou racine carrée) ou des fonctions mathématiques (fonction trigonométrique).

La transformation de cette expression littérale, résultat d'un calcul littéral, peut être menée de la manière suivante.

étape 1 : Identification de termes communs dans l'expression du numérateur
=> Réduction du numérateur par mise en facteur du terme $d^3\omega^2$

$$\text{d'où : } V = \frac{d^3\omega^2(\cos\alpha\sin\beta + \sin\alpha\cos\beta)}{d^2\sqrt{1-\sin^2(\alpha+\beta)}\omega}$$

étape 2 : Reconnaissance d'une expression trigonométrique : $\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$ dans l'expression du numérateur

=> Réduction du numérateur par application de la formule : $\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta = \sin(\alpha+\beta)$

$$\text{d'où } V = \frac{d^3\omega^2\sin(\alpha+\beta)}{d^2\sqrt{1-\sin^2(\alpha+\beta)}\omega}$$

étape 3 : Reconnaissance d'une expression trigonométrique : $1-\sin^2x$ dans l'expression du dénominateur
=> Réduction du numérateur par application de la formule : $1-\sin^2(\alpha+\beta) = \cos^2(\alpha+\beta)$

$$\text{d'où } V = \frac{d^3\omega^2\sin(\alpha+\beta)}{d^2\sqrt{\cos^2(\alpha+\beta)}\omega}, \text{ ce qui peut encore s'écrire : } V = \frac{d^3\omega^2\sin(\alpha+\beta)}{d^2\cos(\alpha+\beta)\omega}$$

étape 4 : Reconnaissance d'une expression remarquable : a^n/a^p dans l'expression globale
=> Réduction de l'expression globale par application de la formule : $a^n/a^p = a^{n-p}$

$$\text{d'où } V = \frac{d^3}{d^2} \times \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos(\alpha+\beta)} \times \frac{\omega^2}{\omega} = d \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos(\alpha+\beta)} \omega$$

étape 5 : Reconnaissance d'une formule de trigonométrie : $\sin x / \cos x$ dans l'expression globale
=> Réduction de l'expression globale par application de la formule : $\sin x / \cos x = \tan x$

$$\text{d'où } V = d \tan(\alpha+\beta) \omega$$

étape 6 : Reconnaissance d'une expression de la vitesse $V=R\omega$ dans l'expression globale
=> Remise en forme de l'expression globale par analogie à la formule

$$\text{d'où } V = d\omega \tan(\alpha+\beta)$$

9.3.2. De la tâche vers la connaissance

Comme l'objet d'enseignement est une compétence, l'équipe s'attache à caractériser la tâche à maîtriser, c'est-à-dire identifier les sous-tâches, les connaissances *pertinentes* associées (l'invariant de la tâche) et les situations (la variable de la tâche).

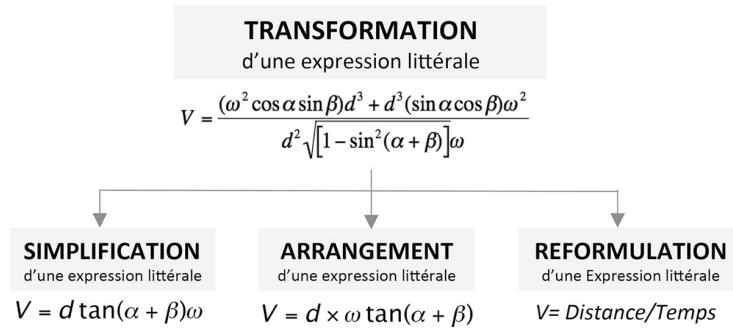
9.3.2.1. Quelle est la catégorie de la tâche ?

La Transformation d'une expression littérale est une tâche de résolution de problème qui peut s'avérer complexe.

Elle relève d'un travail technique mais s'accompagne aussi d'une réflexion sur le choix de la forme de l'expression (par exemple, somme ou produit) la mieux appropriée au problème à résoudre. Elles s'appuient sur des compétences métacognitives comme l'anticipation, l'organisation et le contrôle.

Cette transformation peut-être multiple. L'équipe pédagogique décide de retenir trois sous-tâches caractéristiques de la

transformation d'une expression littérale (illustrées par notre exemple), dans le domaine des sciences physiques appliquées à l'ingénierie des systèmes aéronautiques :



La **simplification** : à partir du résultat du calcul formel, cette tâche consiste à minimiser le nombre d'opérateurs (multiplication, addition...) et de termes (lettres et nombre).

Par exemple, si l'on reprend l'expression précédente, elle devient : $V = d \cdot \tan(\alpha + \beta) \cdot \omega$.

Cette tâche relève des problèmes dits « de transformation » (Greeno, 1978), et fait appel à des procédures de tâtonnement de type moyen-fin. C'est-à-dire qu'il repose sur l'analyse de la différence entre l'état présent du problème et l'état final à atteindre (la « fin »), d'une part, et la recherche des opérateurs permettant de réduire l'écart (le « moyen »), d'autre part. La « fin » est, dans le cas présent, définie par une quantité : le plus petit nombre d'éléments constituant la solution.

Comme le montre l'exemple, cette tâche, qui transforme le résultat d'un calcul littéral en une expression simplifiée, peut être décrite comme la répétition de la combinaison de trois tâches :

une tâche de reconnaissance d'une forme connue. Elle correspond à un terme d'une formule. Dans notre exemple : « a^m / a^n » ou « $\sin x / \cos x$ ».

une tâche de rappel en mémoire de la formule associée. Ces formules sont des égalités, c'est-à-dire des équivalences. Dans notre exemple : « $a^m / a^n = a^{m-n}$ » ou « $\sin(x) / \cos(x) = \tan(x)$ ».

une tâche d'application de cette formule. C'est-à-dire remplacement du terme identifié par l'autre terme de l'égalité, puis allocation des termes de la formule à ceux de l'expression. Dans notre exemple : « $d^3 / d^2 = d^{3-2} = d$ » ou « $\sin(\alpha + \beta) / \cos(\alpha + \beta) = \tan(\alpha + \beta)$ »

Dans cette tâche, le « moyen » de trouver la « fin » s'appuie sur la mobilisation de connaissances opératoires mais aussi factuelles, comme ces formules, au sein de mécanismes de catégorisation et d'allocation. Ces formules sont des expressions littérales particulières. Elles sont référencées sous diverses appellations telles que « propriétés de calcul », « expressions remarquables », « identités remarquables », « formules remarquables » ou encore « **égalités de calcul** ». C'est cette appellation que nous retenons : en effet, il s'agit ici de préciser clairement que le signe « = » signifie que les éléments situés de part et d'autre sont interchangeables ; à distinguer de la signification est le « résultat d'une opération ». Ces expressions particulières sont les outils fondamentaux de la simplification des expressions littérales et doivent connues « sur le bout des doigts ».

L'**arrangement** est une tâche qui correspond aux problèmes dits « d'arrangement » (Greeno, 1978), c'est-à-dire de réorganisation d'éléments donnés. Cette tâche consiste à écrire une expression simplifiée (ou en cours de simplification) sous une forme adaptée. Comme pour la simplification, cette tâche fait appel aussi à des

procédures de tâtonnement de type moyen-fin. La fin est ici définie par une forme.

Cette forme peut être canonique (correspondre à des formes d'un certain type comme celle d'une formule, par exemple celle de la circonférence d'un cercle « $A = 2\pi R$ » ou celle du calcul de l'énergie de masse « $E = Mc^2$ ») ou dimensionnelle (les éléments de même dimension sont regroupés). Elles correspondent à des expressions littérales particulières et l'équipe pédagogique les classe sous l'appellation de « **formules de calcul** ». Ces expressions utilisent des lettres qui sont des symboles d'une grandeur spécifique à un champ disciplinaire : par exemple, en sciences physiques, « M » signifie Masse et « c » signifie célérité (*i.e.* vitesse de la lumière). Ces expressions particulières font office de formes canoniques et contribuent à « contrôler la cohérence » d'une expression ou la « mettre en forme ». Par exemple, l'expression « $L.M.g.\cos\alpha$ » est le résultat du calcul de l'intensité du moment d'une force, dont la formule de calcul est « $M_t = F \times d = \text{Intensité de la force } F \times \text{bras de levier}$ » (Le bras de levier est une distance). Dans cette expression, le terme « $M.g$ » correspond à la formule du calcul du poids d'un objet « $P = M \times g$ » (qui est une force) et le terme restant « $L\cos\alpha$ » est équivalent à une distance. Une simple analogie de structure avec la formule « $M_t = F \times d$ » conduit à réécrire l'expression sous la forme « $Mg. L\cos\alpha$ » et à constater la cohérence de l'expression.

Comme le montre l'exemple (étape 6), cette tâche, qui transforme une expression simplifiée (ou en cours de simplification), peut être décrite comme la répétition de la combinaison de trois tâches :

une tâche d'identification de la grandeur exprimée par l'expression littérale. Dans notre exemple, il s'agit d'une vitesse V ;

une tâche de rappel en mémoire de la formule associée. Dans notre exemple, $V = \text{Rayon} \times \text{fréquence de rotation} = R\omega$;

une tâche de réagencement des termes de l'expression en correspondance avec les termes de la formule. Dans notre exemple, $V = d \times \omega \cdot \tan(\alpha + \beta)$. Ce qui permet de vérifier la cohérence de l'expression.

La **reformulation** : c'est d'abord une tâche de contrôle. Elle participe à vérifier l'homogénéité de l'expression littérale en posant « l'équation aux dimensions ». Cela consiste à réécrire l'expression simplifiée en remplaçant les termes de l'expression par leur unité dimensionnelle (symbole) puis à effectuer une simplification et une mise en forme. Le résultat obtenu correspond à l'unité de la grandeur définie par l'expression littérale.

Dans ce cas, cette tâche combine les tâches de simplification et d'arrangement.

Dans notre exemple, l'expression réordonnée peut être reformulée à l'aide des dimensions (ou *unité de grandeur*) de chaque paramètre afin de vérifier l'homogénéité de l'expression.

Soit $V = \text{mètre} \cdot (\text{radian/seconde}) \cdot (\text{pas de dimension})$ ou encore $V = \text{mètre/seconde} = M/s$.

Mais c'est aussi une tâche de description d'un phénomène physique : d'un « retour au réel » après un « traitement abstrait » du phénomène. Il s'agit de « faire parler » l'expression littérale, en la verbalisant. Cette tâche fait appel à des mécanismes mentaux d'allocation et d'inférence.

Dans notre exemple, l'expression $V = R \cdot \omega$ peut s'interpréter comme « la vitesse linéaire d'un point appartenant à un objet, tournant à une fréquence de rotation ω , est proportionnelle à la

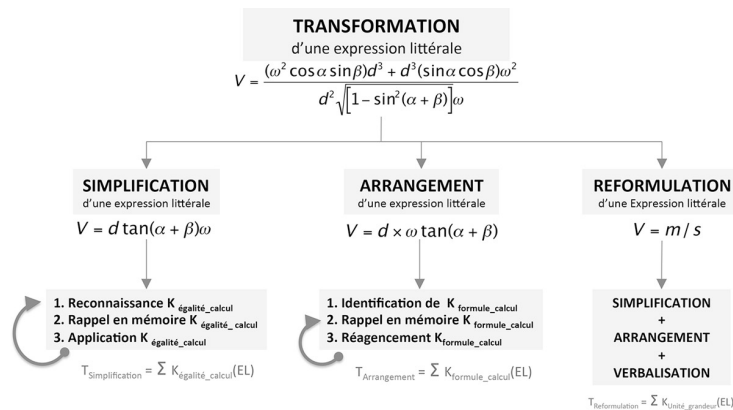
distance qui sépare le point du centre de rotation de l'objet ; plus on s'éloigne du centre et plus la vitesse linéaire du point augmente ».

9.3.2.2. Explicitation de la tâche générale

Comme l'illustre la figure 104, les sous-tâches de *transformation d'une expression littérale* ont en commun de mobiliser des connaissances factuelles (« égalité de calcul », « formule de calcul » et « unité de grandeur »), qui sont des expressions littérales particulières. On les nommera *expression « outil »* pour les différencier des *expressions littérales « à transformer »*.

Ces *expressions littérales « à transformer »* peuvent correspondre à des « résultats du calcul formel », à une « expression simplifiée », une « expression arrangée » ou encore une « expression reformulée ». Ce sont des formats déclaratifs particuliers du concept d'*Expression littérale*.

Figure 104 : Caractérisation de la tâche « Transformation d'une expression littérale »



À partir de ces sous-tâches, il est possible d'expliciter la tâche de transformation d'une expression littérale de la manière suivante :

Pour une expression littérale donnée et un but de transformation fixé,

Identifier une expression « forme » d'une expression outil (sachant qu'une expression outil est de la forme : expression forme 1 = expression forme 2) ;

Se remémorer l'expression « outil » ;

Appliquer l'expression outil ;

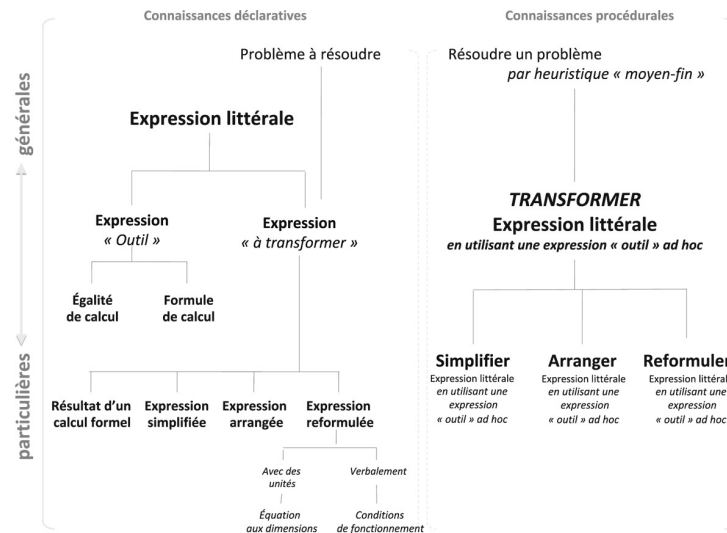
Recommencer le processus jusqu'à obtenir le but recherché.

L'explicitation de cette tâche générale sous forme d'actions n'a d'intérêt en soi que de mettre en avant la nécessité pour l'étudiant de connaître les expressions « outils », ou de savoir comment les retrouver. C'est un but d'apprentissage clé pour apprendre à transformer une expression littérale.

9.3.3. À quelle structure de connaissance appartient le savoir à enseigner ?

La caractérisation de la tâche de transformation d'une expression littérale a permis de dégager un ensemble de connaissances nécessaires à sa réalisation, que l'équipe a synthétisée sous forme de carte des formats de connaissances (cf. figure 105). Le champ notionnel s'organise autour du concept d'« expression littérale » et de la « démarche de transformation d'une expression littérale ».

**Figure 105 : Carte des formats du champ notionnel
« Expression littérale »**



Ce champ est enrichi de connaissances métacognitives : le format procédural « résoudre un problème par heuristique *moyen-fin* » et le concept de « problème à résoudre », son pendant déclaratif.

9.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

9.4.1. Définir le parcours d'apprentissage

9.4.1.1. Quels buts d'apprentissage ?

Le but de cet enseignement est de faire acquérir une compétence, c'est-à-dire un niveau d'aisance dans la réussite de la tâche générale : transformer une expression littérale à l'aide d'expressions « outil » *ad hoc*.

L'apprentissage est essentiellement centré sur la tâche de raisonnement qui implique de mobiliser des connaissances à propos

des expressions outils (définies par le champ notionnel, cf. figure 105) et des connaissances issues de la pratique de la tâche (des configurations types, des routines d'actions).

Pour le parcours d'apprentissage, l'équipe décide de distinguer deux moments :

Celui de l'apprentissage des connaissances à propos des expressions outils, articulé autour de deux buts :

Connaître les expressions « outil »

Savoir utiliser les expressions « outil »

Celui de l'association de la tâche et des connaissances, articulée autour de deux buts :

Mobiliser les connaissances ad hoc (invariant de la tâche) pour un but et une expression littérale donnée (variabilité de la tâche)

Acquérir des règles d'actions algorithmiques (connaissances d'expert issues de la pratique de la tâche)

9.4.1.2. Quelles étapes d'apprentissage ?

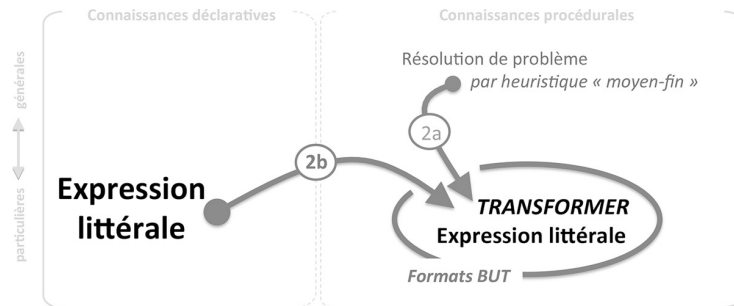
L'équipe décide d'organiser le parcours d'apprentissage autour de deux grandes phases : l'acquisition de connaissances et l'assimilation d'une tâche.

a. La phase d'acquisition de la connaissance

En première approche, on peut décrire cette phase d'apprentissage comme l'apprentissage d'un ensemble de méthodes de transformation d'une expression littérale (cf. figure 106a). Ce *format-BUT* procédural relève de la résolution de problème par recherche de la solution (heuristique) par tâtonnement de type « moyen-fin ». C'est la particularisation de cette connaissance

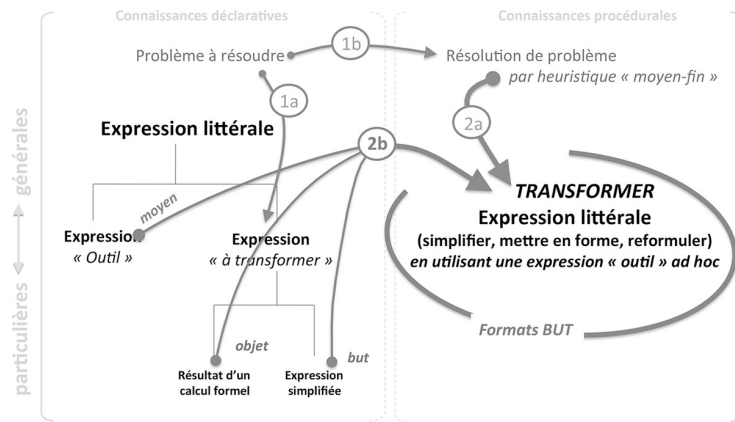
procédurale métacognitive (processus 2a), associée à un processus de procéduralisation du concept d'« expression littérale » (processus 2b) qui est utilisée pour organiser le parcours d'apprentissage.

Figure 106a : Parcours de procéduralisation du concept d'« expression littérale »



Le processus d'apprentissage 2b a vocation à préciser le *format-BUT* procédural. Comme le montre la figure 106b, ce processus de procéduralisation consiste à transformer un « résultat de calcul formel » (*objet*), à l'aide d'une catégorie d'« expression outil », (par exemple, les « égalités de calcul »), (*moyen*), afin d'obtenir une « expression transformée » (*but*), en l'occurrence une « expression simplifiée ».

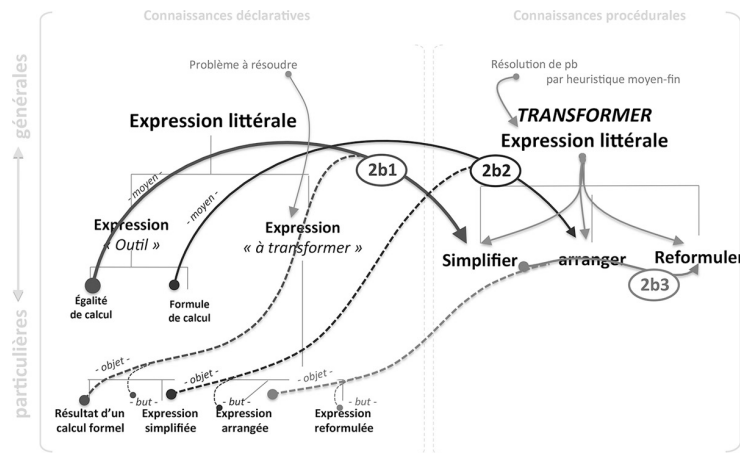
Figure 106b : Spécification du processus de procéduralisation du concept d'« expression littérale »



Ce processus sera être accompagné de transformation du métaconcept de « problème à résoudre » (processus 1a et 1b). L'« expression à transformer » est un « problème à résoudre », c'est-à-dire l'*objet* visé par la mise en œuvre de la *procédure*.

On peut encore affiner le parcours d'apprentissage en prenant en compte la nature de la transformation : simplification, arrangement ou reformalisation. Comme le montre la figure 106c, l'élaboration de chacun des trois formats procéduraux de transformation d'une expression littérale repose sur des parcours d'apprentissage distincts :

Figure 106c : Parcours particuliers de procéduralisation du concept d'« expression littérale »



Le format procédural « simplifier une expression littérale » est le résultat d'une procéduralisation (processus 2b1) qui s'appuie sur le concept d'« égalité de calcul » (qui en constitue un *moyen*), celui de « résultat d'un calcul formel » (qui en constitue l'*objet*) et celui d'« expression simplifiée » (qui en constitue le *but*).

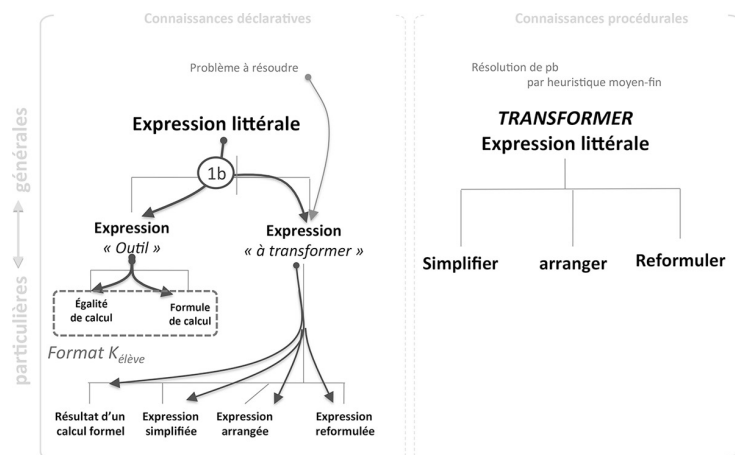
Le format procédural « arranger une expression littérale » est le résultat d'une procéduralisation (processus 2b2) qui s'appuie sur le concept de « formule de calcul » (qui en constitue un *moyen*), celui d'« expression simplifiée » (qui en constitue l'*objet*) et celui d'« expression mise en forme » (qui en constitue le *but*).

Le format procédural « reformuler une expression littérale » est le résultat d'une procéduralisation (processus 2b3) qui combine les deux formats procéduraux précédents. Il s'appuie sur le concept d'« expression mise en forme » (qui en constitue l'*objet*) et celui d'« expression reformulée » (qui en constitue le *but*).

Afin de préparer l'élaboration des différents formats procéduraux, le parcours d'apprentissage commencera par appréhender le concept

d'« expression littérale ». Comme l'illustre la figure 106d, le but est de particulariser ce concept (processus 1b).

Figure 106d : Parcours particulier d'élaboration du concept d'« expression littérale »



Dans les faits, il s'agit d'élaborer une structure hiérarchique de connaissances qui permettra de mettre en lien des connaissances *normalement* acquises à ce stade du cursus scolaire. Les expressions outils doivent être connues par cœur ou être générées par des techniques connues de l'étudiant.

b. La phase d'assimilation de la tâche

La tâche de transformation d'une expression littérale relève d'un travail technique mais s'accompagne aussi d'une réflexion sur le choix de la forme de l'expression (par exemple, somme ou produit) la mieux appropriée au problème à résoudre.

Comme pour une partie d'échecs, le coup dépend de la configuration actuelle et de la configuration à venir. Plusieurs coups sont possibles, mais le bon coup est celui qui va minimiser le nombre

de coups pour trouver la bonne solution. Cette tâche s'appuie sur des compétences métacognitives comme l'anticipation, l'organisation et le contrôle.

D'autre part, cette tâche est rendue plus difficile, plus compliquée par l'expression littérale à transformer, elle-même. Selon sa composition, elle va demander à mobiliser plus ou moins d'expression « outils ».

La performance à réaliser la tâche est fortement liée à son coût cognitif. Pour optimiser ce coût, il s'avère nécessaire de :

automatiser le processus de la mise en œuvre d'une « égalité de calcul » ou « formule de calcul » (reconnaissance, rappel en mémoire, allocation).

prendre conscience de stratégies de résolution de la tâche (explicitation procédurale) pour construire des règles spécifiques à la tâche ($K_{\text{tâche}}$).

Selon Richard (1998), la découverte de l'algorithme permettant la réalisation de la tâche est un apprentissage qui peut être nécessaire. En effet, l'utilisation d'un processus heuristique (ne pas s'éloigner du but) dans ces problèmes gêne la résolution alors que l'utilisation de l'algorithme le permet (revenir en arrière/ s'éloigner du but). Inciter les étudiants à apprendre cette règle d'action favorise la résolution du problème.

9.4.2. Définir le parcours d'enseignement-apprentissage

9.4.2.1. Du parcours d'apprentissage vers le parcours d'enseignement

L'équipe pédagogique a décidé de transformer le parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement en s'attachant à

respecter le principe d'économie cognitive.

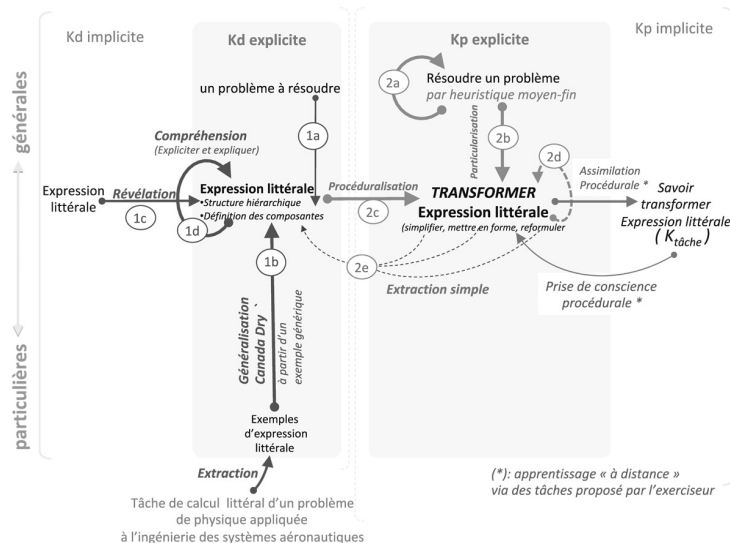
L'équipe envisage de « prendre à son compte » le parcours d'apprentissage au travers deux tâches distinctes :

Une première tâche d'exposé, en présentiel, dont le but d'enseignement est faire comprendre les trois démarches de transformation d'une expression littérale à l'aide d'une « expression outil » *ad hoc*.

Une seconde tâche d'entraînement, supportée par un dispositif numérique, de type exerciceur, utilisable à distance et en toute autonomie. L'engagement dans cette tâche doit conduire l'étudiant à acquérir la compétence visée.

La première tâche d'enseignement (exposé, en présentiel) s'appuiera sur le parcours d'enseignement illustré par la figure 107 :

**Figure 107 : Parcours d'enseignement
du champ notionnel « expression littérale »**



On peut notamment y distinguer les processus d'enseignement liés des buts suivants :

Faire comprendre le concept d'« expression littérale » (parcours 1). Le parcours d'enseignement débute par un processus de généralisation (processus 1b) qui prend appui sur un exemple générique de calcul littéral. Il s'agit de faire abstraire les composantes du concept d'expression littérale avant de les structurer. Cette structuration est soutenue par un processus de révélation, un effet Jourdain (processus 1c), en s'appuyant sur les connaissances implicites des étudiants. Puis chacune des composantes fera l'objet d'une explicitation et d'une explication à l'aide d'un exemple (processus 1c). Pour ce faire, cet exemple sera présenté « habillé » d'attributs mathématiques mais aussi d'attributs des sciences physiques appliquées à l'ingénierie des systèmes aéronautiques.

Faire comprendre la forme déclarative de la « démarche de transformation d'une expression littérale : simplifier, mettre en forme et reformuler » (parcours 2). Le principe (*i.e.* le processus d'apprentissage) est de particulariser un savoir métacognitif tout en s'appuyant sur les connaissances déclaratives qui viennent d'être enseignées.

Le parcours d'enseignement (processus 2) débute par une explicitation et explication (processus 2a) des différents processus de résolution et plus particulièrement celui par « heuristique moyen-fin ». Ce processus de résolution est ensuite particularisé (processus 2b) en le spécifiant à l'aide des concepts d'« expression à transformer » (et *objet* de procédure), « expression outil » (et *moyen* de procédure) et « expression transformée » (et *but* de procédure) (processus 2c). L'exemple générique, utilisé lors du parcours 1, sera utilisé pour fournir des explications (processus 2d).

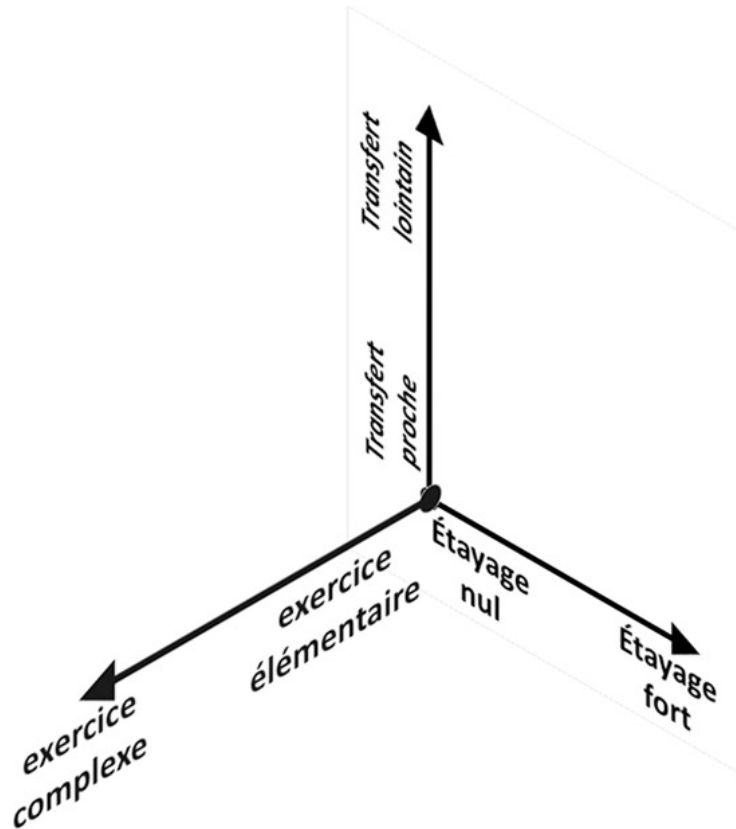
La seconde tâche d'enseignement (à distance) s'appuiera sur un processus d'entraînement procédural articulé autour de trois enjeux : complexifier la tâche, en agissant sur le nombre de connaissances à mobiliser ;

compliquer la tâche, en agissant sur les caractéristiques de l'expression à transformer ;

autonomiser la réalisation de la tâche, en agissant sur la quantité d'informations données vs la quantité d'informations à trouver.

En conséquence de quoi, et en référence aux préconisations qui permettent d'optimiser la charge cognitive (Sweller, 2010) en phase d'apprentissage, l'équipe pédagogique a conçu un espace de problèmes régit par trois principes (cf. figure 108) :

Figure 108 : Principes régissant l'espace problème



1. **De l'élémentaire vers le complexe** : l'étudiant aura à sa disposition une palette de tâches allant de l'exercice élémentaire (mobilisation d'une expression « outil ») vers le problème le plus complexe (mobilisation de la combinaison de plusieurs expressions « outil »).
2. **Du transfert proche vers le transfert lointain** : les tâches évolueront de la transformation d'une expression numérique vers un résultat de calcul littéral en physique appliquée aux systèmes aéronautiques, en passant par des expressions littérales « purement » mathématiques.
3. **De l'étayage nul vers l'étayage fort** : une aide à la résolution sera proposée de manière graduée : De l'exercice non résolu vers

l'exercice résolu (avec explication méthodologique) en passant par l'exercice résolu (sans explication méthodologique), l'exercice à trous et l'exercice avec des erreurs.

La figure 109 propose une représentation de l'espace de problèmes pour un savoir-faire donné. Chaque tâche d'apprentissage propose une série d'exercices dont l'entière réalisation valide la maîtrise de la tâche.

Figure 109 : Carte de l'espace des tâches d'apprentissage de la ressource numérique

Transfert lointain Transfert proche	Problème non résolu ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème non résolu avec K à mobiliser ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème avec solution ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème avec solution et correction erronée ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème avec correction partielle ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème avec correction totale ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique
	Problème non résolu ----- Expression littérale Mathématique	Problème non résolu avec K à mobiliser ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème avec solution ----- Expression littérale Mathématique	Problème avec solution et correction erronée ----- Expression littérale Mathématique	Problème avec correction partielle ----- Expression littérale Mathématique	Problème avec correction totale ----- Expression littérale Mathématique
	Problème non résolu ----- Expression numérique	Problème non résolu avec K à mobiliser ----- Expression littérale Ingénierie Aéronautique	Problème avec solution ----- Expression numérique	Problème avec solution et correction erronée ----- Expression numérique	Problème avec correction partielle ----- Expression numérique	Problème avec correction totale ----- Expression numérique
	Étayage nul			Étayage fort		

9.4.2.2. Intégration d'un parcours de motivation au parcours d'enseignement

Après avoir esquissé un parcours d'enseignement à partir d'un parcours d'apprentissage, l'équipe décide de l'enrichir d'un dispositif de gestion de la motivation.

En effet, si ces connaissances visées semblent absolument nécessaires, aux yeux de l'équipe enseignante, pour réussir les tâches de résolution de problème, leur apprentissage peut ne pas être perçu comme tel chez les étudiants. Se pose donc le problème de l'utilité et de sa faisabilité de cet apprentissage, mais aussi de la tâche scolaire proposée pour soutenir cet apprentissage.

Pour répondre à la question de l'utilité de cet apprentissage, l'équipe pédagogique propose de mettre en exergue la fréquence d'utilisation de cette connaissance dans des démonstrations de cours (but de maîtrise) et de sujet d'examen (but de performance). Elle s'appuiera pour cela sur des tâches d'étude de cas (extrait de cours et correction sujet examen).

Mais l'équipe pédagogique décide aussi de « rebondir » sur la part métacognitive de cet apprentissage : la résolution de problème. Il est envisagé d'inscrire cet apprentissage dans un cadre métacognitif, par exemple un enseignement de « méthodologie pour réussir en première année ». Comme pour l'enseignement étudié ici, les apprentissages métacognitifs resteraient très intégrés, afin d'être efficaces. Des résultats d'études menées sur l'effet de ces dispositifs d'aide serviraient à mettre en exergue l'intérêt de la maîtrise de ces connaissances pour réussir dans son cursus universitaire.

Pour répondre à la question de la faisabilité de cet apprentissage, l'équipe pédagogique décide de montrer « la part des choses » pour acquérir ce nouveau savoir : c'est-à-dire distinguer ce qui est (normalement) déjà acquis et ce qui reste à acquérir. Et puis pour cette part à acquérir, expliciter les tâches d'apprentissage ainsi que leur planification.

9.5. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

Comme le souhaite l'équipe pédagogique, le processus d'assimilation procédurale sera supporté par une ressource numérique (de type « exerciceur »), utilisable à distance et en libre accès.

La nature du moyen choisi (une technologie numérique) pose le problème de son acceptation. Les déterminants principaux de l'acceptation sont l'utilité, l'utilisabilité, et les conséquences induites, auxquelles on peut ajouter des facteurs sociaux et la conviction personnelle. La contrôlabilité de la tâche est aussi un déterminant de la motivation. Dans le cas présent, le libre accès à ressource, en toute responsabilité, devrait la faciliter. À cette problématique, il faut ajouter l'hétérogénéité du public.

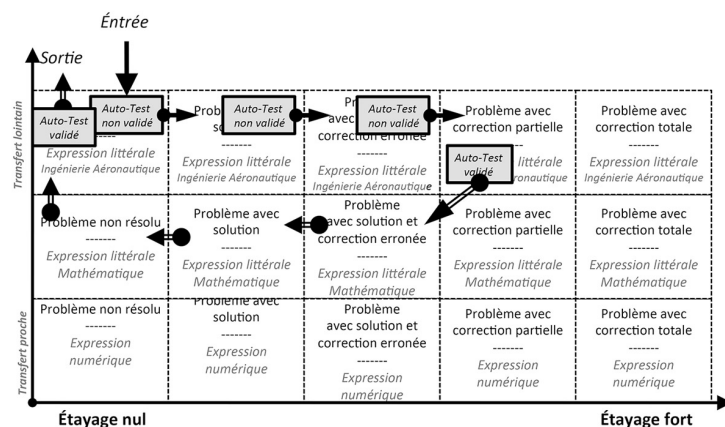
Afin d'y répondre, la ressource numérique devra soutenir trois fonctions pédagogiques :

1. mesurer le progrès ;
2. adapter le parcours d'apprentissage au niveau de maîtrise de la connaissance ;
3. aider à « tirer des leçons » de la tâche ($K_{\text{tâche}}$).

Pour assurer la première fonction, la ressource numérique proposera des autotests réguliers mais aussi une interface permettant à l'étudiant de se situer sur le parcours d'apprentissage (la carte de l'espace des tâches pourrait très bien être utilisée à cet effet).

Pour la deuxième fonction, la solution retenue repose sur le principe d'« *un même défi pour tous mais à chacun sa manière de le relever* ». Pour cela, la ressource numérique proposera un scénario de navigation contrôlé. La figure 110 décrit un exemple de ce type de scénario qui s'articule autour de deux phases.

Figure 110 : Parcours de navigation de la ressource numérique



La première phase vise à trouver le niveau de maîtrise de la connaissance. La tâche d'entrée est une tâche de transfert lointain non étayée. Si elle n'est pas réussie (autotest non validé), alors une tâche de transfert moins lointain est proposée jusqu'à la réussite de la tâche (autotest validé).

Dès lors, on passe à la seconde phase celle de la mise à niveau. Elle commence par une tâche de transfert plus lointain que la précédente mais avec un étayage moindre. Puis s'enchaînent les tâches avec un étayage de moins en moins présent. Une fois atteinte la tâche à étayage nul, on passe à une tâche de transfert plus lointain.

Il est tout à fait envisageable de moins contraindre le scénario de navigation, si l'on souhaite améliorer le niveau de contrôlabilité de la ressource.

Enfin la troisième fonction, la ressource invitera l'étudiant à formaliser la méthode qu'il a mise en œuvre pour transformer l'expression littérale. Un document canevas reprenant les composantes du principe général pourra être proposé comme aide.

Ce scénario de motivation doit aussi aider l'étudiant à s'engager dans la situation d'apprentissage, à accepter de fournir l'effort nécessaire (la quantité de travail) et à persévérer autant que nécessaire. L'interface de la ressource numérique devra proposer des informations personnalisées qui vont en ce sens. Par exemple, le nombre d'exercices à réaliser et réalisés, l'évolution de la réussite et de l'échec, ou encore de se situer sur la carte de l'espace des problèmes.

Une tâche scolaire en présentiel sera proposée pour présenter les fonctionnalités de la ressource et engager les étudiants dans son utilisation.

9.6. À propos de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer les grandes activités de la conception d'un dispositif d'enseignement-apprentissage (et leur production clés) : la définition des contenus à enseigner (cf. figure 105 – carte des formats du champ notionnel), l'élaboration du parcours d'apprentissage (cf. figure 106), de sa transformation en parcours d'enseignement (figure 107), qui permettent d'esquisser une ressource pour enseigner (figures 109 et 110). Véritable instance du processus d'entraînement, cette dernière propose un programme qui se veut progressif dans la difficulté (complexité et proximité des situations problèmes) mais surtout adapté à la diversité des publics grâce à sa « géométrie variable » (amplitude, profondeur de l'effort et de son accompagnement).

Il ne s'agit ici que d'une première boucle du processus spiralaire de conception. Nous n'avons pas cherché à montrer sa dynamique itérative et récursive, mais nous voulons attirer l'attention du lecteur sur son existence. Par exemple, la définition du champ notionnel a

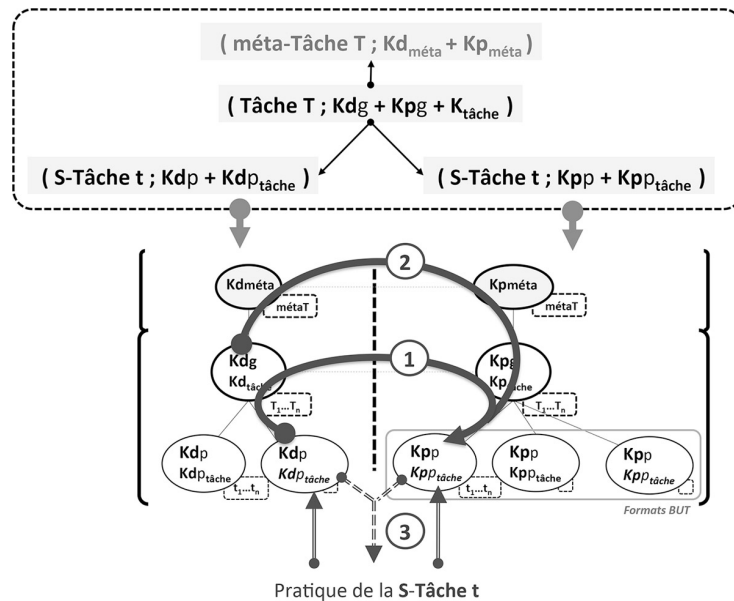
été enrichie suite à la recherche d'un parcours d'apprentissage, lui-même modifié par le parcours d'enseignement.

Mais au travers de cet exemple, nous avons voulu montrer comment on peut s'appuyer sur une activité d'analyse de la tâche pour planifier un dispositif d'enseignement-apprentissage.

Comme l'illustre la figure 111, le travail commence par une caractérisation de la tâche T selon deux axes : celui de la particularisation, par une déclinaison en sous-tâche (S-tâche t) et celui de la généralisation, par la recherche de la filiation à une catégorie de tâches très générales ou métacognitives (métatâche). Adossé à cette recherche, on trouve un travail de spécification des connaissances déclaratives (Kd) et procédurales (Kp) mobilisées par la tâche et des connaissances issues de la pratique de la tâche ($K_{\text{tâche}}$), caractéristiques des connaissances de l'expert. Nous rappelons ici que ces connaissances sont identifiables grâce à la mise en œuvre d'un processus IP de *prise de conscience didactique* (cf. chapitre 3 « Théorie de l'acte de concevoir »). Les connaissances associées aux métatâches (Kméta) sont une aide précieuse à la caractérisation du contenu des connaissances du domaine spécifique à la tâche T.

C'est ce travail qui permet de caractériser et cartographier le champ notionnel.

Figure 111 : Principe de planification à partir du couple (Tâche T ; Connaissance K)



Le champ notionnel, ainsi cartographié, offre de nombreuses possibilités pour esquisser un parcours. Par exemple, choisir celui qui mobilise :

uniquement des connaissances spécifiques du domaine de la Tâche T, comme le parcours 1 ;

aussi des métaconnaissances, comme l'association parcours 1 et 2.

Ou encore de choisir celui qui utilise la pratique de la tâche t pour faire émerger les connaissances issues de sa pratique ($K_{tâche}$), comme le parcours 3 (« la main cachée » du processus d'assimilation).

10. ENSEIGNER LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES DE MÉCANIQUE – RÉSOLUTION ÉPREUVE DE CONCOURS OU D’EXAMEN – « LE BACHOTAGE »

10.1. Apport de cet exemple

Cet exemple traite de la conception d’un enseignement à la préparation d’une épreuve écrite de concours (ou d’examen) ; ce que l’on nomme traditionnellement par « bachotage ». La compétence à acquérir repose sur la capacité de l’étudiant à réaliser une tâche scolaire complexe.

Nous souhaitons, par cet exemple, illustrer une manière d’utiliser notre modèle de compétence, qui intègre les « connaissances auxiliaires » d’expert de la tâche scolaire (cf. chapitre 2 « Théorie de l’acte d’enseigner »). Leur enseignement contribue à une économie cognitive pour ceux qui doivent acquérir une compétence. Pour l’enseignant-concepteur, ces « connaissances auxiliaires » sont identifiables grâce à la mise en œuvre d’un processus-IP de *prise de conscience didactique* (cf. chapitre 2 « Théorie de l’acte d’enseigner »).

10.2. Contexte et objectif de l’enseignement

Cet enseignement s’adresse à des étudiants de master en sciences de l’ingénieur qui préparent le concours de recrutement de professeurs. Ces étudiants sont issus de parcours de formation spécifiques à des domaines de l’ingénierie ; la formation qui leur est

proposée doit leur permettre de renforcer leurs connaissances dans plusieurs domaines des sciences de l'ingénieur. Autrement dit, de spécialistes, il leur faut de venir des généralistes.

Le dispositif d'enseignement-apprentissage à concevoir vise à rendre ces étudiants performants dans la résolution de problèmes de mécanique du solide rigide, rencontrés dans le cadre des épreuves écrites du concours.

10.3. Définir le contenu à enseigner

10.3.1. De la commande au champ notionnel

En sciences de l'ingénieur, la résolution d'un problème de mécanique du solide est une tâche scolaire complexe qui relève de Connaissances spécifiques du Domaine de la « mécanique du solide rigide » (que nous notons CsD_{Meca}). La compétence associée renvoie à la maîtrise de ce champ de connaissances.

Nous souhaitons caractériser ce champ de connaissances à l'aide du modèle de compétence proposé par notre cadre théorique (cf. chapitre 2 « Théorie de l'acte d'enseigner ») : $CsD = \{T_{cplx_D} ; \Sigma K_D + \Sigma K_{Tcplx_D}\}$. Ce travail va consister à spécifier les trois composantes du modèle de compétence : les tâches spécifiques du domaine (T_{cplx_D}), les connaissances nécessaires à la réalisation des tâches (ΣK_D) et les « connaissances auxiliaires » d'expert de la tâche scolaire (ΣK_{Tcplx_D}).

Dans cette perspective, nous avons d'abord cherché à identifier les caractéristiques générales de ce champ de connaissances, avant de nous attacher à en préciser les singularités.

10.3.1.1. Approche globale du champ de connaissances : CsD_Meca_solide_rigide

En sciences de l'ingénieur, « résoudre un problème de mécanique du solide rigide » est une tâche complexe qui vise principalement soit à spécifier les performances d'un système mécanique (en termes d'effort et/ou de mouvement) soit à déterminer des efforts subis par le système (ou ses composants) ou de grandeurs cinématiques (position, vitesse ou accélération) de ses composants, en vue d'établir un dimensionnement adapté à l'usage envisagé. Pour sa part, un système mécanique est un objet complexe constitué de solides généralement indéformables (à l'exception de certains objets comme les ressorts), mais qui peuvent être mobiles les uns par rapport aux autres. Un vélo à assistance électrique ou un manège à sensation de fête foraine sont des exemples de systèmes mécaniques.

Cette tâche complexe mobilise principalement des savoirs de la « mécanique du solide rigide », de la « technologie des mécanismes » et des « mathématiques appliquées ».

La technologie des mécanismes traite de la composition et de l'architecture des mécanismes.

La mécanique est la science des lois du mouvement, des équilibres, des forces et des énergies qu'ils mobilisent. Elle constitue une branche des sciences physiques mais aussi des sciences de l'ingénieur. Scolairement, elle se compose de différents champs. On y distingue notamment :

La « Dynamique du solide », qui permet d'étudier des mécanismes en mouvement en prenant en compte les efforts qui s'exercent dessus.

La « Statique du solide », qui permet d'étudier des mécanismes au repos en prenant en compte les efforts qui s'exercent dessus.

La « Cinématique du solide », qui permet d'étudier des mécanismes en mouvement sans prendre en compte les efforts qui s'exercent dessus.

La « Cinétique du solide », qui permet de caractériser les effets dynamiques subis par l'objet, sans prendre en compte les efforts qui s'exercent dessus. Elle met en relation des paramètres de mouvement (comme sa vitesse ou son accélération) et des caractéristiques liées à la masse de l'objet et à sa répartition (appelée géométrie des masses).

On y distingue aussi quelques lois empiriques définissant certains contacts entre les objets.

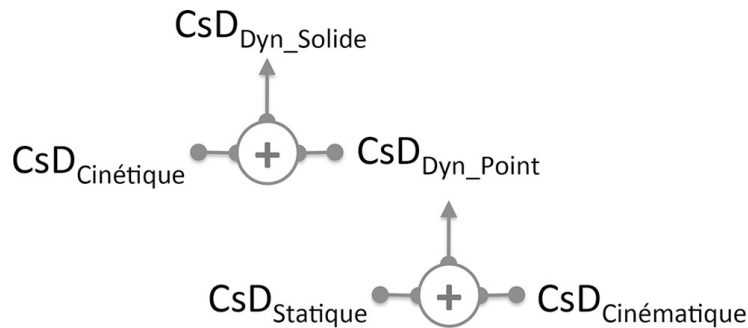
Dans le contexte didactique présent, nous décidons de réduire la « mécanique du solide » à la « dynamique du solide » et de présenter cette dernière comme la syncrétisation de la « statique du solide » et de la « cinétique du solide » ; La « cinétique du solide » mobilisant pour sa part la « cinématique du solide ».

Il est aussi possible de réduire le solide à une masse concentrée, c'est-à-dire à un objet pesant, mais sans dimension. Ce champ constitue alors celui de la « dynamique du point ».

Aussi, et comme le montre la figure 112, les Connaissances spécifiques du Domaine de la « mécanique du solide rigide » peut être décrit comme une composition de CsD. C'est-à-dire :

$$\text{CsD}_{\text{Méca}} = (\text{CsD}_{\text{Dyn_solide}} = \text{CsD}_{\text{Cinétique}} + [\text{CsD}_{\text{Dyn_Point}} = \text{CsD}_{\text{Statique}} + \text{CsD}_{\text{Cinématique}}])$$

Figure 112 : Structure sémantique de la CsD Mécanique du solide rigide



10.3.1.2. La recherche de « connaissances auxiliaires » d'expert

issues de la pratique de la tâche scolaire : ΣK_{Tcplx_D}

En étudiant toutes les annales de concours sur une durée de plus d'une trentaine d'années, nous avons cherché à identifier des récurrences en termes de situations-problèmes (configurations stéréotypes et « conditions de fonctionnement »), de types de questionnement et leur rhétorique, de routines de résolution, ou encore de résultats (forme canonique).

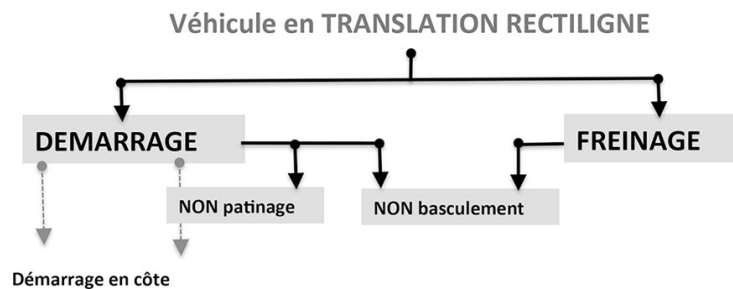
a. La récurrence des « situations-problèmes »

Nous avons remarqué que de nombreux problèmes concernent le déplacement d'un objet de type véhicule (bicyclette, moto, scooter, véhicule autonome, voiturette électrique, chariot élévateur, robot de manutention autonome, fauteuil motorisé pour handicapé...) ou encore le déplacement d'un pendule (téléphérique, grue de chantier, récupérateur de houle, robot-manipulateur, quille pendulaire de bateau, un gyropode...). Ces systèmes intègrent des mécanismes de transformation de mouvement de type réducteur à engrenages ou système articulé multi-barres.

Ces catégories de « situations problèmes » peuvent être caractérisées par des configurations stéréotypes et des conditions de fonctionnement. Par exemple, dans un problème de la catégorie « véhicule », on peut avoir des configurations de types « véhicule dans une pente » ou « véhicule sur une route horizontale ». Le fonctionnement est précisé par des conditions de type « en phase d'accélération », « en phase de freinage », « en limite de patinage » ou encore « en limite de basculement ».

Le croisement de ces données permet de construire une typologie des problèmes (cf. figure 113) qui favorise la compréhension d'un problème.

Figure 113 : Typologie de situations problèmes en dynamique du solide



b. La récurrence des « questionnements »

Les questionnements associés aux problèmes présentent aussi quelques caractéristiques remarquables. Nous avons identifié trois catégories :

Les questionnements à « consigne unique ».

Ils nécessitent de trouver les savoirs procéduraux à mobiliser. Ils renvoient à une approche constructiviste. Il faut donc mobiliser un savoir-faire pour analyser la formulation de la consigne.

Questionnement à « résultat donné ». Il faut expliciter comment retrouver la solution au problème à partir des données fournies.

Les questionnements à « liste de consignes à *tiroir* ».

Ils relèvent d'une approche behavioriste : chaque consigne correspond à une étape du savoir procédural à mobilier.

Il faut donc mobiliser un savoir-faire pour analyser la formulation de l'ensemble des consignes.

L'identification du « type de questionnement », notamment son caractère « constructiviste » ou « behavioriste », constitue une connaissance procédurale d'expert.

On peut y associer aussi des « rhétoriques de questionnement » : par exemple, « établir une relation générale entre les paramètres, puis particulariser cette relation en utilisant les conditions de fonctionnement (appelées aussi conditions aux limites) ».

c. La récurrence des « routines de résolution *ad hoc* »

Nous avons là aussi identifié quelques régularités.

Par exemple, la détermination d'un paramètre (effort ou accélération) pour éviter le basculement d'un « véhicule » relève toujours de la même routine. On trouve aussi des « routines de résolution *d'un système d'équations* », qui relèvent du champ des mathématiques appliquées. Par exemple, les techniques-astuces qui permettent de résoudre une équation trigonométrique ou différentielle.

d. La récurrence des « résultats »

Parmi les résultats produits au cours de la résolution d'une catégorie de problème, on peut identifier des formes canoniques. Par

exemple, l'équation de mouvement d'un pendule ou encore l'expression d'une accélération limite pour éviter le basculement.

Cet ensemble de récurrences, que sont les « catégories de situations-problèmes », et leurs « configurations stéréotypes » ainsi que les « conditions de fonctionnement », les « types de questionnement » et leurs « rhétoriques », les « routines de résolution *ad hoc* » ou encore les « formes canoniques des résultats », constituent des connaissances d'expert. Elles participent de l'efficacité de la résolution d'un problème notamment pour les phases de compréhension du problème, de mobilisation des connaissances pour résoudre le problème, et de validation de la cohérence du résultat.

Elles agissent sur la durée mise pour résoudre le problème et sur la charge cognitive. Elle contribue à réduire le stress et la fatigue et à augmenter la confiance en soi.

10.3.1.3. Formalisation générale de la $CsD_{Méca}$

À partir de ces caractéristiques générales du champ de la mécanique du solide rigide ainsi établies, nous pouvons caractériser les Connaissances spécifiques du Domaine ($CsD_{Méca}$) par des tâches de résolution de problèmes ($PB_{Méca}$) qui mobilisent des connaissances déclaratives et procédurales ($Kd+Kp$) issues des domaines de la mécanique ($K_{Méca}$), de technologie des mécanismes ($K_{Mécanismes}$) et des mathématiques appliquées (K_{Maths}), mais aussi par les connaissances auxiliaires d'expert issues de la pratique de la tâche ($KdTi+KpTi$).

On peut donc formuler cette Connaissance spécifique de Domaine de la façon suivante :

$$CsD_{Méca} = \{PB_{Méca} ; K_{Mécanismes} + Kd_{Méca} + Kp_{Méca} + K_{Contact} + Kd_{PBméca} + Kp_{PBméca} + K_{maths}\}.$$

Nous avons aussi défini cette CsD comme une combinaison synchrétique de CsD (ΣCsD), pour lesquelles cette structure générale s'applique et va faciliter l'inventaire de leurs composantes.

10.3.1.4. Approche plus spécifique des différentes composantes

du champ de connaissances : $CsD_{Meca} = \Sigma CsD$.

Pour ne pas nuire à la clarté de notre discours, nous limiterons de notre propos aux Connaissances spécifiques du Domaine de la « statique du solide rigide » ($CsD_{Statique}$).

Ce champ de la mécanique appliqué à un système mécanique au repos (qui ne bouge pas, c'est-à-dire en équilibre) donne naissance à la « statique du solide », caractérisé par le « Principe Fondamental de la Statique » (ou PFS) et son pendant procédural. Ce dernier permet d'établir des relations (mathématiques) entre les efforts subis par l'objet et des dimensions de longueur (et/ou d'angle) définissant l'objet. On y distingue aussi dans ce champ quelques lois empiriques définissant certains contacts entre les objets, par exemple le frottement.

Les connaissances spécifiques de ce Domaine peuvent formuler comme suit :

$$CsD_{Statique} = \{PB_{Statique} ; K_{Mecanismes} + (Kd_{statique} + Kp_{statique}) + K_{Contact} + (Kd_{PB_Statique} + Kp_{PB_Statique}) + K_{maths}\}.$$

En sachant que :

Les tâches sont des tâches de résolution de problème fermé qui vise à déterminer l'expression et/ou la valeur d'efforts (force ou couple) ou de paramètres de position (linéaire ou angulaire).

$$\text{Soit } PB_{Statique} = PB_{effort} + PB_{position}$$

Les savoirs en « technologie des mécanismes » ($K_{\text{Mécanismes}}$) se limitent aux différentes architectures élémentaires représentatives d'un véhicule en contact avec le sol.

Soit $K_{\text{Mécanismes}} = \Sigma \text{Architecture}_{\text{Véhicule}}$

Les savoirs en « statique du solide rigide » correspondent aux deux théorèmes du PFS et aux procédures d'application du PFS (par le calcul et graphiquement) ainsi que des lois sur le contact entre solides (frottement et résistance au roulement).

Nous ajoutons aussi un savoir-faire, réalisable mentalement, que nous nommons « routine d'Archimède ». C'est une technique qui se veut avant tout pragmatique et qui permet de résoudre problème à l'aide d'opérations mathématiques élémentaires.

Soit $(Kd_{\text{Statique}} + Kp_{\text{Statique}} + K_{\text{Contact}}) = Kd_{\text{Théoreme_PFS}} + Kp_{\text{PFS}} + \text{Routine}_{\text{Archimède}} + K_{\text{frottement}}$

Les savoirs en « mathématiques appliquées » couvrent les calculs vectoriels et torsoriels.

Soit $K_{\text{maths}} = Kp_{\text{calcul Vectoriel et Torsoriel}}$

Les connaissances « issues de la pratique de la tâche » portent d'abord sur la reconnaissance d'un problème de statique. On y trouve ensuite ensemble de configurations de problèmes portant sur des systèmes de type « véhicule », auquel vient s'adosser des routines de résolution de problèmes (PB) de « NON-basculement » ou de « point de patinage en pente ».

Il faut aussi ajouter une procédure de résolution d'un problème de statique qui précise notamment qu'il faut penser à mobiliser ces connaissances d'expert.

Soit $K_{\text{PB_Statique}} = (Kd_{\text{PB_Statique}} + Kp_{\text{PB_Statique}}) = \text{Routine}_{\text{Reconnaissance}} + \text{Notice_résolution}_{\text{PB_Statique}} + \text{Type}_{\text{PB_Statique_Véhicule}} + \text{Routine}_{\text{PB_Non_Basculement}} +$

*Routine*_{Point_Patinage}.

La CsD du champ de la « statique » peut se reformuler de la manière suivante :

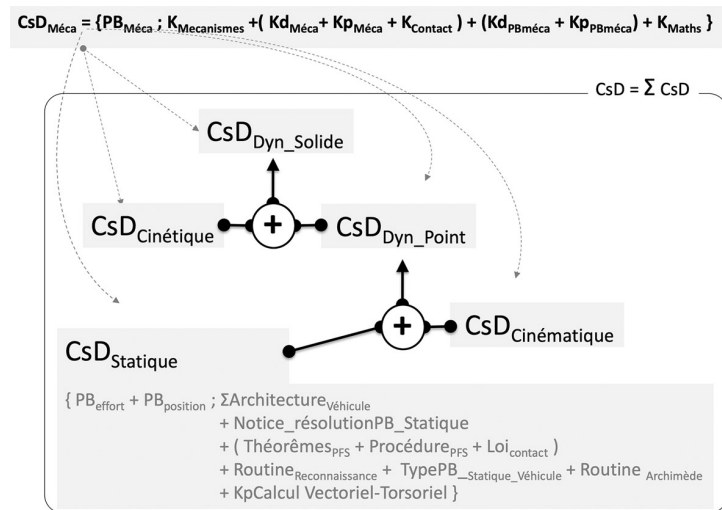
$$\begin{aligned} \text{CsD}_{\text{statique}} = \{ & \text{PB}_{\text{effort}} + \text{PB}_{\text{position}} ; \text{Routine}_{\text{Reconnaissance}} + \\ & \Sigma \text{Architecture}_{\text{Véhicule}} + \text{Théorèmes}_{\text{PFS}} + \text{Procédure}_{\text{PFS}} + \text{Loi}_{\text{contact}} + \\ & \text{Notice_résolution}_{\text{PB_Statique}} + \text{Type}_{\text{PB_Statique_Véhicule}} + \text{Routine}_{\text{Archimède}} + \\ & \text{Kp}_{\text{Calcul Vectoriel-Torsoriel}} \}. \end{aligned}$$

10.3.1.5. En guise de synthèse

Comme l'illustre la figure 114, le champ notionnel associé à la résolution d'un problème de mécanique du solide rigide peut être caractérisé par une Connaissance spécifique de Domaine (CsD_{Méca}), combinaison syncrétique de CsD (ΣCsD). Chacune d'entre elles est organisée autour d'une même structure générale, formulée de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \text{CsD}_{\text{Méca}} = \{ & \text{PB}_{\text{Méca}} ; \text{K}_{\text{Mecanismes}} + \text{Kd}_{\text{Méca}} + \text{Kp}_{\text{Méca}} + \text{K}_{\text{Contact}} + \text{Kd}_{\text{PBméca}} + \\ & \text{Kp}_{\text{PBméca}} + \text{K}_{\text{maths}} \}. \end{aligned}$$

**Figure 114 : Représentation du champ notionnel
de la CsD Mécanique du solide rigide**



La représentation de la structure sémantique du champ notionnel nous en offre une vue d'ensemble (figure 112). Elle fait office de carte du « pays du savoir », à partir de laquelle nous avons cherché à élaborer le parcours d'enseignement-apprentissage.

10.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

10.4.1. Les buts d'apprentissage

L'objectif pédagogique du dispositif d'enseignement-apprentissage vise à permettre à chaque étudiant d'élaborer une compétence dans la résolution de problème de mécanique du solide rigide. L'acquisition de cette compétence repose (a) sur la pratique de tâches de résolution de problèmes qui nécessitent de (b) mobiliser des connaissances *ad hoc*. Pour l'expert, cela signifie (Lemaire, 2012) :

acquérir une meilleure représentation de l'information dans un domaine ;

acquérir et utiliser des procédures, des algorithmes ou des règles plus efficaces

Les buts d'apprentissage concernent donc l'élaboration de tous les formats de connaissances déclaratives et procédurales associées à la $CsD_{Méca}$. C'est-à-dire celles qui relèvent de la « mécanique du solide rigide » ($K_{Méca}$), de la « technologie des mécanismes » ($K_{Mécanismes}$), des « mathématiques appliquées » (K_{Maths}) et des connaissances d'« expert de la tâche scolaire » ($K_{PB_méca}$).

Cependant, élaborer une compétence nécessite de conceptualiser la tâche. Nous identifions donc ici une autre catégorie de buts d'apprentissage ; celle qui porte sur le concept de tâche de résolution de problèmes de mécanique du solide rigide (et des formats de connaissances particuliers des tâches de résolution de problèmes des différents domaines de la mécanique du solide rigide : statique, cinématique, cinétique et dynamique du solide rigide).

10.4.2. Le parcours d'apprentissage

Le parcours d'apprentissage doit permettre (a) d'élaborer les connaissances nécessaires à la tâche et (b) de s'entraîner à les mobiliser en réalisant ces tâches. Nous avons d'abord défini un schéma général d'apprentissage, illustré par la figure 115. Il s'articule autour de trois phases :

conceptualisation de la tâche de résolution de problème de mécanique du solide rigide :

Le *format-BUT* renvoie à la $CsD_{Méca}$. Son contenu porte sur la résolution de problème (connaissance métacognitive), les buts, les sous-tâches et les quatre catégories de connaissances à mobiliser : la Technologie des mécanismes, les différents champs de la mécanique du solide, les mathématiques et les connaissances issues de la pratique de la tâche.

Ce format de connaissance fait clairement fonction de structure d'accueil de connaissances. Il fait aussi office de premier niveau d'informations à propos des connaissances à acquérir. Autrement dit, le concept visé ici est une métaconnaissance du domaine.

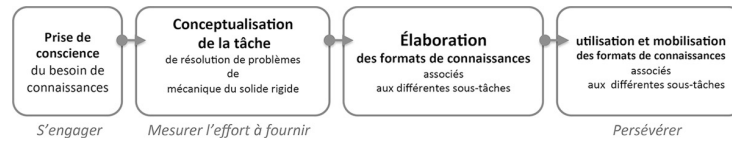
élaboration des formats de connaissances associés aux différentes sous-tâches :

Les formats de connaissances visés sont ceux nécessaires à la réalisation respective des sous-tâches : résolution d'un problème de statique du solide, de cinématique du solide, de dynamique du point, de cinétique et de dynamique du solide. Les connaissances auxiliaires d'expert, celles issues de la pratique de la tâche, constituent la catégorie de *format-BUT* qui donne sens et raison d'être au parcours d'apprentissage.

utilisation et mobilisation des formats de connaissances associés aux différentes sous-tâches :

Cette phase de transfert de connaissances relève clairement de la procéduralisation de connaissances et vise l'autonomisation de la connaissance. L'enjeu est l'expertise : c'est-à-dire permettre à l'étudiant de résoudre n'importe quel problème de mécanique du solide d'un sujet de concours ; qu'il demande à mobiliser des connaissances auxiliaires ou non. Cette capacité repose sur la qualité et la rapidité du retour, ainsi que la possibilité de pratiquer (Simon, 1992). Son apprentissage relève de la prise de conscience procédurale : expliciter son action.

Figure 115 : Schéma général d'apprentissage de la tâche de résolution d'un problème de mécanique



Nous avons enrichi ce schéma d'un dispositif de motivation, organisé autour de trois fonctions :

S'engager dans le parcours d'apprentissage. Dans un premier temps, il s'agit, pour l'étudiant, de prendre conscience de son besoin de connaissances, pour résoudre un problème de mécanique du solide rigide d'une épreuve de concours. Dans un second temps, d'accorder de l'utilité à la formation pour lever ce déficit de connaissances.

Mesurer l'effort à fournir. C'est l'autre rôle de la phase de conceptualisation de la tâche de résolution de problèmes de mécanique du solide rigide : au travers de la formulation du concept, proposer une vue d'ensemble des connaissances à acquérir.

Persévérer dans l'apprentissage. L'étudiant doit pouvoir mesurer ses progrès dans la réalisation d'une tâche de résolution de problème particulière et ceci grâce à l'utilisation des connaissances.

Nous avons ensuite cherché à préciser le parcours d'apprentissage en gérant la complexité de l'apprentissage des connaissances nécessaires à réalisation de la tâche. Nous avons adopté deux principes de planification :

Élaborer des parties pour construire un tout : apprendre à résoudre des problèmes de statique et/ou de cinématique avant d'apprendre à résoudre un problème de dynamique. Les CsD_{Statique} et $CsD_{\text{Cinématique}}$ constituent des connaissances précurseurs à la $CsD_{\text{Dynamique}}$. Dans le cas

présent, cela revient à appréhender la tâche globale étape par étape que tout d'un coup.

S'appuyer sur les connaissances préalables des étudiants pour en élaborer de nouvelles. À partir de résultats de plusieurs recherches, Ambrose, Bridges, DiPietro, Lovett et Norman (2010) soutiennent que les étudiants apprennent plus facilement quand ils ont déjà des connaissances dans le domaine et s'ils peuvent lier ce qu'ils sont en train d'apprendre à ce qu'ils savent déjà. Cette conception est à rapprocher des thèses soutenues par Van Mërrienboer concernant les apprentissages à partir d'environnements construits autour de thèmes reliés à la vie courante (Bellec, 2015).

Par exemple, nombre de dessins animés ou de bandes dessinées montrent comment soulever un objet très lourd à l'aide d'une barre qui fera office de levier. Cette situation renvoie à la célèbre affirmation d'Archimède (qu'on lui attribut, en tout cas) « *Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde* ». Les connaissances abordées relèvent de la statique ; ce domaine de connaissances est appréhendé dès l'école primaire (via le concept de bras de levier, et l'équilibre d'une balance de pesée). Elles correspondent à une « mécanique élémentaire », pratique, faisant appel au bon sens physique, facilement accessible, explicative de nombreuses situations de la vie courante. En tant que telles, elles constituent une CsD permettant de résoudre quelques problèmes élémentaires de statique.

En conséquence de quoi, nous avons élaboré un schéma de planification, illustré par la figure 116 (issue de la figure 114), et qui enrichit le schéma général (figure 115), qui s'organise de la manière suivante :

10.4.2.1. Étape 1

Le parcours débute par l'apprentissage de la résolution d'un problème de statique à l'aide de connaissances élémentaires (pour ne pas dire intuitives). Elles correspondent aux connaissances qu'aurait utilisées Archimède pour « soulever le monde » : un point d'appui, un bras de levier et une poussée verticale exercée par un groupe de quelques individus.

Cette CsD, appelée $CsD_{\text{Archimède}}$, permet d'introduire une situation typique en « statique du solide » (celle d'un solide en équilibre sous l'action de trois forces parallèles) ainsi qu'une « routine de résolution » (permettant d'obtenir deux relations mathématiques élémentaires entre les forces et les distances, i.e. les bras de levier). Ces deux relations forment en fait un format de connaissances particulier du principe fondamental de la statique (PFS) et seront appréhendées comme telles (au travers d'un effet Jourdain).

10.4.2.2. Étape 2

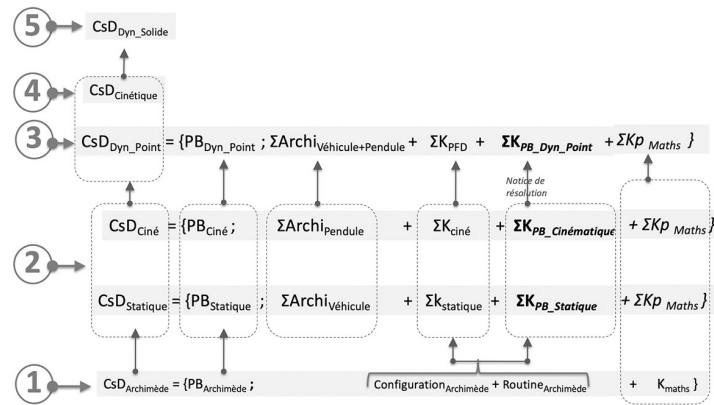
Cette étape propose un apprentissage en parallèle de Connaissances spécifiques aux Domaines de la « statique » et de la « cinématique ». Les problèmes de statique porteront sur des solides de type « véhicule », alors que ceux de cinématique seront associés à des solides de type « pendule ».

10.4.2.3. Étape 3 à 5

L'apprentissage de la CsD de la résolution de problèmes de « dynamique du point » ($CsD_{PB_Dynamique_point}$) repose sur l'agrégation de deux premières compétences. Un enrichissement en termes de « cinétique du solide » ($CsD_{PB_Cinétique}$) permettra d'appréhender les

tâches de résolution de problèmes de « dynamique du solide » ($CsD_{PB_Dynamique}$).

Figure 116 : Schéma de planification de la CsD mécanique du solide rigide



Comme le montre la figure 116, les connaissances auxiliaires (ΣK_{PB_D}), dues à l'expertise, sont construites progressivement en « appui de l'une sur l'autre » ou en « agrégation de deux d'entre elles ». Tout au long du parcours d'apprentissage, on introduit des outils mathématiques adaptés à la CsD : tout d'abord des opérations mathématiques élémentaires, puis le calcul vectoriel, torsoriel et, en dernier lieu, le calcul matriciel.

10.4.3. Le parcours d'enseignement-apprentissage

Pour transformer le parcours d'apprentissage en parcours d'enseignement-apprentissage, nous souhaitons que la rencontre avec l'expert soit le plus profitable possible au novice. C'est-à-dire :

centrer l'élaboration des connaissances d'expert (fondamentales et auxiliaires) nécessaires à la réalisation de la tâche. Celles qui aident à

décoder un sujet (*i.e.* trouver la connaissance à mobiliser) et à le résoudre le plus efficacement possible.

Pour cela, nous proposerons des tâches d'études de photocopiés de cours sur les connaissances fondamentales en travail personnel. En présentiel, les buts d'enseignement sont de deux ordres :

évaluer les connaissances fondamentales via une tâche d'évaluation formative ;

faire comprendre les connaissances auxiliaires via une tâche d'exposé.

centrer sur la pratique de l'étudiant : l'aider à agir, l'aider à réfléchir sur son action, et l'aider à expertiser son action.

Pour cela, nous proposons des tâches de résolution de problèmes pour faciliter la procéduralisation de savoir-faire et de démarches. La réalisation de la tâche se fera progressivement. La première tâche sera d'abord résolue par l'enseignant (sous forme de monstration). Les autres tâches proposées seront ensuite partiellement résolues avec des conseils pour résoudre, puis partiellement résolues sans conseil pour résoudre, puis non résolues avec des conseils pour résoudre et enfin non résolues sans des conseils pour résoudre. Le nombre et la fréquence des connaissances à mobiliser augmenteront progressivement. Des tâches spécifiques permettront de lutter contre la résolution de problème par analogie de surface. Les quelques tâches d'apprentissage réalisées en présentiel seront associées à une tâche d'enseignement de soutien-entraînement.

Nous adossons à chacune de ces tâches, une tâche d'étude de cas pour aider à la prise de conscience procédurale. L'étudiant devra décrire (par exemple, sous forme de logigramme) la manière dont il a résolu la tâche de résolution de problème. La tâche d'enseignement associée est une tâche de maïeutique. Les buts d'enseignement sont de deux ordres :

soutenir l'explicitation procédurale ;
soutenir l'expertise de la pratique de l'étudiant.

10.5. Concevoir les ressources pour enseigner et apprendre

À partir de cette première esquisse du plan d'action, nous avons commencé à façonner des traces écrites d'enseignement et d'apprentissage. Notamment celles qui ont vocation à favoriser l'acquisition d'une meilleure représentation de l'information du domaine de connaissances.

Parmi ces traces, on trouve une représentation de la CsD Mécanique du solide rigide proche de celle de la figure 116. Elle contribue à faire comprendre le concept de tâche de résolution d'un problème de mécanique du solide.

La figure 117 propose une représentation des catégories de mécanismes fréquemment présents dans les problèmes de mécanique du solide rigide. La figure 118, qui peut être associée à la figure 117, présente les types de situations-problèmes en statique.

Figure 117 : Catégories de mécanismes

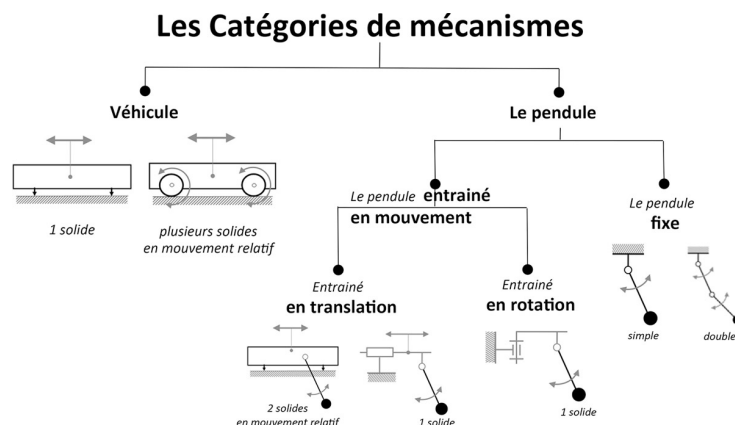
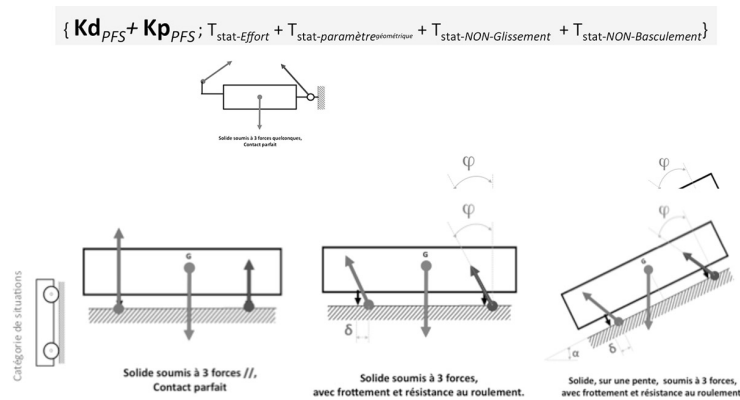


Figure 118 : Types de situations-problèmes en statique



10.6. À propos de cet exemple

Comme nous l'avons précisé en introduction, cette étude de cas vise à illustrer la démarche de conception d'un dispositif d'enseignement d'une tâche complexe, en convoquant notre modèle de compétence, qui intègre les « connaissances auxiliaires » d'expert de la tâche scolaire (cf. chapitre 2 « Théorie de l'acte d'enseigner »). Nous avons limité notre exposé à la caractérisation du champ notionnel et à l'esquisse de documents d'apprentissage des « connaissances auxiliaires », issues de la pratique de la tâche.

En ce qui concerne le processus de planification, nous pensons qu'il est tout à fait judicieux de convoquer le modèle « *4C-ID / Ten Steps* » (van Merriënboer & Kirschner, 2018). Selon nous, le canevas-plan proposé pour planifier l'apprentissage de tâches complexes (Complex Learning), est applicable aux tâches scolaires dites de « bachotage », comme celles d'examen ou de concours. Nous pensons que l'ingénierie développée à partir de notre modèle de caractérisation d'une compétence (cf. chapitre « Théorie de l'acte de concevoir »), et illustrée dans cet exemple, contribue à caractériser le contenu des quatre composantes du modèle proposé par Kirschner et

Van Merriënboer. En l'occurrence, les documents d'apprentissage des « connaissances auxiliaires », issues de la pratique de la tâche (cf. figures 117 et 118), constituent des « informations de support » (*Supportive information*), qui concernent les explications sur l'organisation du domaine concerné et sur les tâches.

11. ENSEIGNER L'INGÉNIERIE PÉDAGOGIQUE EN MASTER MÉTIERS DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION, EN FORMATION CONTINUE D'ENSEIGNANTS

11.1. Apport de cet exemple

Cet exemple vise à illustrer le processus de conception d'un dispositif d'enseignement d'un concept, en prenant appui sur le processus emblématique « Faire comprendre ». Nous avons cherché plus particulièrement à montrer :

Comment élaborer un parcours d'apprentissage à partir d'une carte des formats et d'une carte de réseau(x) sémantique(s).

Comment élaborer un parcours d'enseignement pour *Faire comprendre* un concept.

Comment décrire un parcours d'enseignement à partir d'un canevas-plan en spirale.

11.2. Contexte et objectif de l'enseignement

Le dispositif d'enseignement-apprentissage étudié ici celui d'une séance introductive d'un module de formation en Ingénierie Pédagogique (IP), dont le contenu est centré sur notre « Théorie ID des 3 Actes » (*Théorie ID-3A*). Il s'adresse à des enseignants novices et confirmés. L'objectif est de présenter « en quelques mots » ce savoir professionnel méconnu. L'enjeu réside dans l'acceptabilité de ce savoir, c'est-à-dire l'intention de l'utiliser.

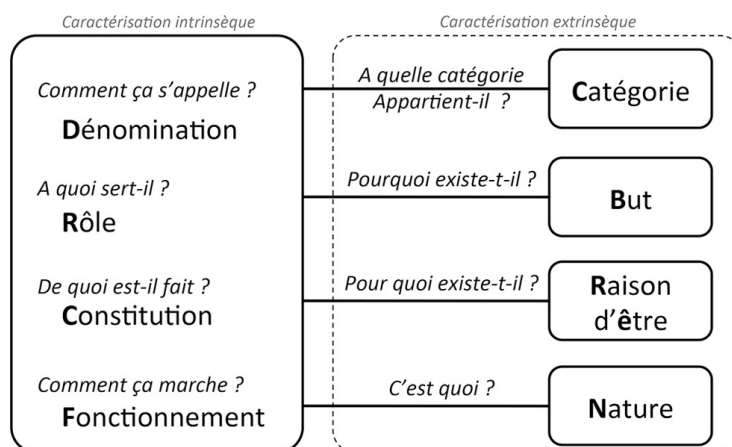
11.3. Définir le contenu à enseigner

11.3.1. De la commande au champ notionnel

Selon nous, la commande ne porte pas uniquement sur le concept de « Ingénierie Pédagogique » *stricto sensu*, mais demande aussi à le « positionner » en tant que savoir professionnel. Nous avons donc mené une caractérisation du champ notionnel en ce sens.

Tout d'abord, afin de spécifier le concept d'« Ingénierie Pédagogique », nous avons cherché à préciser ses principales caractéristiques conceptuelles. Le but est d'élaborer une carte d'identité du concept, en s'appuyant sur la structure sémantique comme illustrée par la figure 119.

Figure 119 : Structure sémantique d'un concept



Ce qui nous a conduits à définir le concept de la manière suivante :

Comment ça s'appelle ? (sa dénomination D)

Nous l'appelons Ingénierie Pédagogique (IP).

Selon Basque (2018), on rencontre les dénominations francophones suivantes :

Le *Design Pédagogique (DP)* ou *Conception Pédagogique*, traduction de *Instructional Design (ID)*. En France, on trouve aussi l'appellation *Ingénierie Didactique* (Chevellard, 2011).

Ça appartient à quelle catégorie ? (sa catégorie C)

C'est un *savoir professionnel d'enseignant* (Bourdoncle, 1994), plus particulièrement un *savoir pour enseigner* (Altet, 2003) et plus spécifiquement un *savoir pour la préparation d'un enseignement* (Basque, 2018).

Pour quoi existe-t-elle ? (Pour...)

But (B) :

L'Ingénierie Pédagogique (IP) vise à former l'enseignant *ingénieur-pédagogue* (Dessus, 2010), concepteur de son dispositif d'enseignement (Leroyer *et al.*, 2009 ; Puren, 2011).

Objectif (O) :

Elle fournit une aide pour préparer rationnellement (Stanovich, 2011) un enseignement et pouvoir le réguler rationnellement lors de la conduite (Musial *et al.*, 2012).

Finalité (F) :

L'IP contribue à l'autonomie dans la préparation d'un enseignement. C'est-à-dire la « capacité de se conduire soi-même » (Meirieu, 2008).

Pourquoi existe-t-il ? (Parce que... sa raison d'être Re)

(Re1) L'IP est une réponse possible aux attentes du référentiel de formation des professeurs, caractérisées par les compétences communes à tous les professeurs (M.E.N, 2013).

(Re2) L'enseignement est une activité professionnelle qui relève de l'ingénierie, c'est-à-dire d'une science de la conception (Simon, 1996 trad. en 2004).

Ces trois derniers attributs participent de la caractérisation extrinsèque du concept. Sans en préciser le contenu, ils permettent d'en donner des aspects via des relations avec d'autres concepts. Ils contribuent à intégrer cette connaissance à un domaine de connaissances.

C'est quoi ? (sa nature N)

(N1) L'IP est un processus de préparation et de conduite d'un enseignement.

(N2) Sa mise en œuvre est très exigeante (Basque, 2017).

Il sert à quoi ? (son rôle R)

L'IP consiste à déterminer des dispositifs d'enseignement communicables et reproductibles. Cela repose sur une description, une étude et des justifications aussi précises et consistantes que possible des conditions d'utilisation de ce dispositif. (Brousseau, 2008 ; dans Chevallard, 2011)

C'est fait de quoi ? (sa constitution Co)

L'IP est constitué d'un ensemble de démarches, appelées Théorie ID (Dessus, 2006). Elles précisent comment concevoir et mettre en œuvre un dispositif ou une séquence de formation et d'apprentissage.

Parmi ces démarches, on trouve la *Théorie IP-3A*. Elle s'articule autour des trois composantes : une théorie de « l'Acte de concevoir l'Acte d'enseigner pour favoriser l'Acte d'apprendre », qui prend appui sur une théorie de l'« Acte d'enseigner », fondé sur une théorie de l'« Acte d'apprendre à l'école ».

Comment ça marche ? (son fonctionnement F)

Le processus typique de l'IP, à caractère systémique, désigné par l'acronyme anglais ADDIE s'organise autour de cinq activités : l'Analyse de la commande (besoins, public, contexte et contenu) (*Analysis*), la Conception de la stratégie pédagogique (*Design*), l'Élaboration des ressources matérielles (*Development*), la Mise en œuvre (*Implementation*) et l'Évaluation du dispositif d'enseignement-apprentissage (*Evaluation*).

La « Théorie IP-3A » couvre les quatre premières étapes du processus.

Le processus de conception relève avant tout d'une transformation progressive d'un « écart entre un savoir et la connaissance qu'en a un élève » en un « parcours d'apprentissage » puis en un « parcours d'enseignement-apprentissage ».

Elle adosse à une démarche d'expert (Bourdoncle, 1993), une démarche plutôt linéaire (à la limite itérative), fondée sur une suite

d'algorithmes, avec un ensemble bien défini de connaissances pour concevoir (Démarche des « cartes »). Elle correspond à celle d'un enseignant-concepteur planificateur.

Ces trois derniers attributs contribuent à la caractérisation intrinsèque du concept : il précise le contenu qui se cache derrière l'appellation *Ingénierie Pédagogique* (sa dénomination D).

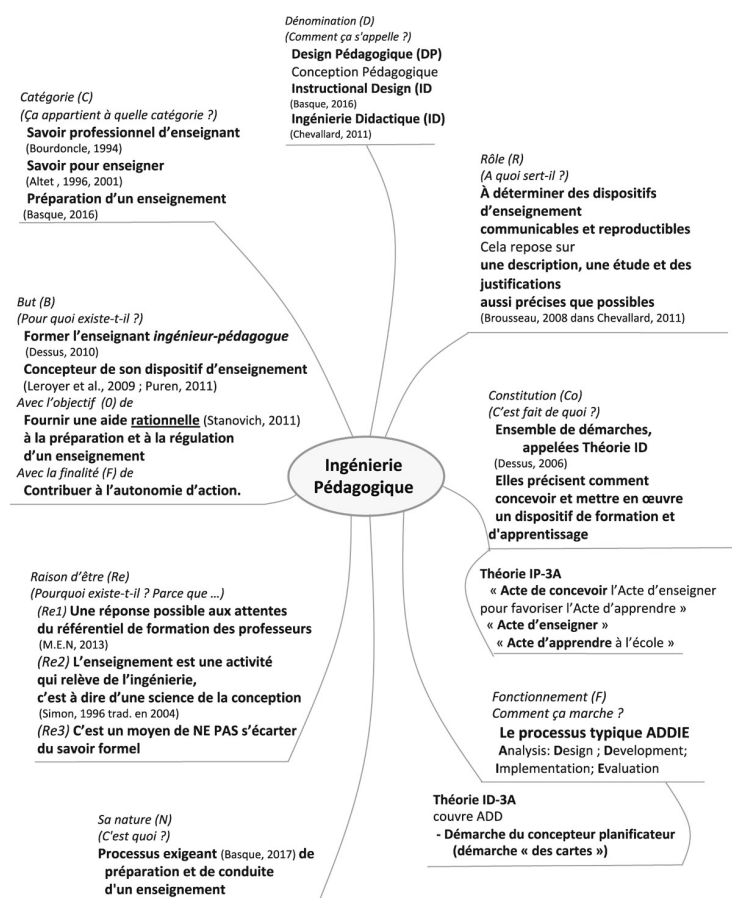
Pour situer l'Ingénierie Pédagogique au sein du champ des savoirs professionnels (Bourdoncle, 1994), nous avons investigué le champ de la recherche à propos des représentations sociales (Abric, 1994 ; Jodelet & Moscovici, 1984) et professionnelles des enseignants (Blin, 1997) et de leur pratique professionnelle (Bourdoncle, 1993 ; Altet, 2003).

Nous avons notamment retenu les propos de Bourdoncle (1993) pour qui les *savoirs professionnels d'enseignant* sont des *savoirs composites*, fait de *savoirs d'expérience* et de *savoirs formels* (savoirs de haut niveau à caractère formel, systématique et rationalisé). Selon lui, indéniablement, dans l'enseignement, la part des activités régulées par l'expérience réelle est grande, au regard de celles régulées par des *savoirs formels*. En se référant à Huberman (1993), il écrit que « nous avons à faire davantage à un “bricoleur” qu'à un ingénieur ». Cet enseignant-bricoleur (Peraya, 2015), s'appuie sur « une démarche qui exige de l'intuition, de la créativité, de l'improvisation, et de l'expression, une démarche qui prévoit un espace où l'on peut s'écarter de tout ce qu'impliquent les règles, les formules, les algorithmes » (Gage, 1978 dans Bourdoncle, 1993).

Altet (2003) précise que l'enseignant-ingénieur s'appuie sur les apports scientifiques des sciences humaines (design pédagogique et didactique des disciplines); il rationalise sa pratique en tentant d'y appliquer la théorie.

Quant aux enseignants en devenir, ils sont dans l'attente d'un « bagage couteau suisse », « *fait de savoirs, de connaissances, de réponses, d'exemples à suivre, etc., utilisable en toutes circonstances, permettant de faire face à toutes les situations problématiques* » (Prost, 1973 ; Gasparini et al., 2004, 2005).

Figure 120 : Carte de réseau sémantique du concept de « Ingénierie Pédagogique »



Autrement dit, pratiquer l'Ingénierie Pédagogique (IP), c'est-à-dire endosser l'habit d'enseignant-ingénieur (B), c'est réguler davantage sa pratique avec des savoirs formels que par l'expérience. Il s'adosse à l'intuition en permettant de NE PAS « *s'écarter de tout ce qui implique*

les règles, les formules, les algorithmes » (Re3). D'autre part, l'IP n'est pas un « bagage couteau suisse » (N1).

En guise de synthèse, nous pouvons formuler le contenu à enseigner par la carte de réseau sémantique suivante (figure 120) :

11.4. Planifier le parcours d'enseignement-apprentissage

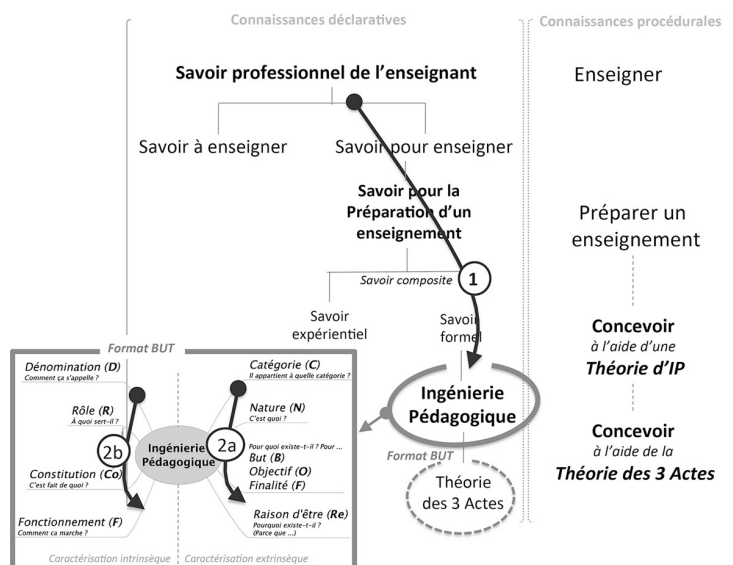
11.4.1. Du champ notionnel au parcours d'apprentissage

Le dispositif d'enseignement-apprentissage à concevoir doit permettre, à un public d'enseignants, d'élaborer le (nouveau) concept d'*Ingénierie Pédagogique*, tout en le liant à leurs connaissances de praticien. Ces dernières relèvent des *savoirs professionnels* et plus précisément de *savoirs pour préparer un enseignement*. Il nous a paru judicieux de clarifier une structure de connaissances, associée au concept de *savoir professionnel* et accueillant le concept d'*Ingénierie Pédagogique*. Nous avons choisi de la représenter à l'aide d'une carte des formats de connaissances (figure 121).

Le caractère méconnu de l'*Ingénierie Pédagogique* (dont notre longue expérience de formateur peut en témoigner) nous a conduits à élaborer un parcours d'apprentissage qui propose, en premier lieu, d'inscrire ce *format-BUT* au sein d'une structure de connaissances (faites de connaissance du public), puis, en second lieu, de lui faire corps.

Comme le montre la figure 121, la première partie du parcours correspond à un processus de *particularisation* (parcours 1), qui conduit à l'élaboration des composantes « dénomination (D) » et « catégorie (C) » du *format-BUT*.

**Figure 121 : Parcours d'apprentissage
du concept de « Ingénierie Pédagogique »**



La seconde partie du parcours d'apprentissage est un processus de *conceptualisation par enrichissement* (parcours 2a et 2b). Tout d'abord via une approche externe visant la *caractérisation extrinsèque* du *format-BUT* (parcours 2a) et donc centrée sur les composantes « nature (N) », « but & objectif (B) » et « raison d'être (Re) ». Ensuite via une approche interne visant la *caractérisation intrinsèque* du concept (parcours 2b) et donc centrée sur les composantes, « rôle (R) », « constitution (Co) » et « fonctionnement (F) ».

11.4.2. Du parcours d'apprentissage au parcours d'enseignement

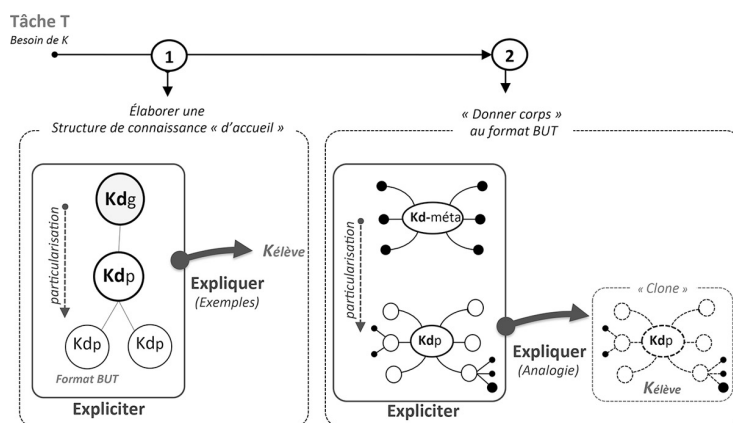
Les modalités d'enseignement à respecter sont celles d'un cours dialogué d'une durée d'environ une heure. Dans ces conditions, nous décidons de « prendre à notre compte » le parcours d'apprentissage et d'élaborer un parcours d'enseignement en nous appuyant sur le processus emblématique « *Faire comprendre* ». Selon le modèle de

l'acte d'enseigner (cf. chapitre 2 « Théorie de l'acte d'enseigner »), ce processus d'enseignement *Faire comprendre* s'articule autour d'une *explicitation* et d'une *explication* de la structure de connaissance.

Nous décidons d'organiser le parcours d'enseignement autour des deux processus apprentissage 1 et 2 (a&b) en proposant (a) de *faire comprendre* la catégorie à laquelle appartient l'ingénierie pédagogique (le *format-BUT*) et (b) de *faire comprendre* les composantes du concept d'ingénierie pédagogique. Autrement dit, nous cherchons à façonner un parcours d'enseignement qui vise l'élaboration d'une structure d'accueil pour la nouvelle connaissance visée (étape 1) avant de lui donner corps (étape 2).

Nous posons une étape liminaire pour générer l'engagement motivationnel, au travers d'un but de maîtrise, tel que celui d'acquérir des connaissances utiles pour mieux réussir la tâche professionnelle. Ensuite, l'architecture fonctionnelle du parcours découle d'une double déclinaison du processus d'enseignement *Faire comprendre*, et dont les principes généraux sont illustrés par la figure 122.

Figure 122 : Schéma de principe du parcours d'enseignement du format-BUT



Ces choix stratégiques nous amènent à une première esquisse du parcours d'enseignement, dont voici les grandes lignes.

Étape 1 : « former une structure d'accueil »

L'enjeu de cette étape de positionner le concept d'*Ingénierie Pédagogique (format-BUT)* au sein d'une structure de connaissance. Le double but d'enseignement vise à *explicit*er et à *expliquer* le savoir défini par le volet déclaratif du champ notionnel (caractérisé par la carte des formats figure 121) :

L'*explicitation* repose sur la mise en lien du *format-BUT* avec d'autres connaissances (Kdg et Kdp) au sein d'une catégorie de connaissance (les savoirs professionnels de l'enseignant). La tâche d'exposé s'appuiera sur un discours dont la rhétorique sera guidée par le processus de particularisation (du général au particulier).

L'*explication* consiste à illustrer chaque format de connaissance par un exemple connu du public (K-élève) et issu de la culture professionnelle commune.

Étape 2 : « donner corps »

L'enjeu de cette seconde étape de spécifier le concept d'*Ingénierie Pédagogique (format-BUT)*. Le double but d'enseignement vise à *explicit*er et à *expliquer* le savoir présenté par la figure 122. Le vocabulaire est adapté au public.

L'*explicitation* consiste à énoncer les composantes du concept, en répondant au questionnement rhétorique présenté sur les figures 121 et 124. Du point de vue des apprentissages, il s'agit de soutenir un processus de *particularisation* d'une métaconnaissance (Kd-méta). Du point de vue métaphorique, il s'agit de « donner corps, en partant du squelette pour aller à la peau ».

Pour soutenir l'*explication*, nous avons choisi le *traitement analogique* pour son caractère économique. On utilise une

connaissance pour présenter un tout (savoir nouveau) de manière cohérente (faire comprendre) sans que celui qui apprend accède aux attributs du tout (savoir) de manière profonde. Ce choix est le plus compatible (a) au regard du caractère méconnu de l'Ingénierie Pédagogique et (b) avec l'objectif de devoir le présenter « en quelques mots ».

Dans les faits, nous avons choisi de fabriquer un clone du concept d'Ingénierie Pédagogique, fait d'analogies et de métaphores, en nous appuyant sur la structure conceptuelle définie par la figure 120. Ce qui nous a conduits à *expliquer* chacune des composantes du concept à l'aide des traitements analogiques respectifs suivants :

Pour quoi existe-t-elle ?

Objectif (O)

L'Ingénierie Pédagogique (IP) est à la préparation d'un enseignement ce que « système de pensée lente » au mode de pensée. L'expérience de l'enseignant étant le « système de pensée rapide ».

Kahneman (2012) propose de faire la part entre l'intuition et la réflexion, les « deux vitesses de la pensée » qu'il nomme : « Pensée rapide » (intuition) et « Pensée lente » (réflexion) :

Le « système de pensée rapide » fonctionne automatiquement et rapidement, avec peu ou pas d'effort et aucune sensation de contrôle délibéré. Il parie sur la base de l'expérience. C'est une machine à tirer des conclusions hâtives.

Le « système de pensée lente » accorde de l'attention aux activités mentales contraignantes qui le nécessitent, y compris des calculs complexes. Il relève de l'incertitude et du doute. Une de ses fonctions est de surveiller et de contrôler les pensées et les actes « suggérés » par le *système 1*.

Selon Stanovich (2011), le « système de pensée lente » serait composé de deux « esprits » séparés :

L'esprit algorithmique, qui gère la pensée lente et les calculs difficiles.

La rationalité, qui caractérise un esprit engagé : plus septique face à ses intuitions.

Finalité (F)

« Quand un homme a faim, mieux vaut lui apprendre à pêcher que de lui donner un poisson » (Confucius, v^e siècle av J.-C).

« Si tu donnes un poisson à un homme, il mangera un jour. Si tu lui apprends à pêcher, il mangera toujours » (Lao Tseu, v^e siècle av J.-C).

Pourquoi existe-t-il ? Raison d'être (R)

Métaphore de la carte géographique (Cranton, 2001) :

« Sans cette dernière, on peut se rendre à destination... mais on peut aussi se perdre et emprunter de longs détours ! »

C'est quoi ? Nature (N)

(N1) Ce N'est PAS un bagage « couteau suisse ».

(N2a) C'est le propre du système de pensée lente. Le contrôle de soi (inexistant pour le « système de pensée rapide ») et l'effort cognitif (caractéristique du « système de pensée lente ») constituent les formes de travail mental antagonistes. Ce qui engendre la fatigue cognitive.

(N2b) Winston Churchill, le 13 mai 1940, devant la Chambre des Communes,

« Je n'ai rien d'autre à offrir que du sang, de la peine, des larmes et de la sueur »,

traduction libre de « I have nothing to offer but blood, toil, tears, and sweat ».

« Vous demandez, quel est notre but ? Je peux répondre en un mot : la victoire »,

traduction libre de « You ask, what is our aim ? I can answer in one word. It is victory ».

(N2c) c'est la partie immergée de l'Iceberg, celle qui détermine l'équilibre et la stabilité de ce qu'il y a au-dessus (la conduite de classe).

À quoi sert-il ? Rôle (R)

À fabriquer la notice de fonctionnement et d'utilisation d'un enseignement.

C'est fait de quoi ? Constitution (Co)

C'est le *Discours de la méthode* (Descartes, 1637)

Le *Discours de la méthode* est sous-titré :

Pour bien conduire sa raison, et chercher la vérité dans les sciences.

Pour la Théorie ID-3A

« Comment s'y prendre » pour « faire apprendre » sachant ce qu'est « apprendre ».

Comment ça marche ? Fonctionnement (F)

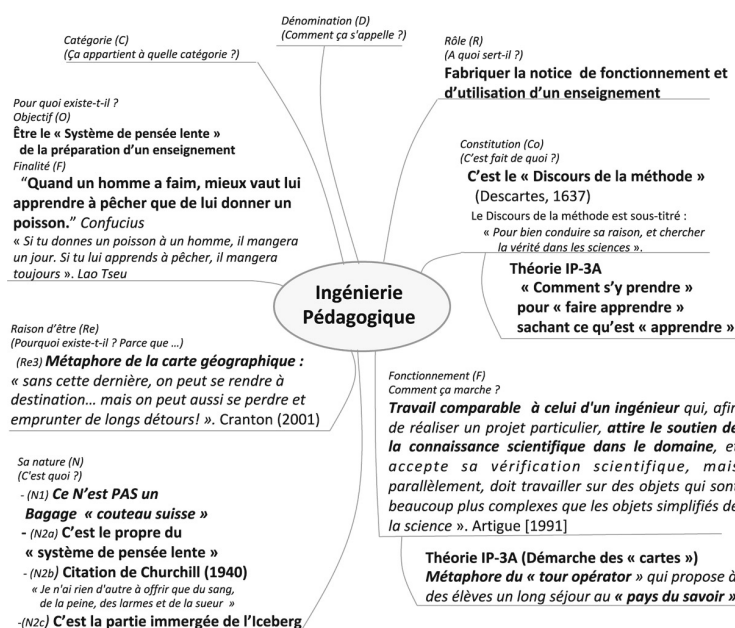
Travail comparable à celui d'un ingénieur qui, afin de réaliser un projet particulier, attire le soutien de la connaissance scientifique dans le domaine, et accepte sa vérification scientifique, mais parallèlement, doit travailler sur des objets qui sont beaucoup plus complexes que les objets simplifiés de la science » (Artigue, 1991).

Pour la Théorie ID-3A (démarche des cartes)

Métaphore du « tour operator » qui propose à des élèves un long séjour au « pays du savoir » (cf. chapitre 3 « Théorie de l'acte de concevoir »).

Ce travail de traitement analogique sur les composantes du concept d'Ingénierie Pédagogique, nous permet d'établir une nouvelle carte de réseau sémantique, une carte explicative (cf. figure 123). Les composantes « Catégorie » et « Dénomination » sont absentes de cette carte.

Figure 123 : Carte de réseau sémantique du concept de « Ingénierie Pédagogique » / Version explicative

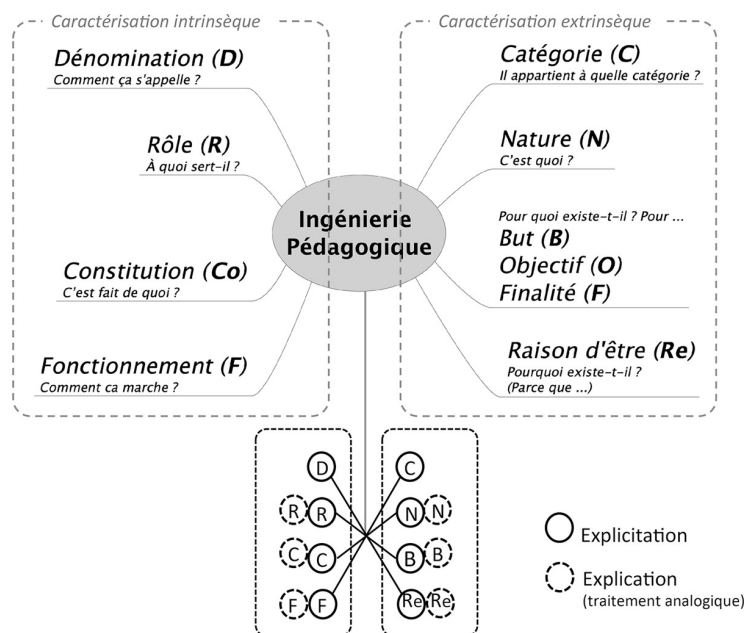


Nous aboutissons donc à deux cartes de réseau sémantique (cf. figure 124) : une « carte d'explicitation » (figure 120) et une « carte d'explication » (figure 123) du concept d'Ingénierie Pédagogique. Chacune de ses cartes constitue un niveau de formulation sur lequel on s'appuiera pour planifier.

Nous voulons aussi rappeler que, dans le traitement analogique, la correspondance n'est jamais totale : celui qui apprend n'a pas toujours le moyen de détecter ce qui est pertinent et ce qui ne l'est

pas (Richard, 1990). Il faut donc veiller à bien préciser la propriété qui est pertinente pour le terme auquel est appliquée l'analogie.

Figure 124 : Cartes de réseau sémantique du concept de « Ingénierie Pédagogique »



11.4.3. Enrichissement du parcours d'enseignement

Parmi toutes les composantes, il nous paraît fondamental de donner tout son sens à la composante « C'est quoi ? Sa nature (N) ». Cela passe par la compréhension de l'analogie : « L'Ingénierie Pédagogique est à la préparation d'un enseignement ce que le "système de pensée lente" est au mode de pensée ; l'expérience de l'enseignant est celle du "système de pensée rapide". » Par voie de conséquence, il nous faut *Faire comprendre* le « modèle de pensée à deux vitesses » de Kahneman (2012).

Pour être efficaces, nous utiliserons une *instance* à partir de laquelle nous élaborerons le *concept* de « modèle de pensée à deux vitesses ». Pour « fabriquer » cette instance, nous décidons d'utiliser le

« Test de réflexion cognitive » de Frédéric (2005). Ce test évalue la tendance à utiliser une pensée intuitive (système de pensée rapide) ou analytique (système de pensée lente). Autrement dit, il permet de voir notre faculté à prendre du recul, tout simplement, et à ne pas se laisser aller à la réflexion facile. Il propose trois problèmes dont la résolution est accessible au public visé. De manière générale, les résultats montrent qu'au moins une solution proposée sur les trois est fausse.

Nous l'utiliserons pour *faire prendre conscience* au public que l'erreur aurait pu être évitée si (a) on pense à vérifier la validité du résultat, et/ou si (b) on applique une démarche mathématique de résolution, bref (c) si on ne fait pas confiance à notre pensée facile. Il s'agit ici clairement d'un discours métacognitif à propos de la résolution d'un problème. À partir de cette instance, nous expliciterons « en quelques mots » le modèle de Kahneman.

Ce qui permettra de revenir sur l'analogie visée.

11.4.4. Intégrer la motivation au parcours d'enseignement

Pour favoriser la mise en œuvre des processus d'apprentissage retenus, il nous faut penser un dispositif qui engage le public, lui donne un but, lui permette de mesurer les efforts à fournir et enfin l'aide à persévérer.

11.4.4.1. Engager dans l'apprentissage

Pour engager le public dans cette tâche de « Test de réflexion cognitive », nous décidons de la placer juste après l'explicitation la composante « Catégorie ». Nous la présenterons comme de la manière suivante : « L'Ingénierie Pédagogique sert à préparer un enseignement. Préparer un enseignement, c'est penser cet

enseignement... Mais, vous, comment pensez-vous ? » Il s'agit ici d'engager le public dans un processus de prise de conscience métacognitif.

11.4.4.2. Définir un but d'apprentissage

Mais, cette prise de conscience a aussi une conséquence motivationnelle. Elle peut contribuer à poser un but de progrès sur sa pratique d'enseignant et, par voie de conséquence, engager le public dans l'apprentissage de notre Théorie ID-3A.

11.4.4.3. Mesurer l'effort à fournir et maintenir l'effort nécessaire (persévérer)

Pour permettre au public de mesurer l'effort à fournir (et restant à fournir) pour appréhender le concept d'Ingénierie Pédagogique (IP), nous afficherons la structure sémantique du concept, telle qu'elle apparaît figure 124. Elle sera aussi fournie au public pour soulager la tâche de prise de notes, inhérente à la tâche d'étude de cours. Les éléments de savoir seront régulièrement et progressivement affichés, tels qu'ils apparaissent figure 120.

11.4.4.4. Description (Explicitation) du parcours d'enseignement-apprentissage

Nous souhaitons maintenant décrire plus formellement le parcours d'enseignement-apprentissage.

Nous avons décidé de nous appuyer sur un *Canevas-Plan en spirale*. Nous alternerons *explicitation* et *explication* pour faire comprendre chacune des composantes du concept.

Comme le montre la figure 125, le parcours d'enseignement peut être représenté comme une « construction progressive » du réseau

sémantique défini par la figure 124.

Sur cette figure 125, nous avons volontairement limité la description du parcours d'enseignement à la *compréhension* de la caractérisation extrinsèque du concept (cf. figures 120 et 123). Ce schéma traduit graphiquement les idées suivantes :

Le Temps 1 débutera par l'énoncé de l'étiquette *Ingénierie Pédagogique* (via la projection d'une diapositive par exemple) et la présentation du plan de la leçon (via la projection de la carte de réseau sémantique de la figure 124, partie haute). *L'explicitation* de la composante « Catégorie (C) » donnera sens au concept de DP au regard du concept de savoir professionnel.

Le Temps 2 vise à *Faire comprendre* la composante « Nature (N) ; C'est quoi ? », en allant de son *explication* vers son *explicitation*. Nous renvoyons le lecteur au scénario décrit plus haut à ce propos.

Le Temps 3 est un temps de transition cognitif : on utilise la composante « dénomination (D) » pour introduire la composante « Pour quoi existe-t-il ? But (B), Objectif (O), Finalité (Fi) », qui sera traitée dans le temps 4a. Les étiquettes « Ingénierie » et « Conception » permettent de construire le but (B).

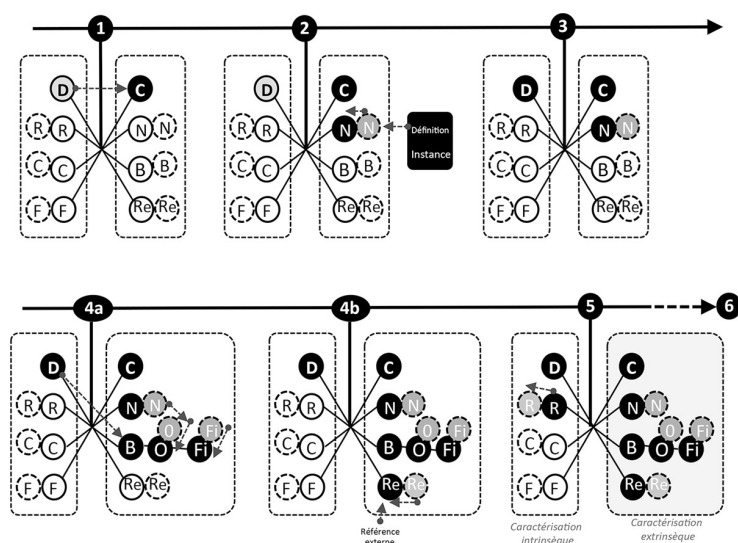
Le Temps 4a, outre le but (B), soutient la *compréhension* de « l'objectif (O) » et de la « finalité (Fi) ». Ces composantes seront d'abord expliquées, grâce à un traitement analogique, avant d'être explicitées. *L'explication* de l'objectif (O), qui s'appuie sur le « modèle de pensée à deux vitesses » s'appuiera sur l'*explication* de la composante (N) qui introduit cette analogie.

Le Temps 4b vise la compréhension de la composante « Raison d'être (Re) ». Elle fera d'abord l'objet d'une explication, grâce à une métaphore (Re), qui donnera sens à l'explicitation (Re3). Les contenus (Re1) et (Re2) seront d'abord explicités avant d'être

expliqués par une mise en relation avec les ressources de référence (Référentiel de compétences métier (M.E.N., 2013) et l'ouvrage « les sciences de l'artificiel » (Simon, 1960 ; traduit en 2004)).

À partir du **Temps 5**, on vise plus spécifiquement la compréhension des attributs du concept (caractérisation intrinsèque) : son rôle (R), sa constitution (Co) et son fonctionnement (F).

Figure 125 : Schéma du parcours d'enseignement du concept de « Ingénierie Pédagogique »



11.4.5. Du parcours d'enseignement vers le « road book » de conduite de l'enseignement

Le discours porté par ce schéma n'a de sens, et donc d'utilité, que s'il est accompagné des deux cartes de réseau(x) sémantique(s) du concept d'« Ingénierie Pédagogique » (figures 120 et 123). Cet ensemble constitue un *road book* opérationnel pour la conduite de cet enseignement. Comme pour le pilote automobile (celui qui conduit), cet ensemble de documents contient les informations nécessaires et

suffisantes pour anticiper l'action à venir et réguler en conséquence l'action présente.

11.4.6. Du parcours d'enseignement vers les traces écrites pour apprendre et enseigner

L'activité de planification s'est appuyée sur un travail de cartographie dont on va tirer profit pour définir des traces écrites pour apprendre et enseigner.

Les cartes de connaissances (figures 120, 121 et 123) ont vocation à devenir des traces écrites fournies au public (projetées et distribuées). Elles serviront de support de prises de notes (connaissances explicatives). La carte heuristique « clone », qui favorise la compréhension par traitement analogique, sera seulement projetée en fin d'enseignement pour valider la prise de notes.

Les schémas descriptifs du parcours d'enseignement (figures 122, 123 et 125) présentent un intérêt indéniable, selon nous, lors de la conduite de l'enseignement. En tant que schéma-image, il propose une vision synoptique qui allège la charge mnésique (Drouin, 1987). Il va aussi permettre de visualiser une modification du scénario prévu (et de la prendre en compte) : traiter une autre composante que celle prévue, commencer par une *explicitation* plutôt que par une *explication*. Il s'agit là de pouvoir réguler en fonction des opportunités créées par les échanges avec le public. En quelque sorte « battre le fer quand il est chaud », c'est-à-dire répondre à l'engagement cognitif du public et, en même temps (Macron, 2017), soutenir son engagement motivationnel.

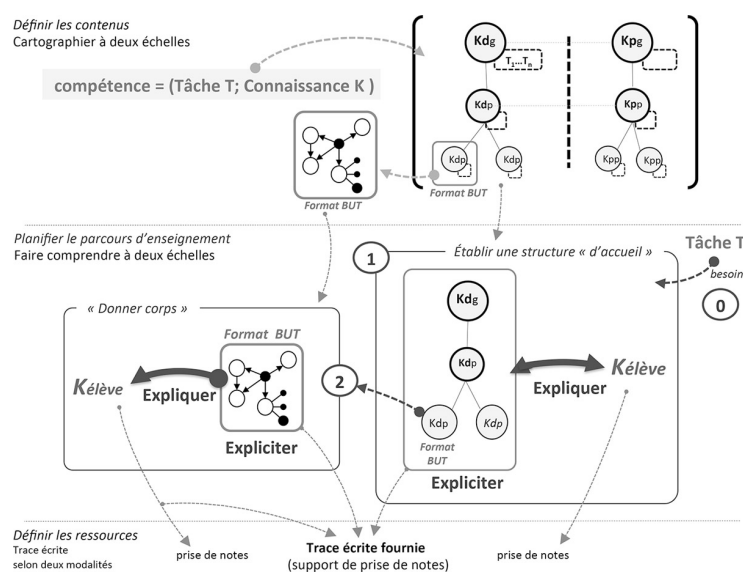
11.5. À propos de cet exemple

Au travers de cette étude de cas, nous avons cherché à illustrer la conception de l'enseignement d'un concept et plus particulièrement celui de son parcours d'enseignement-apprentissage.

Comme l'illustre la figure 126, cet exemple aussi permet de montrer l'intérêt du travail de cartographie pour donner corps au processus d'enseignement emblématique *Faire comprendre*. Comment, à partir d'une caractérisation de la compétence visée (tâches T et connaissances K), il conduit à l'élaboration de traces écrites, qui seront mises à disposition des élèves (projetées et distribuées) pour soutenir leurs prises de notes. Ces traces écrites seront projetées et distribuées.

Mais aussi, comment il contribue à façonner (a) une description du processus de conduite du parcours pédagogique, (b) en mettant en exergue les processus d'apprentissage et d'enseignement.

Figure 126 : Principe de planification du processus d'enseignement « Faire comprendre »



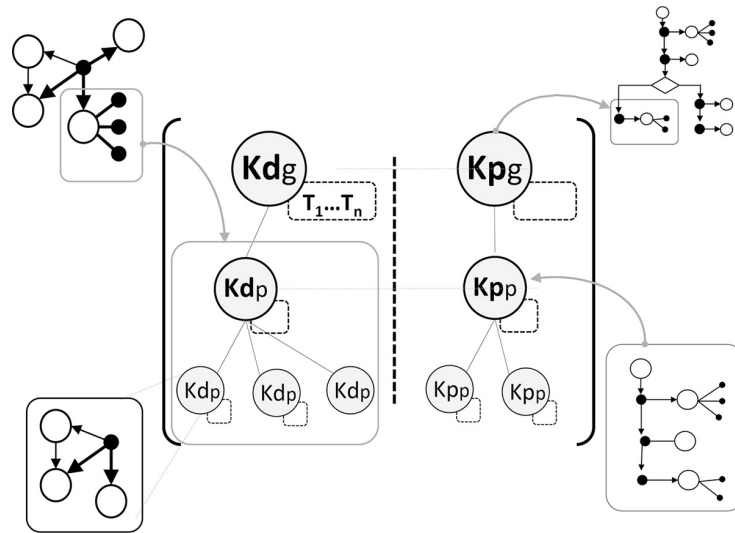
12. À PROPOS DE CES EXEMPLES

L'ensemble des exemples présentés dans ce chapitre offre une couverture représentative des tâches de conception d'un dispositif d'enseignement, dirigées par le modèle prescriptif de notre théorie de l'ingénierie pédagogique. Pour chacun d'eux, nous avons souhaité dégager un aspect caractéristique de sa conception, sous la forme d'un discours modélisant, que nous avons intitulé « à propos de cet exemple ».

Nous souhaitons terminer ce processus d'abstraction réfléchissant en posant un regard sur tous ces modèles particuliers. La finalité étant de contribuer à rendre la complexité de notre démarche de conception plus intelligible.

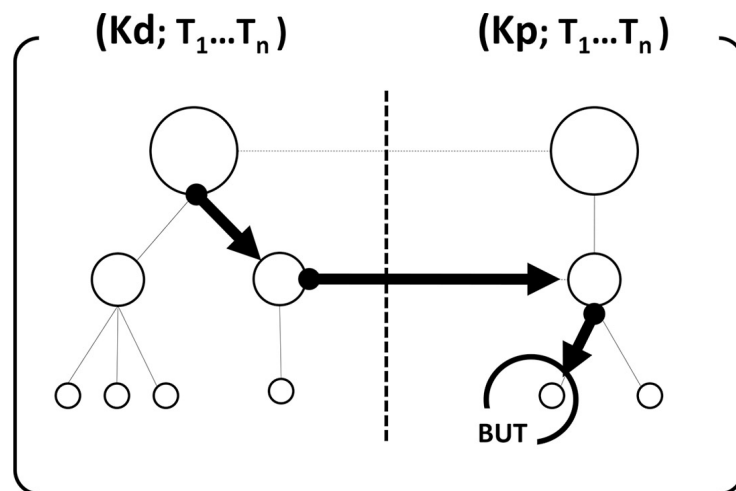
Le premier aspect à souligner porte sur l'activité de définition du contenu à enseigner et plus particulièrement sur la tâche de cartographie du champ notionnel. Ce travail s'effectue à deux échelles : au niveau d'un format de connaissance (via une carte de connaissance) ou d'un ensemble de formats de connaissance (via une carte des formats de connaissance). Comme l'illustre la figure 127, la caractérisation d'un champ notionnel nécessite ce changement d'échelle, mais n'impose pas d'antériorité.

Figure 127 : Principe de cartographie du champ notionnel



Le second aspect concerne l'activité de planification, pour laquelle nous souhaitons proposer une description « en quelques mots ». Nous avons choisi de « dire ces mots » sous la forme d'images, à l'instar de la figure 128.

Figure 128 : Principe de planification d'un enseignement-apprentissage



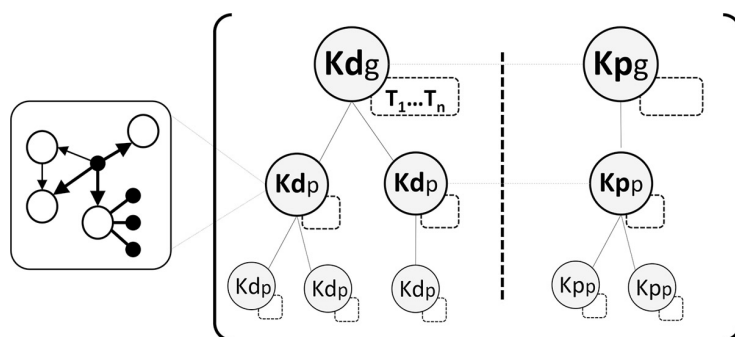
Ce schéma propose une vision synoptique du principe de planification : s'appuyer sur un travail de cartographie du champ notionnel, caractériser par les couples (Tâche T ; Connaissance K), pour esquisser le parcours d'enseignement-apprentissage. *Cette représentation graphique est à rapprocher de la métaphore de « l'agence de voyages », et du travail d'élaboration de circuit de visite d'une région du pays savoir (cf. chapitre 3 « Théorie de l'acte de concevoir »).*

Ce principe se décline en trois grandes tâches :

1. Cartographier le domaine de connaissances (cf. figure 129) :

C'est-à-dire décliner le champ notionnel en formats de connaissance déclaratifs et procéduraux (Kd et Kp) et/ou spécifier la structure de connaissance de certains formats, selon leur utilité dans le parcours d'apprentissage.

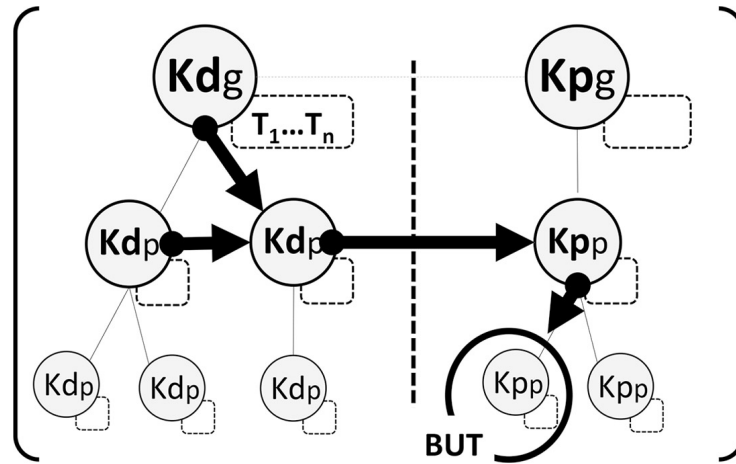
Figure 129 : Principe de cartographie du champ notionnel



1. Organiser les apprentissages (cf. figure 130) :

C'est-à-dire esquisser un parcours d'apprentissage qui mène à la connaissance visée (le *format-BUT*), au travers d'une combinaison de processus d'apprentissage.

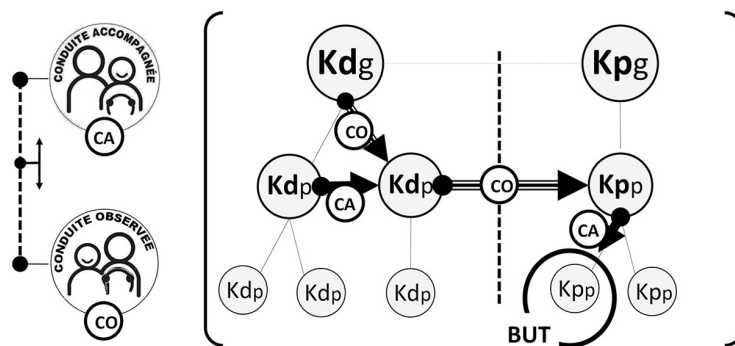
Figure 130 : Principe d'esquisse du parcours d'apprentissage



1. Rendre faisable les apprentissages (cf. figure 131) :

C'est-à-dire spécifier, pour chaque processus d'apprentissage, le niveau de « prise à son compte » par l'enseignant : de la conduite du processus accompagnée de l'élève (CA) à la conduite du processus observée par l'élève (CO).

Figure 131 : Principe d'esquisse du parcours d'enseignement-apprentissage



Bibliographie

- Abric, J.-C. (1994). *Pratiques sociales et représentations*. Paris : Presses universitaires de France.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT : A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Ainsworth, S. & Loizou, A.T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27(4), 669-681.
- Alhadeff-Jones, M. (2008). Three generations of complexity theories : Nuances and ambiguities. *Educational Philosophy and Theory*, 40(1), 66-82.
- Altet, M. (2003). Caractériser, expliquer et comprendre les pratiques enseignantes pour aussi contribuer à leur évaluation. *Les Dossiers des sciences de l'éducation*, 10, 31-43.
- Alvarez, D. & Carnus, M.-F. (2017). Comment enseigner « le sentir et le dire » ? Une double compétence : olfactive et langagière dans l'analyse sensorielle du vin. *Recherches en didactiques*, 23(1), 81-97.
- Ambrose, S. A., Bridges, M. W., DiPietro, M., Lovett, M. C. & Norman, M. K. (2010). *How learning works : Seven research-based principles*

for smart teaching. San Francisco : John Wiley & Sons.

Ames, C. & Archer, J. (1988). Achievement goals in the classroom : Students' learning strategies and motivation processes. *Journal of Educational Psychology*, 80(3), 260.

Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum.

Anderson, J. R. (2000). *Learning and memory*. New York : Wiley.

Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J. & Wittrock, M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing : A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York : Longman.

Archer, M. (2012). Le document didactique dans la construction des savoirs historiques. *African Educational Development Issues*. Trouvé sur <http://www.rocare.org/aedi4/ch1-AEDI4.pdf>

Artigue, M. (1989). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9, 281-308.

Artigue, M. (1991). Research in didactic of mathematics : selected papers. *Didactic Engineering*, 41-65.

Astolfi, J.-P. (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.

Astolfi, J.-P. (1990). Comment construire une séquence d'apprentissage ? *Université d'été des Cahiers pédagogiques*, Toulouse, août.

Astolfi, J.-P. (1993). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.

Astolfi, J.-P., Darot É., Ginsburger-Vogel Y. & Toussaint J. (1997). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck.

- Astolfi, J.-P., Darot É., Ginsburger-Vogel Y. & Toussaint J., (2008). *Mots clés de la didactique de sciences*. Bruxelles : De Boeck.
- Ayres, P. (2006). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 287-298.
- Baillat, G. (1997). Didactique, discipline scolaire, pédagogie. *Recherche & Formation*, 25(1), 85-96.
- Balacheff, N. (1988). *Une étude des processus de preuve en mathématique chez des élèves de collège*. Thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG. Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- Balas-Chanel, A. (2002). L'entretien d'explicitation. Accompagner l'apprenant vers la métacognition explicite. *Éduquer* [En ligne]. Trouvé sur : <http://journals.openedition.org/rechercheseducations/159>
- Barnett, J. E. (2003). Do instructor-provided online note facilitate student learning ? *The Journal of Interactive Online Learning*, 2. Trouvé sur : <http://www.ncolr.org/issues/jiol/v2/n2/do-instructor-provided-online-notes-facilitate-student-learning.html>
- Baron, G. L. (2011). Learning design. *Recherche et Formation*, 68, 109-120.
- Barsalou, L.W. (1987). The instability of graded structure : Implications for the nature of concepts. In U. Neisser (dir.), *Concepts and conceptual development : Ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 101-140). Cambridge : Cambridge University Press.
- Barth, B. M. (2011). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz.

- Basque, J. (2017). Quelques critiques adressées aux méthodes classiques de design pédagogique et implications pour une nouvelle ingénierie pédagogique. *Congrès de l'ACFAS*, Université McGill, Montréal, 8 mai.
- Basque, J. (2018). *Introduction à l'ingénierie pédagogique* (4^e éd.). Texte rédigé pour le cours en ligne TED 6312 Ingénierie pédagogique et technologies éducatives (ted6312.telug. ca). Montréal : Université TÉLUQ, 25 p.
- Bastien, C. (1997). *Les connaissances, de l'enfant à l'adulte : organisation et mise en œuvre*. Paris : Colin.
- Bastien, C. & Bastien-Toniazzo, M. (2005). Du cheminement aux cheminements... *Revue française de pédagogie*, 152, 21-28.
- Bautier, E. & Rayou, P. (2009). *Les inégalités d'apprentissage. Programmes, pratiques et malentendus scolaires*. Paris : Presses universitaires de France.
- Bautier, É. & Rayou, P. (2013). La littératie scolaire : exigences et malentendus. Les registres de travail des élèves. *Éducation & didactique*, 7(2), 29-46.
- Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *Aster*, 45, 165-188
- Beillerot J., Blanchard-Laville C. & Mosconi N. (2000). *Formes et formations du rapport au savoir*. Paris : L'Harmattan.
- Beillerot, J., Bouillet, A., Mosconi, N., Obertelli, P. & Blanchard-Laville, C. (1989). *Savoir et rapport au Savoir*. Paris : Éditions universitaires.
- Bellec, D. (2015). *Apprentissages par enseignement à partir d'environnements complexes : effets de l'isolement des éléments en*

interaction et du séquençement de la présentation. Thèse, Université Toulouse 2.

- Benielli, G., Cerato, G., Parat, D. & Vial, L.-M. (1996). *TSA, technologie des systèmes automatisés*. Paris : Foucher.
- Biondi, J.-L. & Cartonnet, Y. (1996). La schématisation et l'ordinateur. *Technologies et Formations*, 68, 11-17.
- Bisseret, A. (1970). Mémoire opérationnelle et structure de travail. *Bulletin de Psychologie*, 24(5-6), 280-294.
- Bjork, R. A. (1994). Memory and metamemory considerations in the training of human beings. Dans J. Metcalfe & A. P. Shimamura (dir.). *Metacognition : Knowing about knowing* (pp. 185-206). Cambridge : MIT Press.
- Blin, J.-F. (1997). *Représentations, pratiques et identité professionnelle*. Paris : L'Harmattan.
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques*. Marseille : Solal.
- Borillo, M. & Sauvageot, A. (dir.) (1996). *Les cinq sens de la création : art, technologie et sensorialité*. Seyssel : Champ Vallon.
- Borko, H. & Livingston, C. (1989). Cognition and improvisation : differences in mathematics instruction by expert and novice teachers. *American Educational Research Journal*, 26, 473-498.
- Bourdoncle, R. (1993). Note de synthèse [La Professionnalisation des enseignants : les limites d'un mythe]. *Revue française de pédagogie*, 105(1), 83-119.
- Bourdoncle, R. (1994). Savoir professionnel et formation des enseignants. Une typologie sociologique. *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 13(1), 77-95.

- Bransford, J., Brown, A. & Cocking, R. (dir.) (2000). *How people learn : Brain, mind, experience, and school*. Washington : National Academy Press.
- Brien, R. (1994). *Science cognitive et formation (2^e éd.)*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Brousseau G. (2008). L'epistemologia scolastica spontanea e la cultura dei problemi matematici. *La matematica e la sua didattica*, 22, 165-183.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques : didactique des mathématiques 1970-1990*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Bruner, J. S. (1965). The growth of mind. *American Psychologist*, 20(12), 1007.
- Bruner, J. S. (1977). *The process of education*. Harvard : Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1983). *Savoir faire, savoir dire*. Paris : Presses universitaires de France.
- Bruner, J. S., Watson, R., Piveteau, J. & Chambert, J. (1987). *Comment les enfants apprennent à parler*. Paris : Retz.
- Buchs, C., Lehraus, K. & Crahay, M. (2012). Coopération et apprentissage. Dans M. Crahay (dir.), *L'école peut-elle être juste et efficace ?* (pp. 421-454). Bruxelles : De Boeck.
- Buissière, E. (2006). Kant : analyse du jugement esthétique. Trouvé sur <https://www.lettres-et-arts.net/arts/art-objet-pensee-philosophique/kant-jugement-esthetique-humanite/kant-analyse-jugement-esthetique+143>

- Caplat, G. (2002). *Modélisation cognitive et résolution de problèmes*. Lausanne et Lyon : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Carroll, W. M. (1994). Using worked examples as an instructional support in the algebra classroom. *Journal of Educational Psychology*, 86, 360-367.
- Caviale O., & Bruillard É. (2009). Les jeux d'acteurs dans les listes de discussion institutionnelles d'enseignants. *Réseaux*, 27, 139-176.
- Cerpa, N., Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Some conditions under which integrated computer-based training software can facilitate learning. *Journal of Educational Computing Research*, 15, 345-367.
- Chanquoy, L., Tricot, A. & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive. Théorie et applications*. Paris : Armand Colin.
- Cheneval-Armand, H. & Ginestié, J. (2009). Des pratiques sociales aux savoirs experts. Une analyse de la prévention des risques professionnels dans les métiers du génie énergétique. *Didaskalia*, 35, 11-36.
- Chevalier, A. & Bonnardel, N. (2003). Prise en compte et gestion de contraintes : une étude dans la résolution d'un problème créatif de conception. *Bulletin de psychologie*, 56, 33-48.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2011). La notion d'ingénierie didactique, un concept à refonder. Questionnement et éléments de réponse à partir de la TAD. 15^e École d'été de didactique des mathématiques, Clermont-Ferrand, 16-23 août.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. Dans R. S. Siegler (dir.). *Children's thinking : What*

develops (pp. 73-96). Hilldale : Erlbaum.

- Chi, M. T. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework : Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243.
- Clouet, N., Roué, D., & Bruillard, É. (2009). Forums for preservice teachers' development : Lessons learned from five years of research. In A. Dimitracopoulou, C. O'Malley, D. Suthers & P. Reimann (Eds.) *Computer Supported Collaborative Learning Practices : CSCL 09 Conference Proceedings* (pp. 214-218). Atlanta : ISLS.
- Cochet, Y. (2000). *Stratégie et moyens de développement de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie renouvelables en France*. Paris : La Documentation Française.
- Corbin, L. & Camos, V. (2013). L'entraînement de la mémoire de travail et les apprentissages scolaires. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 123, 113-119.
- Cosnefroy, O., Nurra, C. & Dessus, P. (2016). Analyse dynamique de la motivation des élèves en début de scolarité obligatoire en fonction de la nature de leurs interactions avec l'enseignant. *Éducation et formations*, 90, 29-51.
- Crahay, M. & Detheux, M. (2005). L'évaluation des compétences, une entreprise impossible ? (Résolution de problèmes complexes et maîtrise de procédures mathématiques). *Mesure et évaluation en éducation*, 28(1), 57-58.
- Craig, S. D., Gholson, B. & Driscoll, D. M. (2002). Animated pedagogical agents in multimedia educational environments : Effects of agent properties, picture features and redundancy. *Journal of Educational Psychology*, 94, 428-434.

- Cranton, P. (2001). *Planning instruction for adult learners* (2nd ed.). Middletown : Wall & Emerson.
- Curtin, S., Mintz, T. H. & Christiansen, M. H. (2005). Stress changes the representational landscape : evidence from word segmentation. *Cognition*, 96, 233-262.
- Darses, F. (2000). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception. *Séminaire de didactique des disciplines technologiques : Comment former aux compétences de la conception ?* Paris : ENS Cachan.
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105-113.
- De Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris : Hachette.
- De Vecchi, G., & Giordan, A. (2002). *L'enseignement scientifique, comment faire pour que « ça marche » ?* Paris : Delagrave.
- De Waal, F. B. (2010). *L'âge de l'empathie*. Paris : Les Liens qui libèrent.
- Dean, J. L. (1996). Designing instruction for adult learners. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 27(2), 95-95.
- Defossez, J. (2014). Vers un langage du goût : approche expérimentale d'une communication multimodale à destination des mangeurs (Thèse, Université de Bourgogne).
- Déliou, H. P. (2014). *Pratiques de l'enseignement des sciences expérimentales et de la technologie en cycle 3 dans un milieu multiculturel : cas de la Guyane*. Thèse, Université Paris 5.
- Delmas, E. (2016). Les accords mets et vins. Trouvé sur : <http://www.sommelier-vins.com/article-1121744.html>

- Demailly, A. (2004). *Herbert Simon et les sciences de la conception*. Paris : LHarmattan.
- Désilets, M. (1997). Connaissances déclaratives et procédurales : des confusions à dissiper. *Revue des sciences de l'éducation*, 23(2), 289-308.
- Dessus, P. (1995). La planification de séquences d'enseignement : du novice à l'expert. *Les Sciences de l'Éducation pour l'ère nouvelle*, 4, 7-23.
- Dessus, P. (2000). La planification de séquences d'enseignement, objet de description ou de prescription ? *Revue française de pédagogie*, 133, 101-116.
- Dessus, P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles d'Instructional Design ? *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28(1), 137-157.
- Dessus, P. (2008). Qu'est-ce que l'enseignement ? Quelques conditions nécessaires et suffisantes de cette activité. *Revue française de pédagogie*, 164, 139-158.
- Dessus, P. (2010). Des théories psychologiques pour guider le design pédagogique. Dans B. Charlier & F. Henri (dir.), *Apprendre avec les technologies*. Paris : Presses universitaires de France.
- Dessus, P., Tanguy, F. & Tricot, A. (2015). Natural cognitive foundations of teacher knowledge. Dans M. Grangeat (dir.), *Understanding science teachers'professional knowledge growth* (pp. 187-202). Rotterdam : SensePublishers.
- DISCAS (2006). L'apprentissage de l'abstraction. Trouvé sur : <http://www.csrdn.qc.ca/discas/IntegrationConcepts/IntroApprentissageAbstract.html>

- Doussot, S., (2014). Pour une progression des programmes qui associe savoirs et méthodes historiques. Contribution aux travaux des groupes d'élaboration des projets de programmes C2, C3 et C4. Trouvé sur : http://cache.media.education.gouv.fr/file/CSP/84/6/Doussot_Sylvain_-_MCF_-_CSP_Contribution_362846.pdf
- Dreyfus, H. L. & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over machine : The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. New York : Free Press.
- Drouin, A.-M. (1987). Des images et des sciences. *Aster*, 4, 1-29.
- Dubois, P., Gasparini, R. & Petit, G. (2005). La formation IUFM au regard des représentations et pratiques des PE2 et des PLC2 en EPS. CREB IUFM Bourgogne-UMR Éducation & Politiques. Trouvé sur : ens-lyon.fr/EP/ressources/formation_des_enseignants/rapportPE2-PLC2.pdf
- Dumas-Carré, A., Caillot, M., Martinez-Torregrossa, J., & Gil Perez, D. (1989). Deux approches pour modifier les activités de résolution de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse. *Aster*, 8, 135-160.
- Dumas-Carré, A. & Goffard, M. (1993). Des activités de résolution de problèmes pour l'apprentissage. *Les Sciences de l'éducation*, 4-5, 9-32.
- Dumont, H., Istance, D. & Benavides, F. (2010). *Comment apprend-on. La recherche au service de la pratique*. Paris : OCDE.
- Dupays, A. (2011). *Apprentissage en résolution de problèmes : influence du mode d'instruction*. Thèse, Université de Franche-Comté.
- EduTech Wiki. <http://edutechwiki.unige.ch/fr/4C-ID>.

- Ellis, R. (2008). *The study of second language acquisition*. Oxford : Oxford University Press.
- Eloy, F. (2013). La sensibilité musicale saisie par la forme scolaire. L'éducation musicale au collège, de formalisme en formalisme. *Revue française de pédagogie*, 185, 21-34.
- Ensergueix, P. J. & Lafont, L. (2010). Reciprocal peer tutoring in a physical education setting : influence of peer tutor training and gender on motor performance and self-efficacy outcomes. *European Journal of Psychology of Education*, 25, 222-242.
- Fayol, M. et Got, C. (1991). Automatisation et contrôle dans la production écrite/les erreurs d'accord sujet-verbe chez l'enfant et l'adulte. *Année psychologique*, 91, 187-20.
- Ferry, V. (2015). Exercer l'empathie : étude de cas et perspectives didactiques. *Exercices de rhétorique*. Trouvé sur : <https://journals.openedition.org/rhetorique/411>
- Fischler, C. (1990). *L'omnivore : sur les fondamentaux de la biologie et de la philosophie*. Paris : Odile Jacob.
- Fjortoft, N. (2005). Students' motivations for class attendance. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 69, 107-112.
- Frederick, S. (2005). Cognitive reflection and decision making. *The Journal of Economic Perspectives*, 19(4), 25-42.
- Gagné, R. M., Briggs, L. J. & Wager, W. W. (1992). *Principles of instructional design* (4^e éd.). Orlando : Holt, Rinehart and Winston.
- Garfield, J. & Ben-Zvi, D. (2007). How students learn statistics revisited : A current review of research on teaching and learning statistics. *International Statistical Review*, 75(3), 372-396.

- Gauthier, C., Desbiens, J.-F., Malo, A., Martineau, S. & Simard, D. (1997). *Pour une théorie de la pédagogie. Recherches contemporaines sur le savoir des enseignants*. Bruxelles : De Boeck.
- Geary, D. C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational Psychologist*, 43, 279-295.
- Gérard, F.-M. (2007). La complexité d'une évaluation des compétences à travers des situations complexes : nécessités théoriques et exigences du terrain. *Actes du Colloque international « Logique de compétences et développement curriculaire : débats, perspectives et alternative pour les systèmes éducatifs »*, Montréal, 26-27 avril.
- Gibson, J. J., & Gibson, E. J. (1955). Perceptual learning : Differentiation or enrichment ? . *Psychological review*, 62(1), 32-41.
- Ginestie J. (2000). *Contribution à la construction de faits didactiques en éducation technologique*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Provence.
- Giordan, A. (2006). L'enseignant, d'abord un metteur en scène. *Le Nouvel Éducateur*, 182, 32-35.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des élèves aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Gobet, F. (2018). Three views on expertise : Philosophical implications for rationality, knowledge, intuition and education. *Journal of Philosophy of Education*, 51(3), 605-619.
- Goldstone, R. L. (1998). Perceptual learning. *Annual review of psychology*, 49(1), 585-612.

- Goodman, Y. M., Burke, C. L. & Sherman, B. (1980). *Reading strategies : Focus on comprehension*. Orlando : Holt, Rinehart, and Winston.
- Grandaty, M. (2011). Interactions et apprentissages disciplinaires : la médiation de l'enseignant. *Carrefours de l'éducation*, 3, 121-135.
- Greeno, J. G. (1978). Natures of problem-solving abilities. In W. K. Estes (Ed.), *Handbook of learning & cognitive processes : V. Human information* (pp. 239-270). Oxford, England : Lawrence Erlbaum.
- Grice, H. P. (1975). Logic and Conversation. Dans P. Cole & J. L. Morgan (dir.), *Syntax and Semantics, 3, Speech Acts* (pp. 41-58). New York : Academic Press.
- Gustafson K. L. & Robert M. (2002). What is instructional design ? Branch University of Georgia. Trouvé sur : <http://jan.ucc.nau.edu/~etc-c/etc667/2006/readings/gustafson1a.pdf>.
- Gustafson, K. & Branch, R. (2002). What is instructional design ? Dans R. A. Reiser & J. V. Dempsey (dir.), *Trends and issues in instructional design and technology* (pp. 16-25). New York : Merrill.
- Hacker, D. J., Dunlosky, J. & Graesser, A. C. (dir.). (2009). *Handbook of metacognition in education*. New York : Routledge.
- Hamon, C. (2009). Graphismes techniques : tâches, nature et causes des difficultés des apprenants. *Aster*, 48, 39-62.
- Hatchuel A. (1996). Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription. Dans G. de Terssac & E. Friedberg (dir.), *Coopération et conception*. Toulouse : Octarès.

- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77, 81-112.
- Heurley, L. (2014). Les documents procéduraux : l'apport de 40 ans de recherche en psychologie cognitive et en ergonomie. *Le Discours et la Langue*, 5.2, 39-52.
- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures : a meta-analysis, *Learning & Instruction*, 17, 722-738.
- Houdé, O. (2015). *Apprendre à résister*. Paris : Le Pommier.
- Hudry, D. (2014). Musique et peinture. Trouvé sur : <http://edutheque.philharmoniedeparis.fr/contexte-musique-et-peinture-univers-paralleles.aspx>
- Hulleman, C. S. & Harackiewicz, J. M. (2009). Promoting interest and performance in high school science classes. *Science*, 326, 1410-1412.
- Hulleman, C. S., Godes, O., Hendricks, B. & Harackiewicz, J. M. (2010). Enhancing interest and performance with a utility value intervention. *Journal of Educational Psychology*, 102, 880-895.
- I.G.E.N. (2001). L'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire. Septembre 2000 / Janvier 2001.
- Inhelder, B. & Cellérier, G. (dir.) (1992). *Le cheminement des découvertes de l'enfant : recherche sur les microgenèses cognitives*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Istance, D. & Dumont, H. (2010). Principes d'orientation pour les environnements d'apprentissage au XXI^e siècle. Dans H. Dumont, D. Istance & F. Benavides (dir.), *Comment apprend-on ?* (pp. 333-357). Paris : OCDE.

- Jacolino, P, (2014). Quelles conditions pour une vraie pédagogie « spiralaire » ? Les limites du « curriculum en spirale » de J. S. Bruner. Trouvé sur : <http://pedagogj.eklablog.com/spiralaire-vous-avez-dit-spiralaire-a108736776>
- Jamet, E., Bétrancourt, M. & Rouet, J.-F. (2008). La compréhension des documents complexes. Dans A. Chevalier & A. Tricot (dir.), *Ergonomie cognitive des documents électroniques* (pp. 71-102). Paris : Presses universitaires de France.
- Jeannotte D. (2015) Les processus abstraire et généraliser conceptualisés dans une perspective commognitive. Dans L. Theis (dir.), *Pluralités culturelles et universalité des mathématiques : enjeux et perspectives pour leur enseignement et leur apprentissage – Actes du colloque EMF2015 – GT3*, pp. 280-289.
- Jodelet, D. & Moscovici, S. (1989). *Folies et représentations sociales*. Paris : Presses universitaires de France.
- Jonnaert, P. (2002). Une contextualisation des apprentissages arithmétiques. Dans J. Bideaud & H. Lehalle (dir.), *Le développement des activités numériques chez l'enfant* (pp. 239-264). Paris : Hermès.
- Joshua S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'aux mathématiques ? Dans C. Raisky & M. Caillot (dir.), *Au-delà des didactiques, le didactique : débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 61-73). Bruxelles : De Boeck.
- Joshua S. (1998). Des « savoirs » et de leur étude : vers un cadre de réflexion pour l'approche didactique. Dans *Année de la Recherche en éducation* (pp. 79–97). Paris : Presses universitaires de France.
- Kahneman, D. (2012). *Système 1/Système 2. Les deux vitesses de la pensée*. Paris : Flammarion.

- Kiewra, K. A., DuBois, N. F., Christian, D. & McShane, A. (1988). Providing study notes : Comparison of three types of notes for review. *Journal of Educational Psychology*, 80, 595-597.
- Kiewra, K. A., DuBois, N. F., Christian, D. & McShane, A. (1991). Note-taking functions and techniques. *Journal of Educational Psychology*, 83, 240-245.
- Kintsch, W. (1998) *Comprehension : A paradigm for cognition*. New York : Cambridge University Press.
- Kirschner, P. A. & Van Merriënboer, J. J. G. (2008). Ten steps to complex learning : A new approach to instruction and instructional design. Dans T. L. Good (dir.), *21st century education : A reference handbook* (pp. 244-253). Thousand Oaks : Sage.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work : An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Knight, L. J. & McKalvie, S. J. (1986). Effects of attendance, note-taking, and review on memory for a lecture : encoding vs. external storage functions of notes. *Canadian Journal of Behavioral Science*, 18, 52-61.
- Kobayashi, K. (2006). Combined effects of note-taking/-reviewing on learning and the enhancement through interventions : a meta-analytical review. *Educational Psychology*, 26, 459-477.
- Koedinger, K. R., Corbett, A. T., & Perfetti, C. (2010). The knowledge-learning-instruction (KLI) framework : Toward bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning. *Cognitive Science*.

- Koedinger, K. R., Booth, J. L. & Klahr, D. (2013). Instructional complexity and the science to constrain it. *Science*, 342(6161), 935-937.
- Koedinger, K. R., Corbett, A. T. & Perfetti, C. (2012). The Knowledge – Learning – Instruction framework : Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning. *Cognitive Science*, 36(5), 757-798.
- Kole, J. A. & Healy, A. F. (2007). Using prior knowledge to minimize interference when learning large amounts of information. *Memory & Cognition*, 35(1), 124-137.
- Kramarski, B. (2004). Making sense of graphs : does metacognitive instruction make a difference on students' mathematical conceptions and alternative conceptions ? *Learning & Instruction*, 14, 593-619.
- L'Haridon, A. (2013). Quels obstacles à l'enseignement de la technologie à l'école primaire ? Discours d'enseignants. Congrès AREF 2013, Montpellier, 27-30 août. Trouvé sur : <https://aref2013.umontpellier.fr/?q=content/085-quels-obstacles-à-l'enseignement-de-la-technologie-à-l'école-primaire-discours-d'ensei-0>
- Lancy, D. F. (2016). Teaching : natural or cultural ? Dans D. Geary & D. Bearch (dir.), *Evolutionary perspectives on child development and education* (pp. 33-65). Heidelberg : Springer.
- Langlois, J. (2010). *Les expertises dans le domaine du vin : cas du concept de vin de garde*. Thèse, Université de Dijon.
- Lebeaume, J. (2014). Contribution aux travaux des groupes d'élaboration des projets de programmes C 2, C3 et C4. L'éducation technologique dans l'école de base. MEN-2014.

- Le Moigne, J.-L. (1986). Les sciences de la décision : sciences d'analyse ou sciences du génie ? Interprétations épistémologiques. Dans R. Nadeau & M. Landry (dir.), *L'aide à la décision – Nature, instruments et perspectives d'avenir* (pp. 3-52). Laval : Les Presses de l'Université Laval.
- Le Moigne, J.-L. (1999). *Modélisation des systèmes complexes*. Paris : Dunod.
- Le Moigne, J.-L. & Simon, H. A. (1991). *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*. Paris : Dunod.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2004). Cognitive load and the imagination effect. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 857-875.
- Legault, L. (2016). Intrinsic and extrinsic motivation. Dans V. Zeigler-Hill & T. K. Shackelford (dir.), *Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (pp. 1-4). New York : Springer.
- Leleu-Merviel, S. (2014). Figures féminines des sciences de l'information et de la documentation. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, (4) Trouvé sur : <http://journals.openedition.org/rfsic/898>
- Lemaire, P. (2012). *Psychologie cognitive*. Bruxelles : De Boeck.
- Leroyer, L. (2010). L'Activité hors la classe du professeur des écoles liée à la préparation de la classe dans le domaine des mathématiques. Trouvé sur <http://www2.udg.edu/portals/3/didactiques2010/guiacdii/ACABADES%20FINALS/213.pdf>
- Leroyer, L. & Bailleul, M. (2009). Les enseignants travaillent aussi hors la classe : Comment ? Dans *Actes du Colloque Espace Mathématique Francophone*. Dakar. 2009, avril. Trouvé sur https://www.researchgate.net/profile/Marc_Bailleul/publication/242137277_Les_enseignants_travaillent_aussi_hors_la_classe_Co

mment/links/55dea44708aeaa26af0f2c0e/Les-enseignants-travaillent-aussi-hors-la-classe-Comment.pdf

Lissillour V. (2006). « La poésie, c'est... ». Trouvé sur : <http://www.commun.brestecoles.net/voixdaujournhui/index.php?2006/12/16/47-la-poesie-c-est>

Lorch, R. F. & Lorch, E. P. (1996). Effects of organizational signals on free recall of expository text. *Journal of Educational Psychology*, 88, 38-48.

M.E.N. (2010). Livret personnel de compétences. Actes du séminaire national du 4 mai 2010, Paris. Ministère de l'Éducation Nationale (DGESCO).

M.E.N. (2015). Programmes d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4). Bulletin officiel spécial, n° 11, 26 novembre 2015.

M.E.N. (2016). Les enjeux de l'éducation musicale dans la formation générale des élèves. Cycle 4. – Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, mars 2016. eduscol.education.fr/ressources-2016

M.E.N. (2016). Programme Cycle 4 – Histoire & géographie, pp. 309-327.

M.E.N. (2017). Travailler les compétences et évaluer la maîtrise du socle. Informer et accompagner les professionnels de l'éducation. Cycles 3 et 4. Document accompagnement eduscol.education.fr/ressources-2016 – Ministère de l'Éducation nationale, mai 2017.

Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A. & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology*, 19(23), 1994-1997.

- Margolinas, C., Canivenc, B., De Redon, M.-C., Rivière, O. & Wozniak, F. (2007). Que nous apprend le travail mathématique hors classe des professeurs pour la formation des maîtres. Dans *31^e colloque Inter-IREM des formateurs et professeurs chargés de la formation des maîtres* (pp. 1-19). Foix, 17-19 mai.
- Martinand, J.-L. (1989). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques. *Les Sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*, 2, 23-29.
- Martinand, J.-L. (2003). L'éducation technologique à l'école moyenne en France : problèmes de didactique curriculaire. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, 3, 101-106.
- Mautone, P. D. & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 640-652.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning ? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59, 14-19.
- Mayer, R. E. (2011). Does styles research have useful implications for educational practice ? *Learning and Individual Differences*, 21, 319-320.
- Mayer, R. E., Heiser, J. & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning : When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93, 187-198.
- Meirieu, P. (2008). Autonomie. Trouvé sur : <http://www.meirieu.com/DICTIONNAIRE/autonomie.htm>

- Merrill, M. D. (1996). Instructional transaction theory : instructional design based on knowledge objects. *Educational Technology*, 36(3), 30-37.
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 43-59.
- Merrill, M. D. (2012). *First principles of instruction*. New York : John Wiley & Sons.
- Miller, C. S., Lehman, J. F. & Koedinger, K. R. (1999). Goals and learning in microworlds. *Cognitive Science*, 23(3), 305-336.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97.
- Mizzaro, S. (1998). Relevance, the whole history. Dans T. Bellardo Hahn & M. Buckland (dir.), Historical studies in information science, *Journal of the American Society for Information Science*, special issue, 221-243.
- Monaco, G. L. & Guimelli, C. (2008). Représentations sociales, pratique de consommation et niveau de connaissance : le cas du vin. *Les Cahiers internationaux de psychologie sociale*, 78(2), 35-50.
- Morris, L. W., Davis, M. A. & Hutchings, C. H. (1981). Cognitive and emotional components of anxiety : Literature review and a revised worry – emotionality scale. *Journal of Educational psychology*, 73(4), 541.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public*. Paris : Presses universitaires de France.
- Musial, M., Pradère, F. & Tricot, A (2012). *Comment concevoir un enseignement ?* Bruxelles : De Boeck.

- Narvaez, D., Van den Broek, P. & Ruiz, A. B. (1999). The influence of reading purpose on inference generation and comprehension in reading. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 488.
- Oppenheimer, D. M. (2006). Consequences of erudite vernacular utilized irrespective of necessity : Problems with using long words needlessly. *Applied Cognitive Psychology*, 20(2), 139-156.
- Paas, F. & Van Gog, T. (2006). Optimising worked example instruction : Different ways to increase germane cognitive load. *Learning & Instruction*, 16, 87-91.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design : Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Paquette, G. (2002). *L'ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseaux*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Paquette, G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences : un langage graphique pour concevoir et apprendre*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Peeck, J., Van den Bosch, A. B. & Kreupeling, W. J. (1982). Effect of mobilizing prior knowledge on learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 74(5), 771.
- Peraya, D. (1995). Vers une théorie des paratextes : images mentales et images matérielles. *Recherches en Communication*, 4(4), 119-155.
- Peraya, D. (2015). Professionnalisation et développement professionnel des enseignants universitaires : une question d'actualité. *Distances et médiations des savoirs*, 10. Trouvé sur <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:73729>

- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487-514.
- Perruchet, P. (1988). *Les automatismes cognitifs*. Bruxelles : Mardaga.
- Peterson, P. L. & Comeaux, M. A. (1987). Teachers' schemata for classroom events : the mental scaffolding of teachers' thinking during classroom instruction. *Teaching and Teacher Education*, 3-4, 319-331.
- Piaget, J. (1974). *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence*. Paris : Hermann.
- Piaget, J. et al. (1974). *La prise de conscience*. Paris : Presses universitaires de France.
- Pierce, K. A., Duncan, M. K., Gholsn, B., Ray, G. E. & Kambi, A. G. (1993). Cognitive load, schema acquisition, and procedural adaptation in nonisomorphic analogical transfer. *Journal of Educational Psychology*, 85, 66-74.
- Pinchas, Y. & Katz, L. (2008). Using a multimedia learning resource to enhance understanding of daily exercise : practical considerations. *1st Joint International Pre-Olympic Conference of Sports Science and Sports Engineering*, Nanjing, Chine, 4-7 août.
- Pitte, J.-R. (2017). *Accords mets-vins*. Paris : CNRS.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning & Instruction*, 12, 61-86.
- Porlán Ariza, R. & Rivero García, A. (2001). Nature et organisation du savoir professionnel enseignant souhaitable. *Aster*, 32, 221-251.
- Presseau, A. (2000). Analyse de l'efficacité d'interventions sur le transfert des apprentissages en mathématiques. *Revue des sciences*

de l'éducation, 26(3), 515-544.

Prost, A. (1973). Les attentes de jeunes enseignants au début de leur formation. *Revue française de pédagogie*, 24, 5-18.

Puisais, J. & Pierre, C. (1985). *Le goût juste des vins et des plats*. Paris : Flammarion.

Pullum, G. K. (1989). The great Eskimo vocabulary hoax. *Natural Language & Linguistic Theory*, 275-281.

Puren, C. (2011). Projet pédagogique et ingénierie de l'unité didactique. Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. *Cahiers de l'Apliut*, 30(1), 11-24.

Reif, F. & Heller J. I. (1982) Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17, 102-127.

Reigeluth, C. M. (1996). A new paradigm of ISO ? *Educational Technology*, 36(3), 13-20.

Reigeluth, C. M. (1999). What is instructional-design theory and how is it changing ? Dans C. M. Reigeluth (dir.), *Instructional-design theories and models : a new paradigm of instructional theory* (Vol. 2, pp. 5-29). Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Reisslein, J., Atkinson, R. K., Seeling, P. & Reisslein, M. (2006). Encountering the expertise reversal effect with a computer-based environment on electrical circuit analysis. *Learning & Instruction*, 16(2), 92-103.

Resnick, L. B., Spillane, J. P., Goldman, P. & Rangel, E. S. (2010). L'innovation : des modèles visionnaires à la pratique quotidienne. Dans H. Dumont, D. Istance & F. Benavides (dir.), *Comment apprend-on ?* (12) (pp. 301-332). Paris : OCDE.

- Reuter, Y. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- Richard, J.-F., Bonnet, C. & Ghiglione, R. (1990). Le raisonnement par analogie. Dans *Traité de psychologie cognitive*, 2 (pp. 145-165). Paris : Dunod.
- Robert, J.-P. (2002). *Dictionnaire pratique de didactique du FLE*. Paris : Ophrys.
- Roediger, H.L., Putnam, A.L. & Smith, M.A. (2011). Ten benefits of testing and their applications to educational practice. Dans J. P. Mestre & B. H. Ross (dir.), *Psychology of learning and motivation* (pp. 1-36). Oxford : Elsevier.
- Roegiers, X. (2000). *Une pédagogie de l'intégration. Compétences et intégration des acquis dans l'enseignement*. Bruxelles : De Boeck.
- Rogers C. (1991). *Le développement de la personne*. Paris : Dunod.
- Rohrer, D. & Taylor, K. (2006). The effects of overlearning and distributed practice on the retention of mathematics knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 20(9), 1209-1224.
- Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1995). Recherche d'informations dans les systèmes hypertextes : des représentations de la tâche à un modèle de l'activité cognitive. *Sciences et techniques éducatives*, 2(3), 307-331.
- Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. *Hypertextes et hypermédias, hors série*, 57-74.
- Rouet, J.-F. & Vidal-Abarca, E. (2002). Mining for meaning : Cognitive effects of inserted questions in learning from scientific text. Dans J. Otero, J. Leon & A. C. Graesser (dir.), *The psychology*

of science text comprehension (pp. 417-431). Mahwah : Lawrence Erlbaum.

Rouquette, M. L. (2007). *La créativité*. Paris : Presses universitaires de France, coll. « Que sais-je ? »

Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations : Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54-67.

Schaeffer, J.-M. (1996). *Les célibataires de l'art pour une esthétique sans mythes*. Paris : Gallimard.

Schechter, O., Durik, A. M., Miyamoto, Y. & Harackiewicz, J. M. (2011). The role of utility value in achievement behavior : The importance of culture. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 37, 303-317.

Schneider, M. & Stern, E. (2010) L'apprentissage dans une perspective cognitive. Dans H. Dumont, D. Istance & F. Benavides (dir.), *Comment apprend-on ? : La recherche au service de la pratique ?* (pp. 73-95). Paris : OCDE.

Schneider, W., Körkel, J. & Weinert, F. E. (1989). Domain-specific knowledge and memory performance : A comparison of high-and low-aptitude children. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 306.

Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner : How professionals think in action*. London : Temple Smith.

Schön, D. A. (1994). *Le praticien réflexif : à la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Logiques.

Schön, D. A. & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135-156.

- Scott, P. H., Asoko, H. M. & Driver, R. H. (1991). Teaching for conceptual change : A review of strategies. Dans Coll., *Connecting research in physics education with teacher education* (pp. 71-78). Kiel : Institute for Science Education.
- Scott, P. H. et al. (1991). *L'enseignement pour un changement conceptuel : une revue des stratégies*. Traduction de *Research in physics learning : theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop*. R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (dir.) March. Ville IPN 131 ISBN 3-89088-062-2.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.
- Sensevy, G. & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes : PUR.
- Serrano, M. (2013). La trace écrite. Trouvé sur : <https://slideplayer.fr/slide/185529/>
- Serres, M. (2012). *Petite Poucette*. Paris : Le Pommier.
- Sheffield, F.D. (1961). Theoretical consideration in the learning of complex sequential task from demonstration and practice. Dans A. A. Lumsdaine (dir.), *Student response in programmed instruction* (pp. 13-32). Washington : National Academy of Sciences National Research Council.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching : Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23.
- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153-189.
- Siegler, R. (2009). Implications of cognitive science research for mathematics education. *Colección Digital Eudoxus*, (8), 219-233.

- Siemens, G. (2002). Instructional design in e-learning. Trouvé sur <http://www.elearnspace.org/Articles/InstructionalDesign.htm>.
- Simon, H. A. (1992). What is an “explanation” of behavior ?. *Psychological Science*, 3(3), 150-161.
- Simon, H. A. (1995). Problem forming, problem finding and problem solving in design. *Design & Systems : General applications of methodology*, (3), 245-257.
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial*. Cambridge : MIT Press.
- Simon, H. A. (2004). *Les sciences de l'artificiel* (Trad. J.-L. Le Moigne). Paris : Gallimard.
- Stanovich, K. E. (2011). *Rationality and the reflective mind*. Oxford : Oxford University Press.
- Stengel, K. (2015). Quand le bon ne rend pas insensible : du bon et de ses rapports avec le sensoriel, le conceptuel, le relationnel, l'expérientiel. Dans J.-J. Boutaud (dir.), *Sensible et communication : du cognitif au symbolique*. Paris : ISTE.
- Stenger, T. (2005). De la vente de vin par Internet à la modélisation des rapports de prescription dans la relation d'achat en ligne. *Actes de la Journée nantaise E-Marketing*, Nantes, 16 septembre.
- Sumeracki, M. A. & Weinstein, Y. (2018). Six strategies for effective learning. *academic medicine*. Traduction par Mathieu Hainselin Trouvé sur <https://improfpsy.wordpress.com/>
- Sweller, J, Kalyuga, S., Chandler, P. & Tuovinen, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of educational psychology*, 93(3), 579-588.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *Psychology of Learning and Motivation*, 43, 216-266.

- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138.
- Sweller, J. (2012). Human cognitive architecture : Why some instructional procedures work and others do not. Dans K. R. Harris, S. Graham, T. Urdan, C. B. McCormick, G. M. Sinatra & J. Sweller (dir.), *APA educational psychology handbook*. Vol. 1. *Theories, constructs, and critical issues* (pp. 295-325). Washington : American Psychological Association.
- Sweller, J. (2015). In academe, what is learned, and how is it learned ? *Current Directions in Psychological Science*, 24(3), 190-194.
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). Measuring cognitive load. Dans *Cognitive load theory* (pp. 71-85). New York : Springer.
- Tardif, J. (1992). *L'enseignement stratégique*. Montréal : Logiques.
- Tochon, F. V. (1993). *L'enseignant expert*. Paris : Nathan.
- Tremblay, R. (1994). *Savoir-faire : précis de méthodologie pratique pour le collège et l'université*. New York : McGraw-Hill.
- Trémolière, B., De Neys, W. & Bonnefon, J. F. (2014). The grim reasoner : Analytical reasoning under mortality salience. *Thinking & Reasoning*, 20(3), 333-351.
- Tricot, A. (2006). Recherche d'information et apprentissage avec documents électroniques. Dans A. Piolat (dir.), *Lire, écrire, communiquer, apprendre avec Internet*. (pp. 441-462). Marseille : Solal.
- Tricot, A. (2007). *Apprentissages et documents numériques*. Paris : Belin.

- Tricot, A. (2012). Utilité, apprentissages et enseignement : une approche évolutionniste. Dans *Du mot au concept : utilité* (pp. 99-115). Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Paris : Retz, coll. « Mythes et réalités ».
- Tricot, A. & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational Psychology Review*, 26, 265-283.
- Tricot, A. & Sweller, J. (2016). La cécité aux connaissances spécifiques. *Éducation & didactique*, 10, 9-26.
- Tricot, A. & Plégat-Soutjis, F. (2003). Pour une approche ergonomique de la conception d'un dispositif de formation à distance utilisant les TIC. *STICEF*, 10, 27 p. Trouvé sur https://www.persee.fr/doc/stice_1952-8302_2003_num_10_1_862
- Tricot, A. & Tricot, M. (2000). Un cadre formel pour interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des systèmes d'information. *Actes du Colloque Ergo-IHM*, Biarritz (pp. 195-202).
- Tricot, A., Sahut, G. & Lemarié, J. (2016). *Le document : communication et mémoire*. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Ullal-Gupta, S., Vanden Bosch der Nederlanden, C. M., Tichko, P., Lahav, A. & Hannon, E. E. (2013). Linking prenatal experience to the emerging musical mind. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7, 48.
- Van den Brook, P., Kendeou, P., Lousberg, S. & Visser, G. (2017). Preparing for reading comprehension : Fostering text comprehension skills in preschool and early elementary school

- children. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 4(1), 259-268.
- Van Merriënboer, J. J. G. & Kirschner, P. A. (2018). *Ten steps to complex learning : A systematic approach to four-component instructional design* (3rd ed.). New York : Routledge.
- Vermersch, P. (2004). Aide à l'explicitation et retour réflexif. *Éducation permanente*, 160(3), 71-80.
- Veizin, J.-F. (1972). L'apprentissage des schémas, leur rôle dans l'acquisition des connaissances. *L'Année psychologique*, 72(1), 179-198.
- Veizin, L. (1986). Les illustrations, leur rôle dans l'apprentissage des textes. *Enfance*, 39(1), 109-126.
- Viau, R. (2009). *La motivation à apprendre en contexte scolaire*. Bruxelles : De Boeck.
- Villepoux, L. (1997). *Aider les enfants en difficulté à l'école : l'apprentissage du lire-écrire*. Bruxelles : De Boeck.
- Visser, W. (2009). La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le Travail humain*, 72(1), 61-78.
- Vosniadou, S. & Verschaffel, L. (2004). Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching. *Learning & Instruction*, 14(5), 445-451.
- Vygotsky, L. S. (1985). *Pensée et langage*. Paris : Éditions Sociales (traduction française de l'ouvrage de 1934. Trad. F. Sève, Paris, Messidor).
- Wallian, N., Poggi, M. P. & Musard, M. (2008). Co-construire des savoirs : les métiers de l'intervention dans les APSA. *Actes du colloque ARIS, Association pour la recherche sur l'intervention en*

sport, Besançon, 9-12 mai 2006. Presses Université de Franche-Comté.

Wiki-TEDia, <http://wiki.telug.ca/TED6210/index.php/4C/ID>

Wright, S. E. (1997). Section 1.4 Concept Systems. *Handbook of Terminology Management : Basic aspects of terminology management*, 1, 89.

Yntema, D. B. (1963). Keeping track of several things at once. *Human Factors*, 5(1), 7-17.

Yntema, D. B. & Mueser, G. E. (1960). Remembering the present states of a number of variables. *Journal of Experimental Psychology*, 60(1), 18.

Zeisel, J. (1981). *Inquiry by design, Tools for environmental behavior research*. Cambridge : Cambridge University Press.

Notes

1. Jean-Pierre Poulain était à ce moment-là formateur au Centre d'Études du Tourisme et des Industries de l'Accueil (CETIA) de l'Université de Toulouse-Jean Jaurès, et responsable de la Maîtrise de Sciences et Techniques Hôtellerie-Tourisme. Actuellement, il est sociologue et anthropologue, professeur à l'Université de Toulouse-Jean Jaurès et en charge de la chaire *Food studies* de la Taylor's University en Malaisie

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web : www.deboecksuperieur.com

© De Boeck Supérieur s.a., 2020
Rue du Bosquet, 7 – B-1348 Louvain-la-Neuve

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

« Cette œuvre est protégée par le droit d'auteur et strictement réservée à l'usage privé du client. Toute reproduction ou diffusion au profit de tiers, à titre gratuit ou onéreux, de tout ou partie de cette œuvre, est strictement interdite et constitue une contrefaçon prévue par les articles L 335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle. L'éditeur se réserve le droit de poursuivre toute atteinte à ses droits de propriété intellectuelle devant les juridictions civiles ou pénales. »

Ce document numérique a été réalisé par [PCA](#)



Précis d'ingénierie pédagogique

L'activité de préparation d'un enseignement est connue pour être très complexe, principalement en raison de son contexte, du nombre et de la diversité des connaissances à mobiliser.

Concevoir un enseignement n'obéit pas à des recettes, ni au bon sens : c'est une activité exigeante et rigoureuse, fondée sur des connaissances scientifiques et des méthodes. L'ingénierie pédagogique a vocation à aider l'enseignant-concepteur dans l'élaboration de dispositifs d'enseignement-apprentissage optimaux.

Cet ouvrage présente une théorie de l'ingénierie pédagogique faisant le lien entre les approches didactiques, centrées sur l'analyse des savoirs à enseigner, et les approches pédagogiques, centrées sur les activités à proposer aux élèves.

La « Théorie des 3 actes » est un cadre prescriptif sur le « Comment s'y prendre » pour « faire apprendre » sachant ce qu'est « apprendre », en accord avec les résultats des recherches empiriques actuelles en sciences cognitives. Cette base théorique de « l'Acte de concevoir l'Acte d'enseigner pour favoriser l'Acte d'apprendre » prend appui sur une théorie de l'« Acte d'enseigner », elle-même fondée sur une théorie de l'« Acte d'apprendre à l'école ».

L'ouvrage propose 11 exemples applications de cette théorie-prescriptive de l'ingénierie pédagogique, dans des disciplines à identité didactique très différente et de niveaux d'enseignement allant du collège à l'université. Ces exemples détaillés (l'histoire au collège, le système de numération au lycée, le calcul littéral en IUT, la résolution de problèmes de mécanique pour préparer un concours...) permettent de bien comprendre « comment faire » quand on conçoit un enseignement-apprentissage.

Manuel Musial (professeur agrégé en sciences de l'ingénieur à l'Université de Toulouse – INSPÉ de Toulouse-Occitanie-Pyrénées) et **André Tricot** (professeur de psychologie cognitive à l'Université Paul Valéry Montpellier 3) travaillent ensemble depuis près de 15 ans. Ils concilient une approche de la formation des enseignants fondée sur la didactique des savoirs disciplinaires avec une approche centrée sur les apprentissages des élèves.