

Une méthode d'enseignement pour renforcer les mémoires sémantique et procédurale et ainsi développer le raisonnement scientifique – cas d'une classe-puzzle pas comme les autres

AUDE PICHON

Faculté des Sciences et des Techniques, Université de Nantes, 2, Chemin de la Houssinière 44322 Nantes,
aude.pichon@univ-nantes.fr

ISABELLE BEAUDET

Faculté des Sciences et des Techniques, Université de Nantes, 2, Chemin de la Houssinière 44322 Nantes,

TYPE DE SOUMISSION

Analyse de dispositif

RESUME

Le développement du raisonnement scientifique chez les étudiant-e-s est souvent un objectif pédagogique attendu de la part des enseignant-e-s. Cependant, son apprentissage par les étudiant-e-s n'est pas aisé car il fait appel à de multiples connaissances. Une enseignante a constaté qu'il était difficile de mettre en œuvre le raisonnement scientifique dans son cours si les étudiant-e-s n'ont pas accommodé dans leur mémoire procédurale un certain nombre de savoirs et savoir-faire. Pour surmonter cette difficulté, elle a imaginé une nouvelle structure de la classe-puzzle. De nouvelles étapes, consistant en la résolution d'énigmes pour mettre en œuvre le raisonnement scientifique, intègrent la classe-puzzle traditionnelle. Dans cet article, après avoir expliqué l'enseignement puis la méthode d'analyse mise en place, il sera observé si la classe-puzzle « pas comme les autres » et le scénario pédagogique mis en œuvre engendrent le développement de la mémoire sémantique et procédurale, le raisonnement scientifique ainsi qu'un apprentissage à long terme.

SUMMARY

The development of scientific reasoning in students is often a learning outcome expected from teachers. However, it is not easy for students to learn this skill because it requires a wide range of knowledge. A teacher found that it was difficult to implement scientific reasoning in her course if the students did not accommodate a certain amount of knowledge and know how to use it in their procedural memory. To overcome this difficulty, she designed a new structure for the jigsaw classroom. New steps consisting in the resolution of enigmas to implement scientific reasoning, integrate the traditional jigsaw classroom. In this article, after having explained the teaching and the analysis method used, it will be observed whether the "unique" jigsaw classroom and the pedagogical scenario implemented generate the development of semantic and cognitive procedural memory, scientific reasoning and long-term learning.

MOTS-CLES (MAXIMUM 5)

Raisonnement scientifique, apprentissage à long terme, mémoires sémantique et procédurale, taxonomie, classe-puzzle

KEY WORDS (MAXIMUM 5)

Scientific reasoning, long-term learning, semantic and procedural memory, taxonomy, jigsaw classroom

1. Introduction

L'enseignement « Techniques croisées » est donné aux étudiant·e·s* de première année du Master Chimie Moléculaire et Thérapeutique. Ce master prépare les étudiants à devenir des chimistes organiciens. Pour leurs futurs métiers, ils doivent avoir des bases solides en analyse pour la caractérisation des molécules élaborées. Par conséquent, l'enjeu de cette évolution pédagogique est de leur faire acquérir un raisonnement scientifique réutilisable sur le long terme.

Cet enseignement est constitué de huit séances de Travaux Dirigés (TD) de 1h20 chacune et d'environ 3 heures d'Enseignement A Distance (EAD) réparti sur 5 semaines.

Les TD et l'EAD sont axés sur l'identification de molécules inconnues à partir de quatre techniques d'analyse. Cet enseignement permet de croiser les données issues de quatre spectres (le spectre étant le résultat expérimental d'une technique d'analyse) :

- Infra-rouge (IR),
- Spectrométrie de Masse (SDM),
- Résonance magnétique Nucléaire du proton (RMN-1H),
- Résonance magnétique Nucléaire du carbone (RMN-13C)

Ces techniques d'analyses ont déjà été abordées au début du semestre en cours magistraux et TD avec d'autres enseignants.

A chaque technique d'analyse est associée des tables physico-chimiques détaillées permettant d'interpréter le spectre et ainsi identifier les molécules. Le raisonnement scientifique attendu est d'associer les données issues des quatre spectres à une information structurale, de distinguer la complémentarité des méthodes analytiques et enfin de relier les différentes données spectrales entre elles pour valider une hypothèse de structure moléculaire. Cependant, il a été

* Dans la suite de l'article, les termes employés pour désigner des personnes sont pris au sens générique ; ils ont à la fois valeur d'un féminin et d'un masculin.

constaté que si les étudiants ne mémorisent pas les données principales de ces tables physico-chimiques, ils ne savent pas les réutiliser en contexte (en stage par exemple). S'ils n'ont pas automatisé les connaissances de chimie analytique dans leur mémoire procédurale, ils ne peuvent pas faire appel à un raisonnement scientifique.

L'innovation pédagogique introduite dans ce cours a pour objectif le développement du raisonnement scientifique chez les étudiants en testant la dynamique pédagogique de la « Classe puzzle ».

Cette méthode d'enseignement et le scénario pédagogique mis en place développeront-ils un raisonnement scientifique et induiront-ils un apprentissage à long terme ?

2. Constats

Jusqu'à présent les étudiants réalisaient, en présentiel, des exercices par binôme ou seuls. Sur la partie en distanciel, ils devaient faire un récapitulatif des données physico-chimiques essentielles (extraites de chaque technique d'analyse). Puis, il leur était demandé de compléter une carte mentale sur l'apport des quatre techniques d'analyse pour l'identification d'une molécule et de la déposer sur la plateforme d'apprentissage. Pour la compléter, ils devaient effectuer un raisonnement scientifique. Les étudiants ne s'impliquaient pas et ne réalisaient pas, ou peu, les activités demandées.

L'évaluation finale consistait en la résolution d'exercices du même style qu'en TD. Tous les étudiants ne trouvaient pas la bonne réponse et lorsqu'ils la trouvaient, l'enseignante ne savait pas si c'était dû au hasard, à l'intuition ou à un raisonnement scientifique.

De plus, les étudiants trouvaient fastidieux d'apprendre par cœur les données principales des tables physico-chimiques (indispensables pour analyser les spectres) car ils les avaient à disposition sur le web ou dans leur cours.

L'enseignante était insatisfaite des résultats de l'évaluation, de l'absence de raisonnement scientifique chez certains étudiants et de l'implication des étudiants dans sa matière.

3. Problématique et questions de recherche

L'hypothèse de départ est que plus l'étudiant aura intégré dans ses mémoires (sémantique et procédurale) les données essentielles des tables physico-chimiques de chacune des analyses et plus il pourra opérer un raisonnement scientifique afin d'identifier la molécule. De plus, il est attendu un apprentissage en profondeur réutilisable en stage.

Est-ce que la méthode d'enseignement et le scénario pédagogique mis en place ont permis aux étudiants d'inscrire les données essentielles des tables physico-chimiques dans leur mémoire sémantique, de développer le raisonnement scientifique dans la mémoire procédurale et de réactiver ses connaissances et savoir-faire pendant leur stage et dix mois après le cours ?

4. Innovation pédagogique

L'activité qui semblait répondre aux premières attentes de l'enseignante, à savoir impliquer les étudiants dans leurs apprentissages et favoriser les échanges entre étudiants en petits groupes, est l'activité « Classe-puzzle » ou « Jigsaw Classroom ».

4.1. Jigsaw classroom ou classe-puzzle

La classe-puzzle a été inventée par Elliot Aronson en 1971 avec pour principe « rendre la coopération nécessaire en s'assurant que l'apport de chacun est indispensable au travail de tous » (Aronson, 2002). Cette activité se déroule en trois principales étapes expliquées plus en détail en annexes 1 et 2 :

- **Étape 1** : une étape individuelle d'appropriation d'une partie de l'ensemble du cours ou du document à maîtriser ;
- **Étape 2** : une étape collective entre étudiants ayant la même partie afin de maîtriser les concepts ou les éléments de cette partie et qu'ils développent « une stratégie pour enseigner ce qu'ils ont appris aux autres étudiants » (Kozanitis) ;
- **Étape 3** : une étape collective d'apports de connaissances complémentaires où les étudiants d'expertises différentes s'expliquent les apports ou tentent de répondre à la question posée initialement.

4.2. Organisation de la classe-puzzle pas comme les autres

Dès l'**étape 1**, en plus de lecture, les étudiants ont à compléter un tableau récapitulatif des caractéristiques des techniques.

A la fin de l'**étape 2**, alors que les étudiants ne maîtrisent qu'une seule technique d'analyse, il leur est demandé de résoudre une première énigme. Ils doivent commencer à utiliser leur raisonnement scientifique. Le but de cet ajout, par rapport à une classe-puzzle classique, est de faire prendre conscience aux étudiants qu'ils n'ont pas la capacité d'identifier la molécule avec la maîtrise d'une seule technique d'où le sens donné au titre de l'UE « Techniques croisées ».

Puis, à la fin de l'étape 3, deux autres étapes sont imaginées pour que les étudiants réinvestissent à nouveau les apprentissages réalisés.

Etape 4 et énigme : pour continuer l'apprentissage coopératif, les quatre groupes Chercheurs reçoivent les spectres d'une nouvelle molécule, différente pour chacun des groupes. Le travail de chaque groupe Chercheurs va continuer, à distance, avec pour objectif de :

- devenir expert de toutes les techniques d'analyse ;
- compléter et mémoriser le tableau synthétique ;
- appliquer le raisonnement scientifique vu pendant la classe-puzzle en présentiel ;
- rendre un rapport d'analyse de la molécule inconnue.

Pendant ce travail à distance, des séances en présentiel ont lieu pour apprendre à écrire un rapport d'analyse, étudier des molécules plus complexes et approfondir la technique de RMN.

Etape 5 et énigme : après avoir rendu le rapport d'analyse, les groupes Chercheurs sont réorganisés en groupe Experts lors d'une nouvelle classe-puzzle en présentiel. A la différence de l'étape 2, chacun des experts du groupe connaît l'identité de sa molécule sur laquelle il a travaillé dans son groupe Chercheurs à l'étape 4. L'objectif de cette séquence est de partager ses connaissances et savoir-faire pour devenir expert des autres techniques et réactiver aussi bien sa mémoire sémantique que sa mémoire procédurale.

Dans cette nouvelle organisation, trois des quatre experts d'une technique deviennent aussi chercheurs pour l'identification d'une molécule inconnue (Figure 1).

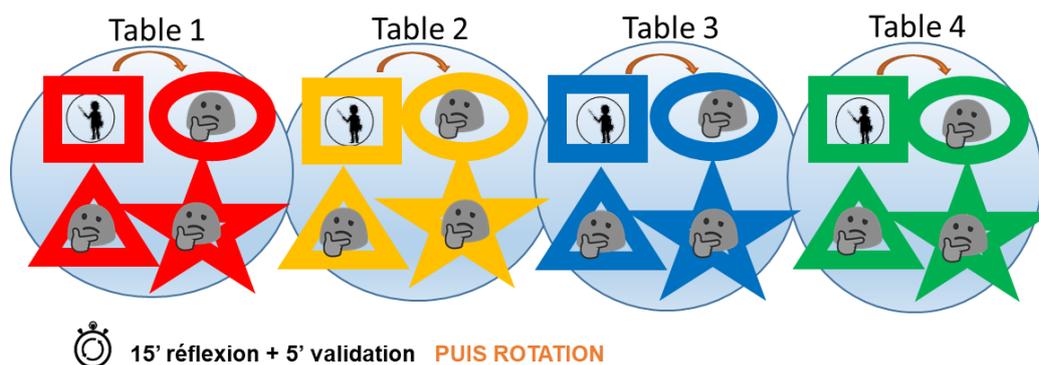


Figure 1 : Fonctionnement des groupes Experts à l'étape 5

Dans chaque groupe Experts, l'étudiant connaissant l'identité de la molécule (ex. : rectangle) est nommé Animateur. Il présente les quatre spectres d'analyse de la molécule inconnue aux autres experts du groupe (ex. : ovale, triangle, étoile). Ces 3 experts doivent trouver la formule en réinvestissant le raisonnement scientifique qu'ils ont eu sur leur propre molécule ainsi que les connaissances des autres expertises qu'ils ont apprises dans leur groupe Chercheurs. Après

vingt minutes, un nouvel expert devient animateur pendant que les trois autres sont chercheurs et la rotation se poursuit pour que les membres de chaque table aient pu résoudre trois énigmes. Ainsi, à chaque table, les experts d'une technique s'approprient les autres techniques pour en devenir aussi experts, et deviennent des chercheurs en appliquant le raisonnement scientifique.

L'ensemble de ces étapes répond à l'envie de renforcer les acquis à tous les niveaux de la taxonomie de Bloom revisitée d'Anderson et Krathwohl (2001) : « se souvenir », « comprendre », « appliquer », « analyser », « évaluer » et « créer » (expliquée dans les parties Perspectives théoriques et Discussion).

Le déroulé pédagogique, hybridant travail à distance et travail présentiel, permet aux étudiants d'élucider 11 énigmes au long du cours (Annexe 2).

5. Pistes conceptuelles

Après plusieurs entretiens auprès de la conseillère pédagogique, il s'avère que le besoin de l'enseignante était de rendre plus explicite ses attentes et de développer l'apprentissage d'un raisonnement scientifique chez les étudiants.

Ces rendez-vous ont porté sur la conscientisation des objectifs d'apprentissage, la scénarisation des méthodes d'enseignement, les outils de collecte de données de l'évaluation de l'innovation pédagogique, la mise en exergue des principes pédagogiques sous-jacents à cette pratique et la problématique de cette recherche très modeste et artisanale.

Des apports théoriques ont accompagné cette démarche :

- L'*alignement de Biggs* (1996) a permis de mettre en cohérence aussi bien la méthode d'enseignement que les objectifs pédagogiques et la méthode d'évaluation. L'envie de cette activité « classe-puzzle » avait pour finalité non pas de progresser dans le travail en équipe mais dans l'acquisition d'un raisonnement scientifique.
- Les résultats d'apprentissage (learning outcomes dans la figure 2) de la *taxonomie d'Anderson et Krathwohl* (2001) sont révélateurs des attentes de cet enseignement. Il est attendu des étudiants qu'ils sachent « analyser », « évaluer » et « créer » (dimension des processus cognitifs) en fonction de savoirs « conceptuels », « procéduraux » et « méta-cognitifs » (dimension connaissance).

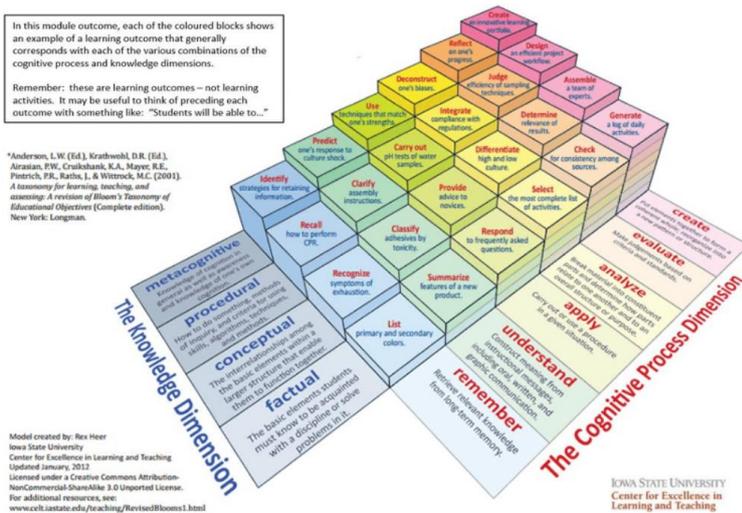


Figure 2 : Taxonomie revisitée d'Anderson, L.W. et Krathwohl, D.R. (2001)

- L'écriture des objectifs d'apprentissage et l'élaboration des grilles d'observation pour observer le déroulement du *raisonnement scientifique* se sont basés sur la définition d'une *pensée critique* de Serge Cospérec (2018), inspirée de Dewey (1910) et sur les définitions du « dico des définitions » : « Le raisonnement, pour sa part, est le produit de la raison (la pensée), qui est apporté par le biais de l'activité intellectuelle. Parmi les principales caractéristiques du raisonnement scientifique, il y a lieu de souligner l'objectivité (les faits sont perçus tels que présentés en réalité), la rationalité (elle a pour base les principes et les lois scientifiques) et la systémativité (la connaissance est organisée et hiérarchisée) ». Faire preuve de pensée critique arrive à la suite du raisonnement scientifique.
- La *mémoire à long terme* fait appel à la mémoire de travail qui elle-même prend sa source dans la mémoire sémantique et la mémoire procédurale ((Raynal, Rieumier, 2014, p.316-317, Figure 3). Dans l'enseignement « Techniques croisées », l'étudiant lorsqu'il activera sa mémoire de travail fera appel aux tables physico-chimiques situées dans sa mémoire sémantique.
- Pour définir la *mémoire sémantique*, « Collins et Loftus (1975) ont proposé une organisation conceptuelle en grappes. Suivant cette nouvelle hypothèse, lorsqu'un concept est activé, les concepts les plus proches sont également activés et deviennent alors facilement accessibles.

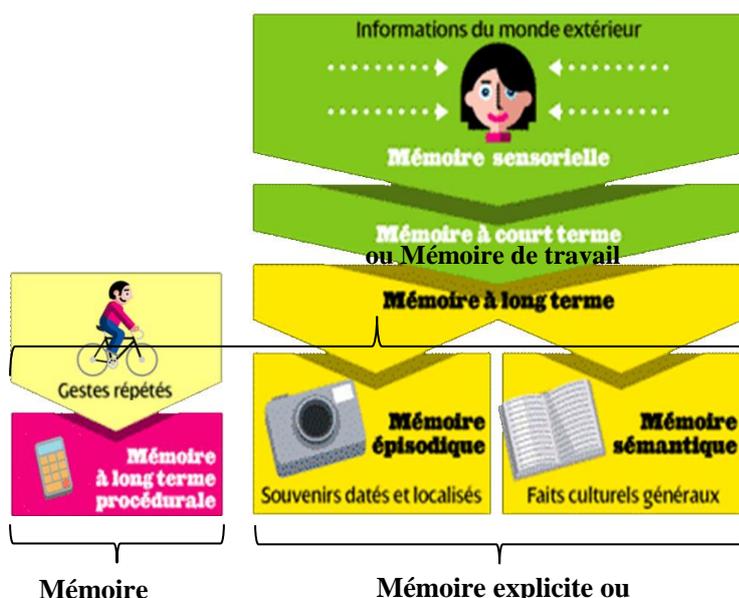


Figure 3 : Inspirée de l'UE Méthodologie de Travail Universitaire (MTU), Cheraud, Y. (2021)

- Raynald et Rieunier (2014) reprennent plusieurs définitions illustrant la démarche de cet enseignement-apprentissage. « La *mémoire de travail* correspond à la partie activée de la mémoire à long terme (Richard, 2004, p.292) et est définie par Baddeley (1990) « comme un système servant à retenir temporairement les informations et à les manipuler pour une gamme importante de tâches cognitives. » (...) Le meilleur moyen d'être performant, c'est de faire appel à des routines de traitement quasi automatisées car elles ne demandent alors qu'une allocation limitée de capacité de traitement » (Raynald et Rieunier, 2014, p.317). L'objectif de la classe-puzzle est d'agiliser la mémoire de travail (Figure 3) en ancrant les apprentissages à long terme. Il s'agit alors de les ancrer aussi bien dans la mémoire sémantique pour les tables physico-chimiques que dans la mémoire procédurale pour le raisonnement scientifique.

En faisant appel régulièrement à la mémoire sémantique et en réalisant des automatismes de développement du raisonnement scientifique (repérer les zones caractéristiques, vérifier leurs concordances avec d'autres éléments, vérifier la présence d'un autre élément, etc.), l'étudiant ancre ce savoir-faire dans la *mémoire procédurale* (Croisile, B. 2009). Il pourra ainsi se focaliser sur la critique de son analyse (évaluer) et proposer une hypothèse de structure moléculaire (créer).

6. Méthodologie

6.1. Déroulement de l'étude

Un recueil de données a été mis en place auprès des dix-sept étudiants (8 filles et 9 garçons) âgés de 20 à 24 ans, en se basant sur des méthodes qualitatives et quantitatives. Il porte sur :

- un questionnaire d'auto-évaluation des apprentissages posé aux étudiants avant le premier cours (novembre 2019) et dix mois après la fin de l'UE (septembre 2020), afin d'évaluer leurs connaissances préalables et finales sur les données essentielles des tables physico-chimiques ;
- une évaluation des apprentissages à la fin de l'UE, afin d'évaluer le raisonnement scientifique (processus de résolution du problème) et le résultat scientifique (molécule chimique identifiée) ;
- deux observations de groupe portant sur l'étape 5 de la classe-puzzle pour identifier :
 - le partage des apprentissages entre étudiants,
 - l'activation de la mémoire sémantique,
 - l'activation de la mémoire procédurale.

Deux grilles d'observation ont été élaborées afin de suivre l'analyse critique des étudiants :

- Une grille concernant le raisonnement scientifique des étudiants dans l'étape 5, renseignée par l'étudiant Animateur (Annexe 3) ;
- Une grille concernant le développement de leur analyse critique renseignée par l'enseignante et la conseillère pédagogique (Annexe 4).

La mémoire sémantique est observée suivant le nombre de fois et le temps passé à chercher les informations dans les bases de données.

Les échanges lors de deux observations de chaque groupe ont été enregistrés et transcrits : un enregistrement pour la première et la dernière molécule à analyser.

Cet enseignement a également été analysé à la lumière de la taxonomie d'Anderson et Krathwohl (2001).

Ces méthodes d'analyse vont permettre de regarder l'évolution des connaissances et du raisonnement scientifique tout au long de l'UE chez les étudiants.

7. Résultats et interprétations

7.1. Raisonnement scientifique et mémoire procédurale

7.1.1. Analyse des observations de classe

Concernant la grille d'observation du raisonnement scientifique renseignée par l'étudiant Animateur (Annexe 3), les critères d'analyse concernent le suivi des arguments proposés par le groupe (Figure 4) pour chacune des quatre énigmes (de difficulté similaire).

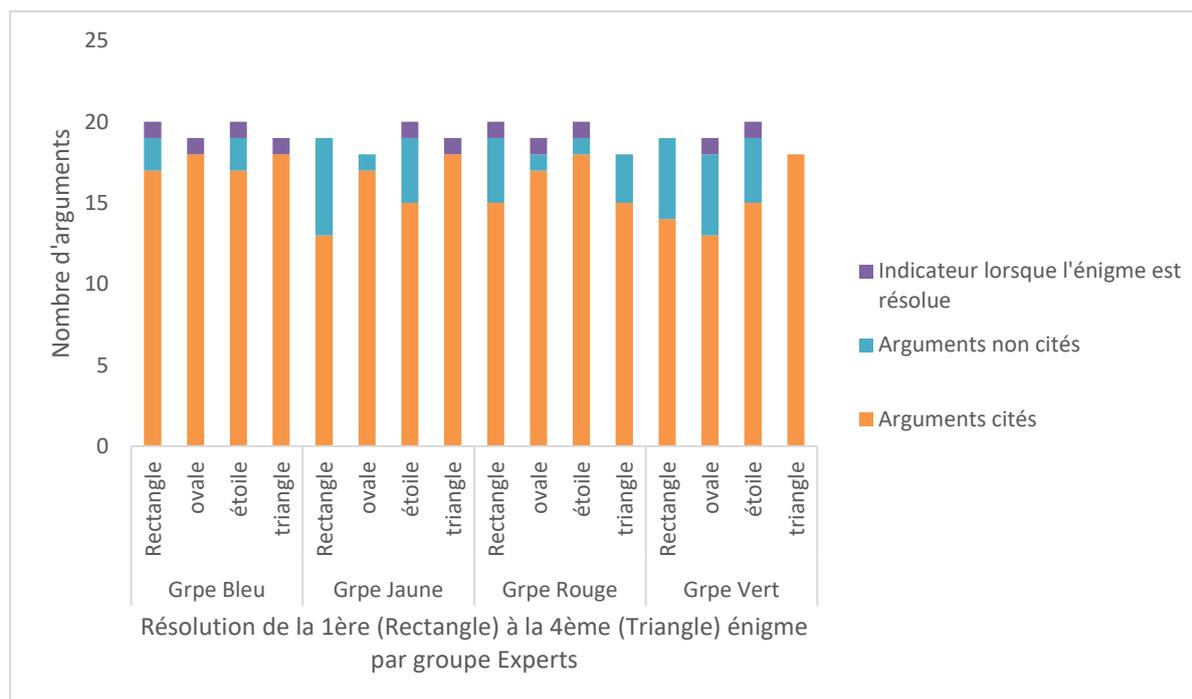


Figure 4 : Suivi du raisonnement scientifique

La plupart des groupes ont bien cité les arguments attendus dans le raisonnement scientifique. Pour autant, l'énigme n'a pas forcément été résolue et seul le groupe Bleu a résolu toutes les énigmes (présence des quatre indicateurs violets).

Au vu du nombre d'arguments cités pendant leur raisonnement scientifique (largement supérieurs à ceux qui ne sont pas cités), les étudiants ont activé leur mémoire procédurale par un apprentissage répété.

Cette grille a permis à l'étudiant Animateur de faciliter le suivi des arguments proposés par les membres de son groupe mais aussi de ne pas leur donner l'information et d'être dans l'attente du raisonnement scientifique. Il peut ainsi comparer le raisonnement scientifique du groupe Expert à celui qui avait été proposé dans son groupe Chercheurs.

7.1.2. Analyse des enregistrements audio

A l'aide des transcriptions audio, une analyse lexicométrique (Figure 5) permet de relever les mots-clés qui permettent, dans une certaine mesure, d'apprécier le raisonnement scientifique. Ces mots-clés sont : « du coup », « donc », « on a soit », « c'est possible », « cohérent », « vérifié », « ok », « ça fait », « bon », « confirme », « bizarre », « tu vois ». Ce vocabulaire, utilisé dans la résolution de l'énigme, indique que les étudiants font appel à leur mémoire procédurale.

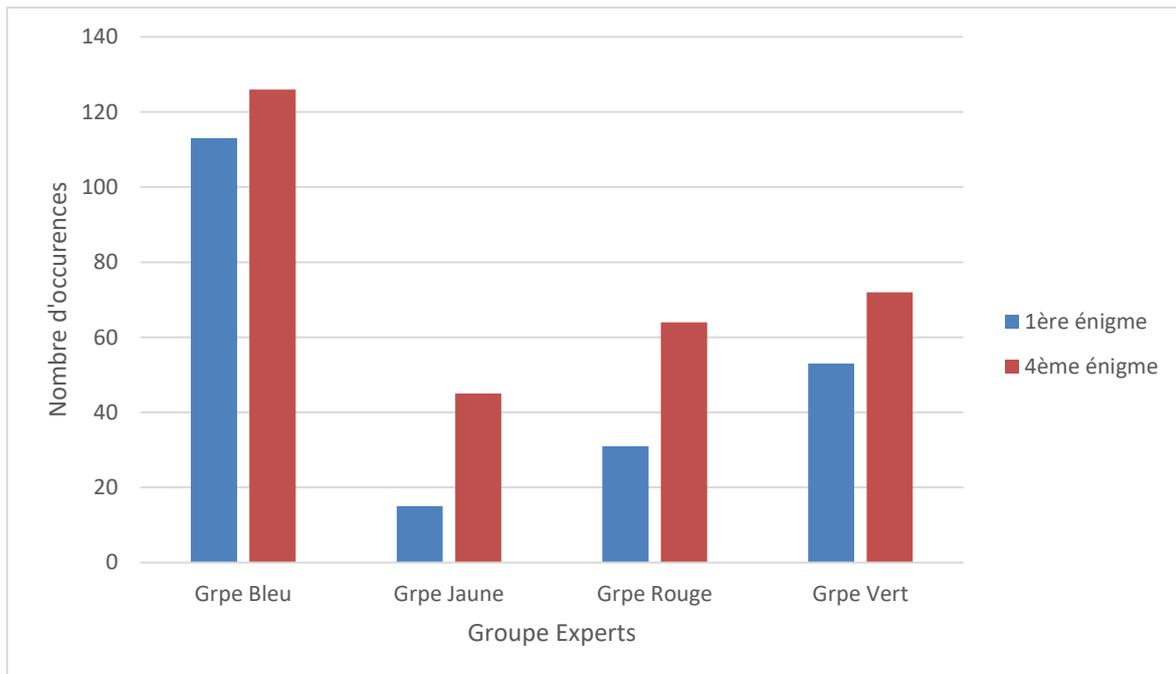


Figure 5 : Nombre d'occurrences marquant le raisonnement scientifique

Entre la résolution des énigmes 1 et 4, le nombre de mots reflétant le raisonnement scientifique augmente pour tous les groupes. Des automatismes de réflexion se mettent en place plus rapidement et de manière plus nombreuse. Le groupe jaune est le groupe ayant rencontré le plus de difficulté dans la résolution de la première énigme. Par contre, le raisonnement scientifique réalisé pour la 4ème énigme a été plus riche d'échanges et de vocabulaire argumentatif indiquant que les étudiants font appel de manière croissante à leur logique de résolution de problème.

Le groupe bleu a utilisé le plus grand nombre d'occurrences argumentatives. C'est également le seul groupe qui a résolu les deux énigmes (figure 5). On peut en déduire que le raisonnement scientifique était particulièrement développé pour ce groupe

7.1.3. Analyse des productions de l'évaluation finale

L'énoncé de l'examen final est resté inchangé afin de faciliter la comparaison entre les résultats d'un enseignement traditionnel avant l'innovation pédagogique (promotions 2017-18 et 2018-19), et une classe-puzzle (promotion 2019-20).

D'un point de vue qualitatif, la résolution des problèmes de l'examen est plus structurée. Le déroulé du raisonnement scientifique est expliqué avec plus de détails et les corrélations entre les quatre techniques d'analyses sont mieux exposées.

De manière quantitative (Figures 6 et 7), il est observé que les résultats des étudiants à l'évaluation sont meilleurs pour la promotion 2019-20 (moyenne = 14,39) que pour les promotions 2018-19 (moyenne = 11,27) et 2017-18 (moyenne = 12,19).

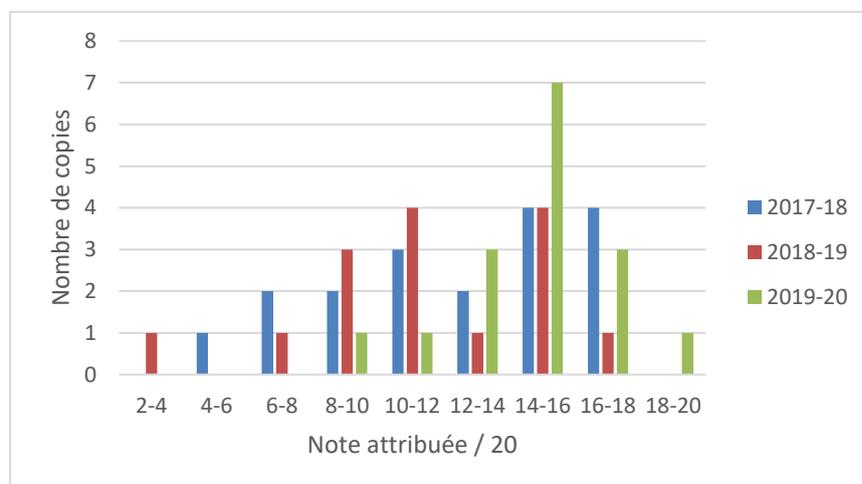


Figure 6 : Notes des évaluations finales par année de promotion

Cette évaluation permet aussi d'analyser l'effet que le dispositif a sur l'équité (De Lièvre, 2021).

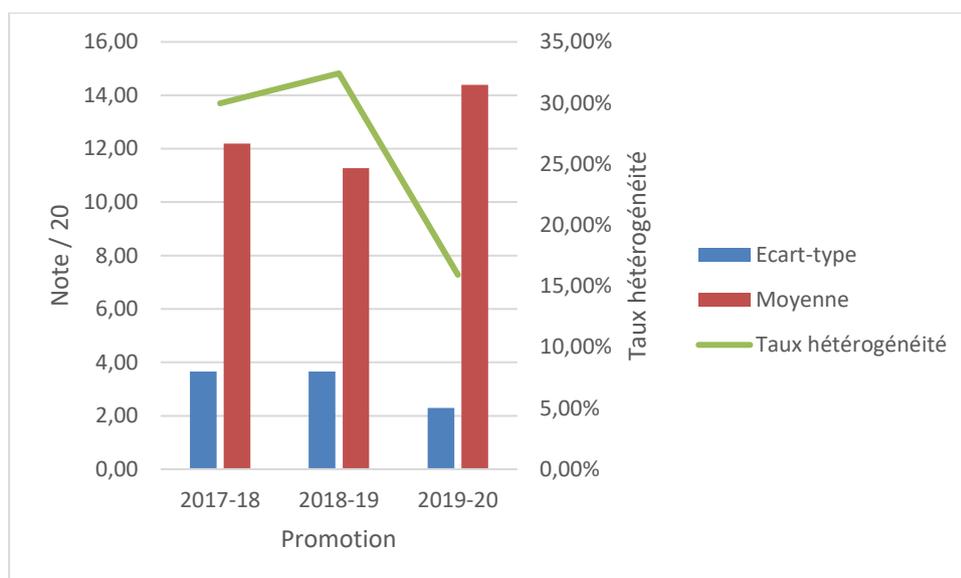


Figure 7 : Taux d'hétérogénéité par année de promotion

Le taux d'hétérogénéité (Figure 7) avec la classe-puzzle (16%) est inférieur à ceux obtenus dans le cas d'un enseignement traditionnel (environ 30%). La diminution de ce taux montre que la classe-puzzle permet de réduire les écarts initiaux entre les étudiants et qu'elle permet d'avoir une classe plus homogène.

En plus de la perception de l'enseignante sur l'augmentation des apprentissages des étudiants, cette analyse confirme que l'apprentissage par la classe-puzzle a été bénéfique et que tous les profils d'étudiants sont embarqués dans la réussite.

7.2. Analyse de l'apprentissage en profondeur et mémoire sémantique

7.2.1. Analyse des observations de classe

La mémoire sémantique est analysée à partir des deux enregistrements par groupe (résolution des énigmes 1 et 4). A partir de la transcription des enregistrements, il est identifié le nombre d'occurrences du mot « Table » reflétant le nombre de fois que les étudiants disent regarder leurs tables physico-chimiques dans leur cours (Figure 8). L'hypothèse est que plus les étudiants font appel à leurs feuilles de cours, moins ils font appel à leur mémoire sémantique et donc moins ils ont appris leur cours.

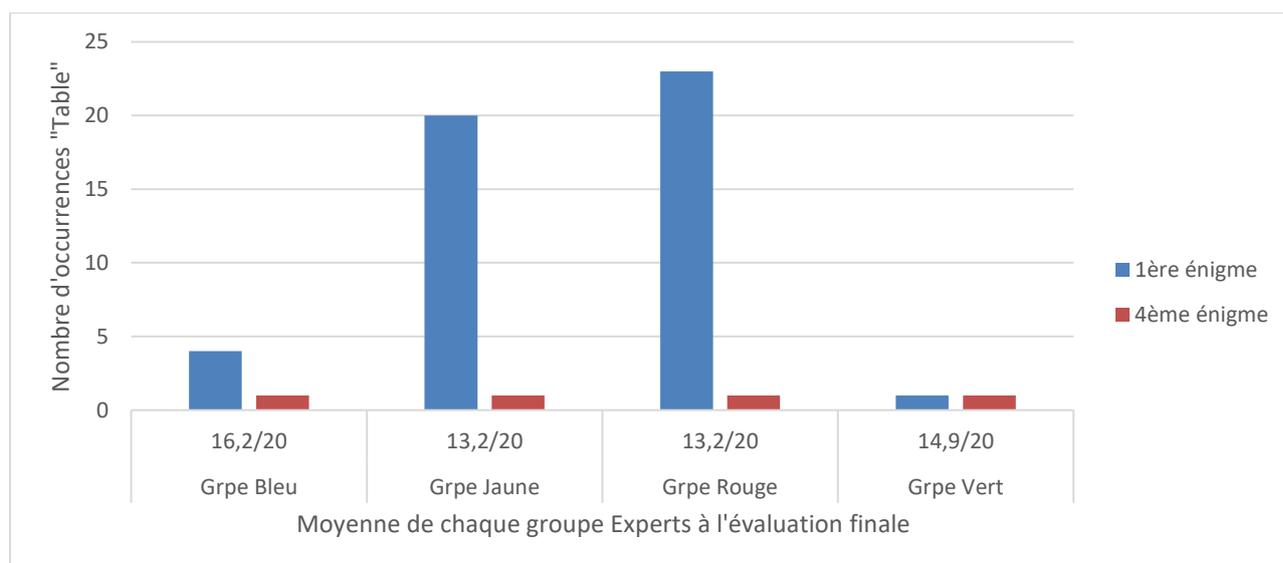


Figure 8 : Nombre d'occurrences "Table" à la 1ère et 4ème énigme en fonction de la moyenne du groupe à l'évaluation finale

La figure 8 indique que les 2 groupes se référant le plus à leurs tables physico-chimiques (nombre d'occurrences le plus élevé) sont les 2 groupes ayant la moyenne la plus basse à l'évaluation finale (groupes Jaune et Rouge). Pour ces 2 groupes, les tables physico-chimiques ne sont pas intégrées à leur mémoire sémantique, nuisant ainsi leur capacité à raisonner scientifiquement.

Le faible nombre d'occurrences du mot « Table » à la dernière énigme (mais aussi dès la première énigme pour le groupe Vert) est le reflet du fait que les étudiants ont déjà sorti leurs tables physico-chimiques et qu'ils s'y réfèrent très souvent sans les mentionner.

Pour remédier à cet écueil, les grilles d'observation renseignées par l'enseignante et la conseillère pédagogique sont analysées. Pour toutes les énigmes, tous les groupes utilisent leurs tables physico-chimiques, certains beaucoup plus que d'autres. Le groupe Bleu est celui qui les a utilisées le moins et c'est ce groupe qui obtient la meilleure moyenne à l'évaluation finale.

Par conséquent, la mémorisation des éléments essentiels des tables physico-chimiques dans la mémoire sémantique aide au raisonnement scientifique et à la résolution de l'énigme ; « lorsqu'un concept est activé, les concepts les plus proches sont également activés et deviennent alors facilement accessibles » (Collins et Loftus, 1975).

En faisant le lien entre le nombre d'occurrences des mots utilisés pour le raisonnement scientifique et le nombre d'occurrences du mot « Table », le groupe Bleu (celui réussissant aussi le plus rapidement la résolution des énigmes) est le groupe faisant appel au plus grand nombre d'occurrences reflétant le raisonnement scientifique et au plus faible nombre

d'occurrences faisant appel aux tables physico-chimiques. Par conséquent, les étudiants de ce groupe ont mieux intégré que les autres les tables physico-chimiques dans leur mémoire sémantique et le raisonnement scientifique dans leur mémoire procédurale.

7.2.2. Analyse des questionnaires PréTest et PostTest

Le même questionnaire a été donné au début de l'UE et 10 mois après la fin de l'UE afin d'observer si une progression dans la mémorisation à long terme des données des tables physico-chimiques a eu lieu (Figure 9).

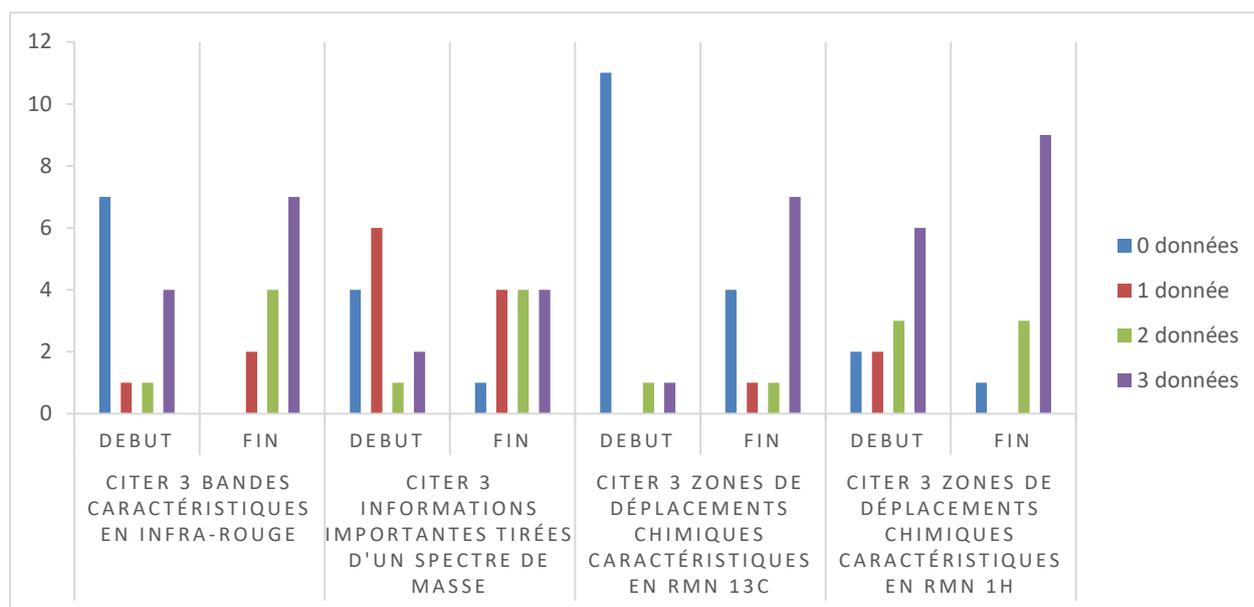


Figure 9 : Nombre de données physico-chimiques citées par les étudiants en fonction des quatre analyses, au début et à la fin de l'UE

Les étudiants sont capables de citer plus de données physico-chimiques 10 mois après la fin de l'UE qu'au début de l'UE. Pour évaluer cette évolution, le gain relatif peut être calculé. Il correspond au rapport de ce que le groupe-classe a gagné à ce qu'il aurait pu gagner au maximum (D'Hainaut, 1975). Pour le groupe-classe M1CMT, le gain est égal à 54,2%. Ce rapport positif montre que le groupe a évolué positivement dans la mémorisation à long terme, quel que soit son niveau de départ.

En conclusion, quelle que soit la technique d'analyse qu'ils devaient travailler au début de la classe-puzzle, les étudiants ont progressé dans la mémorisation à long terme des données essentielles des tables physico-chimiques issues des quatre techniques d'analyse. Ils sont devenus experts de toutes les techniques d'analyse malgré en n'avoir travaillé qu'une seule au début de la classe-puzzle.

A ce constat, on peut rajouter que les étudiants ont conscience que la méthode d'enseignement-apprentissage utilisée influe leur maîtrise des connaissances et savoir-faire. En effet, à la question, en fin d'UE, « Est-ce que la méthode d'enseignement utilisée (la classe puzzle) vous a permis un meilleur apprentissage des connaissances et savoir-faire en techniques croisées ? », 13 étudiants sur les 14 répondants sont plutôt d'accord et tout à fait d'accord et 1 plutôt pas d'accord.

8. Discussion

8.1. Discussion de la méthode pédagogique suivant la taxonomie revisitée d'Anderson et Krathwhol (2001)

La classe-puzzle permet de donner du sens à cet enseignement et à tous les apprentissages réalisés par les étudiants. En effet, l'organisation de cette nouvelle classe-puzzle permet de balayer tous les processus cognitifs des quatre dimensions de la connaissance que les étudiants peuvent être amenés à construire, selon la taxonomie revisitée d'Anderson et Krathwhol (Annexe 5).

Le premier type de connaissance est factuel et correspond aux apprentissages liés au groupe Experts dans les deux premières étapes de la classe-puzzle. Tous les processus cognitifs sont engagés : retrouver les données physico-chimiques d'une technique d'analyse (étape 1), résumer et ne retenir que les informations importantes, appliquer ces données aux spectres des molécules inconnues, identifier la molécule, détecter qu'une seule technique n'est pas suffisante et créer son tableau synthétique (étape 2).

Le passage aux groupes Chercheurs (étape 3) permet d'accéder aux concepts dans le sens où chacune des techniques d'analyse (les faits) peuvent être rassemblées en un concept « les techniques croisées ». Dans cette dimension de la connaissance, reconnaître les différentes données physico-chimiques de tous les spectres, les analyser et démontrer les liens unissant tous les faits entre eux, vérifier la concordance des données et enfin créer une carte conceptuelle pour visualiser le raisonnement scientifique généré par la démarche en proposant une hypothèse de structure reprennent quatre des six processus cognitifs (reconnaître, analyser, évaluer et créer).

Enfin, l'ajout de deux étapes supplémentaires par rapport à une classe-puzzle classique permet d'atteindre la dimension cognitive procédurale. Dans la quatrième étape de la classe-puzzle, l'étudiant va alimenter sa connaissance procédurale : réactiver sa mémoire sémantique, comprendre les techniques dont il n'est pas expert initialement, appliquer ses connaissances à

la résolution d'une nouvelle énigme en reproduisant un raisonnement scientifique, l'analyser et proposer une hypothèse de structure dans un rapport d'analyse. Enfin dans la cinquième et dernière étape, si l'étudiant-chercheur du groupe Expert répète les dimensions cognitives déjà explorées en groupe Chercheur pour mieux s'en imprégner, l'étudiant Animateur, en étant observateur, pourra comprendre le raisonnement scientifique du groupe en suivant leurs arguments et pourra vérifier leurs discours et valider leur proposition finale.

L'étudiant Animateur pourra ainsi examiner son propre processus d'apprentissage en comparant son raisonnement scientifique sur les techniques croisées à celui de ses collègues et développer une stratégie métacognitive qui le fera réfléchir sur la façon dont il apprend et ainsi l'améliorer.

8.2. Discussion générale et perspectives

Dans l'analyse de cette innovation pédagogique, il n'a pas été évalué les effets des méthodes utilisées sur la motivation des étudiants. Cependant, l'enseignante a observé des étudiants plus actifs et une ambiance de classe plus dynamique. Entre les deux séances de classe-puzzle, les étudiants se retrouvaient en séances de travaux dirigés classiques pour résoudre des exercices complémentaires. Dans ce contexte, les étudiants voulaient continuer à travailler par équipe et en groupe Chercheurs. Ils ont continué la dynamique d'échange. Il a également été observé dans les enregistrements audio une envie de jouer à trouver la formule de la molécule. Ils trouvaient tout l'intérêt de rechercher des connaissances dans leur cours pour résoudre les énigmes. Ils étaient enthousiastes à l'idée d'avoir d'autres énigmes à élucider et ne voulaient pas s'arrêter tant qu'ils n'avaient pas trouvé la formule de la molécule inconnue.

La recherche se focalise sur le développement du raisonnement scientifique à partir de la méthode de classe-puzzle. Cependant, les comportements des étudiants dans le travail en équipe pour résoudre les énigmes n'ont pas été observés. En faisant une autre étude à l'aide d'enregistrements vidéo, il serait possible d'étudier les effets du comportement des étudiants sur la dynamique de résolution des énigmes. En effet, une étudiante (ayant d'excellents résultats académiques) se montrait très perfectionniste et compétitive et ne prenait pas le temps d'écouter les bonnes remarques du reste de l'équipe, constituée de deux autres filles et d'un garçon. Malgré ses excellents résultats dans cette matière, son attitude faisait douter le groupe et aucune des deux énigmes enregistrées n'a été élucidée à la fin des 20 minutes.

Une limite à la recherche est qu'elle ne se base pas sur le développement du raisonnement scientifique déjà acquis par les étudiants de M1.

En prolongement de cette étude, une activité de type métacognitive est envisagée dans laquelle les étudiants prendraient du recul sur leur manière d'apprendre individuellement et en groupe et ainsi aborder à nouveau, avec un regard réflexif, le lien entre la mise en œuvre de leurs connaissances et savoir-faire et la mémoire procédurale. Une autre évolution serait d'introduire à la fin de l'étape 2 une explication sur ce qu'est le raisonnement scientifique et à partir de quelles mémoires il se développe.

L'écriture de cet article a permis de préciser les résultats d'apprentissage visés, d'être critique par rapport aux apprentissages des étudiants et d'explicitier un résultat d'apprentissage supplémentaire : évaluer les raisons d'une mauvaise identification de la formule de la molécule inconnue.

Cet enseignement a été expérimenté en enseignement à distance lors de la crise sanitaire de la Covid-19, pour la promotion 2020-21. Les réponses obtenues, suite à l'évaluation de l'enseignement, indiquent que cette technique de classe-puzzle est pertinente en enseignement à distance et qu'elle a également été motivante et enthousiasmante pour les étudiants distants.

9. Conclusion

Le but de l'innovation pédagogique de cet enseignement concerne le développement d'un raisonnement scientifique. Il s'agit de rechercher, prendre des décisions et analyser la formule développée d'une molécule en s'appuyant sur des données expérimentales. Ce raisonnement doit pouvoir être formulé aussi bien sous forme de rapport d'analyse que sous forme d'échanges entre étudiants où ils doivent présenter les données expérimentales (les données physico-chimiques de chaque analyse), interpréter ces faits expérimentaux (les liens et la concordance des informations entre les différentes analyses) et analyser le résultat (la formule développée de la molécule inconnue).

Suivant cette étude et les perceptives théoriques, le raisonnement scientifique est bien réalisé par les étudiants. Ils sont montés en compétences c'est-à-dire qu'ils sont capables de retrouver l'essentiel de chacune des techniques d'analyse, de relier correctement les données les unes aux autres et de faire apparaître, dans l'évaluation, le raisonnement scientifique afin de s'en servir en stage.

De plus, au regard des analyses, de l'interprétation et de la discussion, les étudiants ont réalisé les apprentissages de manière moins fastidieuse.

A l'aide de plusieurs techniques telles que l'écoute active, la reformulation et « l'entretien d'explicitation » (Vermersch, 2019) utilisées par la conseillère pédagogique, l'enseignante a pu conscientiser le processus du raisonnement scientifique en techniques croisées qui était lui-même dans sa mémoire procédurale donc implicite. Avant d'arriver à cette étape d'explicitation du raisonnement scientifique et donc des objectifs d'apprentissage, l'enseignante a mis en cohérence les méthodes d'enseignement qu'elle souhaitait utiliser avec ses croyances sur la dynamique d'apprentissage des étudiants. Cette analyse a permis une appropriation critique d'une méthode d'enseignement en présentiel, telle que la classe-puzzle, et de monter en compétence dans l'explication des principes théoriques pédagogiques expliquant les pratiques d'enseignement.

Références bibliographiques

- Anderson, L.W., Krathwohl, D.R., Airasian, P.W., Cruikshank, K.A., Mayer, R.E., Pintrich, P.R., Raths, J., Wittrock, M.C. (dir. publ.). (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York, Longman
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., & Bloom, B. S. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives: Allyn & Bacon.
- Aronson, E. (2002). The jigsaw strategy, San Diego, Academic Press, traduits et adaptés par Philippe Meirieu, https://www.meirieu.com/CLASSEAUQUOTIDIEN/jigsaw_francais.pdf
- Baddeley, A. (1990). *La mémoire humaine, théorie et pratique*. PUG. Grenoble. p.79
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher education*, 32,3, pp 347-364.
- Cheraud, Y. (2021). *Méthodologie de travail universitaire [notes de cours]*. Département de Biologie, Université de Nantes.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407–428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.82.6.407>
- Cosperec S. (2018). « Développer l'esprit critique des élèves ? Un mouvement anglo-saxon, le Critical Thinking », Skhole.fr, 13 février 2018. <http://skhole.fr/developper-esprit-critique-des-eleves-un-mouvement-anglo-saxon-critical-thinking-par-serge-cosperec>
- Croisile, B. (2009). Approche neurocognitive de la mémoire. *Gérontologie et société*, 3(3), 11-29. <https://doi.org/10.3917/gs.130.0011>
- De Lièvre, B. (2021). *Quelles modalités d'évaluation de la performance dans un environnement numérique d'apprentissage ? [notes de cours]* Département de Sciences de l'Éducation, Université de Mons
- Dewey, J. (1910). *How we think*. Boston : D.C. Heath and Company
- D'Hainaut, L. (1975). *Concepts et méthodes de la statistique (Vol. 1)*. Bruxelles : Labor.
- Kozanitis, A. *Activités pour encourager l'apprentissage actif durant les cours*. Bureau d'appui pédagogique. École Polytechnique Montréal, <file:///C:/Users/pichon-a/AppData/Local/Temp/Activites-apprentissage-actif.pdf>
- Raynal, F. et Rieunier. A. (2014). *Pédagogie, dictionnaire des concepts clés*. ESF Editeur. 10ème édition. p. 542.

Richard. J.-F. (2004). Les activités mentales. A. Collin. Paris. p. 34-50.

Vermersch. P. (2019). *L'entretien d'explicitation*. EST Editeur.

Références sitographiques

Centre for Excellence in Learning and Teaching. (2012) A three dimensional model of learning outcomes in the Cognitive Domain. Iowa City: Iowa University Press. <http://www0.sun.ac.za/ctlresources/outcomes/taxonomies-of-learning/> Consulté le 2 avril 2021

Stanczak, A., Robert, A., Dambrun, M. (2020, 7 octobre). Avec les « classe puzzles », favoriser la coopération entre élèves The conversation : <https://theconversation.com/avec-les-classes-puzzles-favoriser-la-cooperation-entre-eleves-145941>, consulté le 15 janvier 2021

(2011, 30 décembre). Le dico des définitions : <https://lesdefinitions.fr/raisonnement-scientifique>
Taxonomie de Bloom révisée (Anderson et al.).
[https://wiki.telug.ca/wikimedia/index.php/Taxonomie_de_Bloom_r%C3%A9vis%C3%A9e_\(Anderson_et_al.\)](https://wiki.telug.ca/wikimedia/index.php/Taxonomie_de_Bloom_r%C3%A9vis%C3%A9e_(Anderson_et_al.)), consultée le 19 janvier 2021.

Goudeseune, D. (2019, 11 juillet). Mémoire procédurale des habiletés motrices et cognitives. <https://par-temps-clair.blogspot.com/2019/07/memoire-procedurale-des-habiletetes.html>, consulté le 29 janvier 2021.

Cantin, J. (2012, 28 octobre). <https://moocmooc.wordpress.com/2012/10/28/taxonomie-des-processus-cognitifs-danderson-et-de-krathwohl/>

Annexes

Annexe 1 : Organisation de la classe-puzzle

La classe-puzzle, associée à une réorganisation du travail à distance (étape 1), organise les groupes de travail en groupes Experts (étape 2) puis les structure en groupes Chercheurs (étape 3) (Figure 1). Les groupes (Experts comme Chercheurs) sont constitués de quatre étudiants avec pour critère de provenir, autant que possible, de formations différentes.

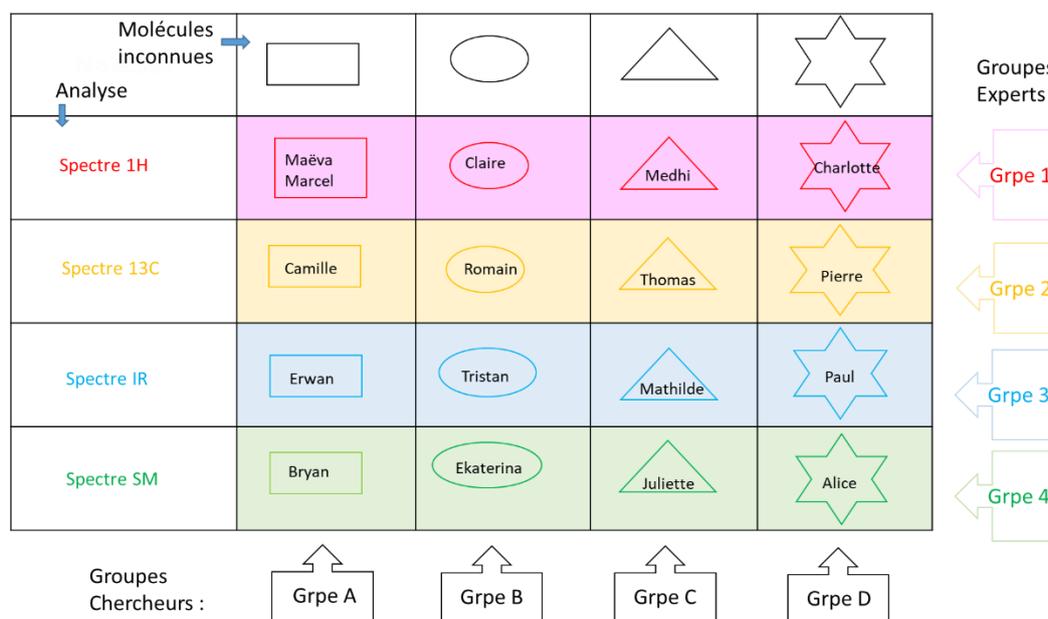


Figure 1 : Structure de la classe-puzzle

Etape 1

Un travail préparatoire, à distance, individuel, leur est demandé. Il s'agit de rassembler suffisamment de données, à partir des cours précédents, sur une des quatre techniques pour le partage en groupe. Chacun devient ainsi expert d'une technique.

Etape 2 complétée par une énigme (30mn)

Les étudiants, maîtrisant la même technique (déterminée par la couleur, figure 1), sont répartis en groupe Experts (groupe 1 à 4). En séance présentielle, le travail collaboratif de chaque groupe Experts permet d'échanger sur un même domaine d'analyse et de résumer les informations de la technique d'analyse étudiée dans un tableau synthétique. Cette étape est complétée par la résolution de quatre énigmes. Chaque membre du groupe Experts reçoit un spectre d'une molécule inconnue, déterminée par la forme géométrique, afin d'appliquer son expertise.

Le but de cet ajout, par rapport à une classe-puzzle classique, est de faire prendre conscience aux étudiants qu'ils n'ont pas la capacité d'identifier la molécule avec la maîtrise d'une seule technique d'où le sens donné au titre de l'UE « Techniques croisées ».

Etape 3 (40mn)

Puis, la classe-puzzle est restructurée en groupes Chercheurs (groupes A à D). Les experts de chaque technique (les quatre couleurs) sont réunis dans le but de résoudre leur énigme : identifier la formule de la molécule qui leur a été confiée (identifiée par une forme géométrique). « Ainsi, chaque groupe accède à la totalité du contenu du cours en mettant en commun les connaissances des différents membres, à la manière d'un puzzle. » (The conversation, 2020).

Dans cette étape, toutes les hypothèses sont croisées, combinées, mises en concordance et traduisent le cheminement du raisonnement scientifique pour découvrir la formule de la molécule. Il leur est demandé de formaliser ce raisonnement scientifique sous forme de carte conceptuelle, en mettant l'accent sur les liens reliant les quatre techniques, puis de la présenter en grand groupe.

Annexe 2 : Organisation des séances à distance et en présentiel

Séance	Durée (min)	Contenu
EAD 1	40	Travail préparatoire à distance, individuel
Présentiel 1	80	Classe-puzzle présentiel (étude d'une énigme parmi quatre)
Présentiel 2	80	Enigme 5
EAD 2	60	Travail des groupes Chercheurs, à distance sur une molécule
Présentiel 3	80	Enigme 6
Présentiel 4	80	Enigme 7
EAD 3	60	Fin du travail des groupes Chercheurs, à distance ; dépôt du livrable sur Moodle
Présentiel 5	80	Classe-puzzle présentiel (étude de trois énigmes parmi quatre)
Présentiel 6	80	Enigme 12
Présentiel 7	80	Enigme 13
Présentiel 8	80	Enigme 14

Annexe 3 : Observation du groupe par l'étudiant Animateur (étape 5)



Grille critériée : Raisonnement scientifique

Techniques	Arguments proposés suite à l'observation des spectres	Interprétation proposée	Ordre d'apparition	oui	non
SM					
	Pic moléculaire avec masse impaire	Nb impair de N			
	Massif isotopique : calcul du nb de C en comptant 1 N	6 C			
	Massif isotopique : pics séparés de 2 u avec un rapport $\approx 50/50$	Présence d'1 seul Br			
	Calcul du nb de O via la MM et pour 6H (cf RMN 1H)	0			
	Proposition de la formule brute	C_6H_6NBr			
	Calcul du nb d'insaturations	4			
RMN 13C					
	Nb de raies confirme la valeur SM	6C confirmé			
	Une raie vers 150 ppm	CO d'ester, amide, carbamate ? => en désaccord avec IR et SM			
	5 raies entre 116 et 130 ppm	Csp ² aromatique			
	Aucune raie en dessous de 130 ppm	Pas de Csp ³			
RMN 1H					
	Intégration => A mettre en regard de la MM	6H			
	Intégration 1/1/1/1/2	Radicaux :CH, CH, CH, CH CH2 en désaccord avec 13C => sur hétéroatome N			
	Massif entre 6.5 et 7 ppm	Zone aromatique => 4 insaturations			
	4 H aromatiques	Benzène disubstitué par Br et NH2			
	Allure des multiplets (t, dt, t, dt)	Substitution en méta			
IR					
	Bandes caractéristiques vers 3300	γ NH2			
	Bande caractéristique vers 3100	γ =CH			
	Bandes caractéristiques vers 1600	γ C=C			
	Bandes caractéristiques vers 600-800	γ CBr			

Vocabulaire non disciplinaire utilisé pendant la recherche pour faire avancer la réflexion (entourez les propositions utilisées ou en rajouter) :

J'oublie toujours de calculer le nb d'insaturations

Ca ne concorde pas

C'est quoi déjà la zone de déplacements des Csp³/sp²/sp ?

Si moi j'ai "ça", est-ce que toi tu as "ça" dans ton spectre ?

Les empreintes IR ça sert pas beaucoup

Je comprends pas l'allure des multiplets

Y'a un truc bizarre

Ah mais oui évidemment !

C'est pas possible

C'est trop facile

Annexe 4 : Observations de la séance de travail par les auteurs (étape 5)

Accompagnement : Pôle pédagogique S&T ; Auteurs : Isabelle Beaudet, Aude Pichon

Utilisation de l'échelle dite « *objective* »

0 : Jamais observé durant la séance de travail

+ : Observé de multiples fois durant la séance de travail (autant de + que d'observations)



Grille observation séance travail en groupe					Commentaires
Implication – Engagement – Ecoute des étudiants chercheurs					
L'étudiant se sent concerné par le travail à réaliser					
L'étudiant écoute les idées, hypothèses et pistes de chacun					
L'étudiant relance les idées et les propositions des autres					
L'étudiant ne reste pas sur son idée première (ouverture d'esprit)					
L'étudiant travaille individuellement dans la production de l'activité					
Apprentissages réalisés : mémoire procédurale des étudiants chercheurs					
L'étudiant passe son temps à consulter ses bases de données					
L'étudiant regarde son tableau synthétique					
L'étudiant se questionne sans avoir besoin de ses bases de données					
Analyse critique = enquête scientifique					
L'étudiant vérifie les infos données par les autres (être critique)					
L'étudiant formule clairement ses idées et les argumente					
L'étudiant évalue de façon critique : propose des interprétations, questionne sur le discours des autres					
L'étudiant valide la formule de la molécule, en se fondant sur les arguments avancés (démarche critique)					
L'étudiant expert-secrétaire réalise le bilan en se basant sur les arguments proposés (synthétise)					
Apprentissages réalisés : croiser les techniques des étudiants chercheurs					
L'étudiant utilise tous les spectres					
L'animateur					
L'animateur donne des indications lorsque le groupe « sèche »					
L'animateur guide le groupe en leur posant des questions					
L'animateur renseigne régulièrement la grille d'observation					

Annexe 5 : La classe-puzzle pas comme les autres, selon la taxonomie de Bloom revisitée

	Les faits	Les concepts	Les procédures	La stratégie métacognitive
Mémoriser Reconnaître	1) Experts , solo, EAD Faire le bilan des données d'une technique Identifier	3) Chercheurs Lister les différentes données de tous les spectres	4) Chercheurs EAD équipe Réactiver sa mémoire sémantique 5) Experts → chercheurs du groupe Mise en commun Réactiver sa mémoire sémantique	
Comprendre	2) Experts , classe-puzzle classique Résumer, ne retenir que les informations les plus importantes Mettre en commun		4) Chercheurs EAD équipe Apprendre des autres 5) Experts → animateur du groupe Comprendre le raisonnement scientifique en suivant les arguments avancés	
Appliquer	2) Experts , résolution de l'énigme Analyser le spectre d'une technique d'une molécule inconnue		4) Chercheurs EAD équipe Recherche d'une nouvelle énigme Mémoire procédurale 5) Experts → chercheurs du groupe Mise en commun Réactiver sa mémoire procédurale	
Analyser	2) Experts , résolution de l'énigme Proposer une formule de la molécule inconnue	3) Chercheurs Croiser les données Etablir des liens unissant tous les faits	4) Chercheurs EAD équipe Ecrire un rapport d'analyse 5) Experts → chercheurs du groupe Etre critique sur son raisonnement scientifique	5) Experts → animateur du groupe Comparer le raisonnement scientifique du groupe à son propre raisonnement
Evaluer	2) Experts , résolution de l'énigme Détection qu'il manque des données pour trouver la solution ⇒ Etre critique	3) Chercheurs Vérifier la concordance des données	5) Experts → chercheurs du groupe Valider la structure de la molécule inconnue 5) Experts → animateur du groupe Vérifier les propos et la proposition du groupe	
Créer	2) Experts , dans sa globalité Tableau synthétique	3) Chercheurs Carte conceptuelle sur le raisonnement Proposer une hypothèse de structure	4) Chercheurs EAD équipe Proposer une hypothèse de structure 5) Experts → chercheurs du groupe Proposer une hypothèse de structure	

1), 2), 3), 4), 5) : Numéros des étapes de la classe-puzzle pas comme les autres

Experts : étudiants réunis en groupe Experts - **Chercheurs** : étudiants réunis en groupe Chercheurs