

Cartes Conceptuelles structurées : un outil métacognitif pour faciliter l'acquisition, la structuration et le transfert de connaissances - Étude de cas en biologie

Chevron, Marie-Pierre⁽¹⁾

⁽¹⁾Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Formation des Enseignants, Université de Fribourg - Suisse

Résumé : On entend par apprentissage significatif (*meaningful learning*) la capacité pour tout apprenant de pouvoir réinvestir les connaissances acquises dans la résolution de nouveaux problèmes, dans la capacité de pouvoir répondre à de nouvelles questions ou d'acquérir de nouvelles connaissances dans un nouveau contexte. De nombreuses études ont montré que l'organisation des connaissances dans une carte conceptuelle (CC) pouvait aider à ce type d'apprentissage. Dans cette étude, les CC ont été utilisées par les élèves comme outil d'apprentissage du concept biologique de « système circulatoire ». Les CC sont ici prises dans une fonction métacognitive, celle de rendre explicite et visible la structure d'une connaissance dans un contexte particulier, dans l'objectif d'aider à la structuration et de faciliter un transfert de connaissances à un nouveau contexte. L'analyse qualitative approfondie de cas particuliers nous indique que rendre explicite la géométrie de la structure de la connaissance, c'est à dire rendre visible la manière dont des notions sont liées entre elles pour élaborer un concept structurant facilite le transfert des connaissances, l'émergence de nouvelles connaissances et pourrait ainsi contribuer à la construction de concepts seuils. Le transfert de connaissance peut être rendu visible dans une CC, et celle-ci pourrait ainsi permettre aux élèves de passer du caractère local de savoirs contextualisés à une situation travaillée, à une dimension plus globale, plus généralisable du concept, et contribuerait à une véritable construction de sens à moyen terme.

Mots-clés : Carte Conceptuelle ; métacognition ; structuration des connaissances ; transfert ; didactique de la biologie

Introduction

Les plans d'études invitent les enseignants à développer avec leurs élèves en classe une démarche scientifique, l'analyse de données, le transfert des connaissances acquises, ou l'esprit critique. Pour cela, il est nécessaire non seulement de garder en mémoire des mots, des termes ou même des concepts, mais également de pouvoir les relier les uns aux autres de manière précise, logique, et explicite dans une architecture de la connaissance toujours plus riche. C'est la connaissance ainsi structurée en réseau qui permet de construire du sens et d'élaborer les concepts. Le plus souvent, la surcharge des contenus oblige les élèves à incorporer les informations les unes après les autres sans véritablement les tisser entre elles, les enseignants n'ayant que trop peu de temps pour les accompagner dans ce travail difficile et pourtant nécessaire. De nombreuses recherches en éducation ont montré que des outils représentant les connaissances sous forme de cartes conceptuelles (CC) peuvent être efficaces dans la construction du sens (*meaningful learning*) (Nesbit & Adescope, 2006). Elles constituent en effet un mode de représentation rendant explicite l'organisation des connaissances que l'on a d'un concept et dans laquelle de nouvelles informations peuvent être ajoutées. Elles aideraient ainsi les apprenants à structurer leurs idées et à progressivement construire en mémoire des représentations mentales de concepts abstraits et complexes. En biologie, les concepts sont définis par des connaissances structurales et fonctionnelles spécifiques, et les ossatures des connaissances que l'on en a peuvent être

rendues visibles dans des représentations graphiques distinctes, de type schémas, carte heuristique, carte argumentative ou carte conceptuelle (Davies, 2011). L'organisation des connaissances biologiques dans l'espace d'une CC structurée (CCs) répondant à une question focus spécifique (Novak & Cañas, 2008, Chevron, 2014) peut rendre compte d'informations d'ordre soit structural (une description anatomique, tissulaire, cellulaire, moléculaire ou atomique), soit fonctionnel ou physiologique (des processus). Ainsi par exemple, le système circulatoire humain (composé du système cardio-vasculaire et du système lymphatique) possède à la fois des caractéristiques structurales (une « pompe », « des tuyaux », des liquides circulants), et fonctionnelles (circulation, distribution de nutriments indispensables aux cellules d'un organisme vivant pluricellulaire, échanges, élimination de certaines substances). Selon Novak & Cañas (2008), une représentation des connaissances en réseau permettrait aux apprenants de créer de puissantes structures de connaissances en mémoire, susceptibles d'être réinvesties dans de nouveaux contextes et sur de longues périodes. On entend en effet par apprentissage significatif la capacité pour tout apprenant de pouvoir réinvestir les connaissances acquises dans la résolution de nouveaux problèmes, de pouvoir répondre à de nouvelles questions ou d'acquérir de nouvelles connaissances dans un nouveau contexte. Ainsi, un transfert des connaissances acquises indique qu'un apprentissage significatif a eu lieu (Haskell, 2001). Sur cette question particulière du transfert des connaissances, l'Éducation ne semble pas remplir sa mission, et révèle les difficultés que nous avons à construire du sens (Tardif et Meirieu, 1996, Haskell 2001). Un projet visant un apprentissage significatif a été mis en place au Gymnase intercantonal de la Broye GYB (Payerne, Suisse). Il est organisé sur une durée de quatre années, et recouvre différents champs disciplinaires (physique, biologie, chimie, géographie, français, philosophie, histoire, musique). La recherche présentée ci-après est celle d'une étude de cas réalisée dans le cadre d'un cours de biologie de première année (élèves âgés de 15 à 16 ans) pour l'apprentissage du concept biologique de « système circulatoire ».

Dispositif d'étude et étude de cas

Trente-sept élèves de première année de biologie ont été concernés par cette étude. En début d'année chaque élève a choisi un organisme vivant dans lequel il devait réinvestir chaque thème biologique abordé tout au long de l'année scolaire. Le système circulatoire a été étudié dans le contexte particulier de l'humain. Dans l'objectif d'évaluer si un apprentissage significatif avait eu lieu, les élèves ont dû réaliser un transfert des connaissances acquises sur ce concept dans le cas particulier de l'humain à celui de leur organisme choisi. Pour élaborer nos questions de transfert, nous nous sommes appuyés sur Tardif et Meirieu qui proposent que le transfert d'une connaissance est une forme de « recontextualisation de cette dernière, une sorte de « transport » de la connaissance en question d'une situation A à une situation B et, idéalement, à N+1 situations ». (Tardif et Meirieu, 1996, p. 2). Puisqu'une CCs rend visible la structure de la connaissance dans un contexte spécifique, nous avons fait l'hypothèse que, visualiser dans l'espace la manière dont des notions scientifiques particulières sont liées les unes aux autres pour structurer une connaissance, faciliterait le transfert de ces notions dans un nouveau contexte. Nous avons également fait l'hypothèse que ce transfert pourrait permettre à de nouvelles connaissances d'émerger, ces dernières enrichissant toujours plus le concept central que l'on cherchait à construire. Ces hypothèses ont été traitées dans le cadre d'analyses qualitatives approfondies des CCs produites (*single case study*, Kinchin, 2015).

Le contexte d'étude était le suivant : "Un organisme vivant a besoin d'énergie pour vivre.

Une large part de cette énergie est produite par *combustion* de glucose en présence de dioxygène dans les cellules. Un organisme humain est constitué de milliards de cellules. Chacune d'entre elles a besoin en permanence de glucose et de dioxygène pour produire cette énergie. Entre autres éléments, du dioxyde de carbone est produit au cours de ce processus, et doit être éliminé".

La première question focus a été travaillée en classe: "Comment sont transportées dans le corps humain les différentes substances nécessaires pour la survie de ses cellules? Comment le dioxyde de carbone est-il éliminé de l'organisme?". Une CCs répondant à cette première question, construite par l'enseignante, a été proposée aux élèves parmi d'autres supports de cours. La stratégie d'enseignement choisie alternait des moments d'enseignement transmissif, des recherches internet, l'analyse de schémas et de figures, des exercices de *drill*, et un laboratoire expérimental.

Pour évaluer le transfert, une seconde question focus (première question de transfert) a été proposée aux élèves: "Comment sont transportées dans l'organisme vivant que tu as choisi les substances nécessaires pour la survie de ses cellules? Organise ta réponse dans une CCs » (travail hors classe).

Une troisième question focus (seconde question de transfert) a été posée lors d'une évaluation en classe: "Après avoir fourni un gros effort, ton visage devient rouge, ton coeur bat très vite et ta respiration s'accélère. Que se passe-t-il ? Réponds dans un premier temps à chaque sous-question sous forme d'hypothèse, puis organise une réponse dans une CCs ».

Résultats

Nous avons choisi de présenter dans cette étude de cas une CCs produite par l'enseignante (Figures 1 et 2) et deux CCs produites par un même élève, représentatives de l'ensemble du travail des élèves (Figures 2 et 3).

La carte présentée dans la figure 1 tente de répondre à la première question focus soulevée.

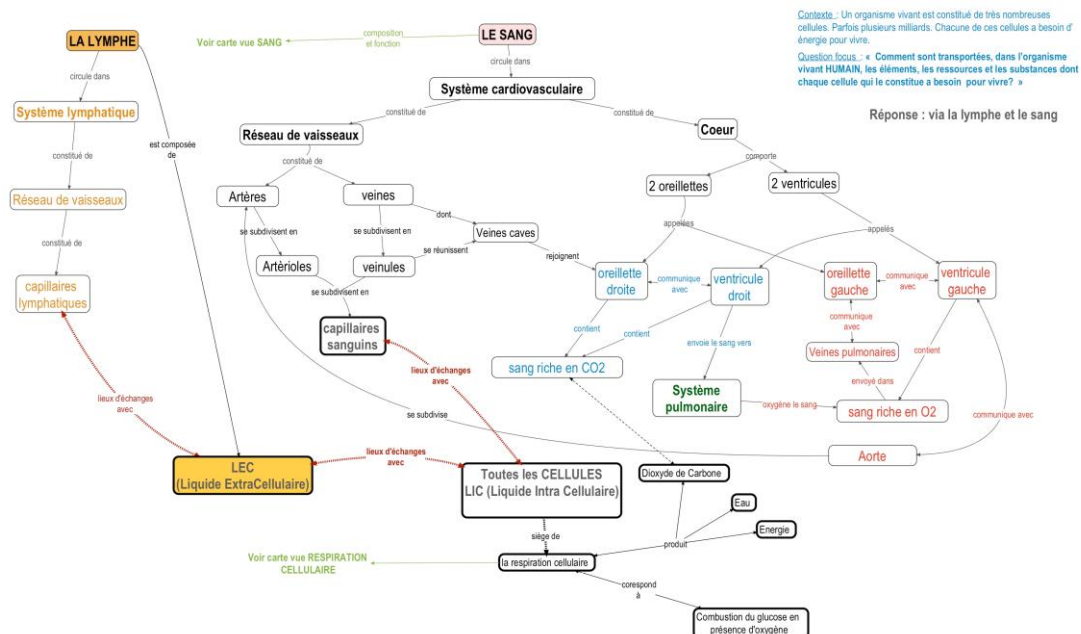


Figure n°1 : CCs de l'enseignante. Les systèmes circulatoires chez l'humain

Elle a été présentée aux élèves parmi d'autres supports de cours. Le contexte est spécifique et précisé. Il permet d'identifier le concept central à élaborer : celui du système

circulatoire, composé du système cardiovasculaire et du système lymphatique, dans lesquels circulent le sang et la lymphe. Les différentes notions qui leur sont associées et qui ont été travaillées avec les élèves sont présentes et sont liées entre elles par des relations explicitement nommées. Les connaissances sont structurées: elles sont hiérarchisées et organisées dans l'espace de façon à répondre à la question posée au départ. Dans cette carte l'accent est mis sur le sang et la lymphe (placés très haut hiérarchiquement dans la CCs), et le concept central « système circulatoire humain » n'est pas explicitement nommé, alors qu'il l'avait été dans une précédente version de la CCs, dans laquelle l'accent n'avait pas été mis sur le sang et la lymphe (non présenté ici). Il existe un code couleur : en bleu un sang plus riche en CO₂, en rouge un sang plus riche en O₂. Lymphe, système lymphatique et liquide extracellulaire sont en orange. La carte est riche de nombreuses notions scientifiques et renvoie à d'autres CCs non présentées dans cette étude.

La Figure 2 présente une CCs construite par un élève âgé de 16 ans en réponse à la seconde question focus (première question de transfert).

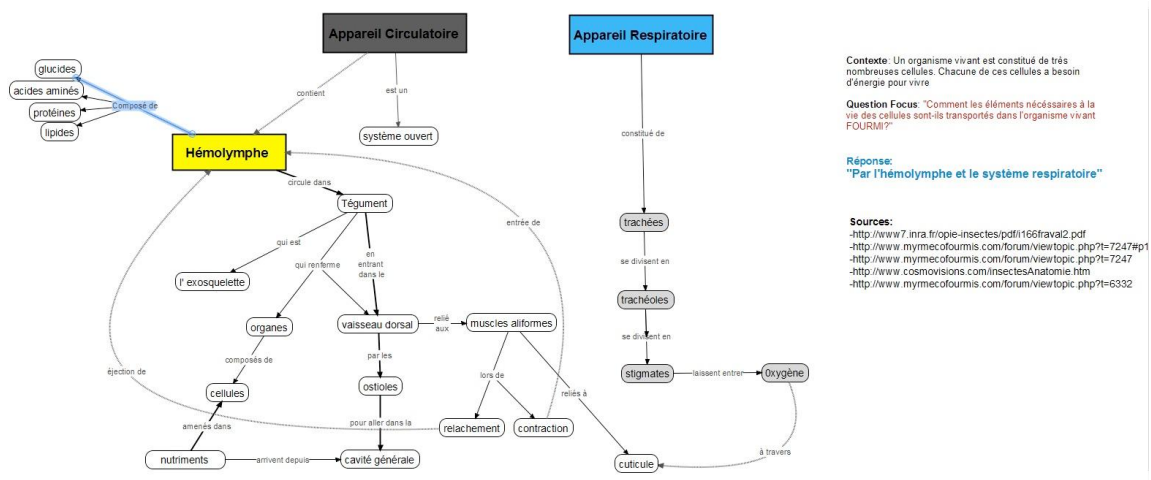


Figure n°2 : CCs d'élève : Les systèmes circulatoires chez la fourmi

Dans ce cas particulier, les connaissances acquises sur les systèmes circulatoires chez l'humain devaient permettre de répondre à la question focus : « Comment sont transportées chez la fourmi les substances dont chacune de ses cellules a besoin pour vivre ? ». L'analyse détaillée de cette CCs nous indique qu'il y a eu transfert à la fois au niveau de la structure et des fonctionnalités des systèmes circulatoires. L'élève a utilisé des mots de vocabulaire scientifique nouveaux mais sémantiquement apparentés. Au niveau des particularités structurelles, l'idée d'une « tuyauterie » (téguments en place de vaisseaux, trachée, trachéoles, stigmates et cuticule, en place de bronches, bronchioles et alvéoles), la présence d'une pompe (les muscles aliformes font le travail du cœur) et de fluides circulants (hémolymphe en place de sang et lymphe) sont conservés. Au niveau des particularités fonctionnelles également (idée de circulation, de transport et d'échanges de nutriments et de gaz). Ce travail d'élaboration de connaissances a été réalisé sans aucune aide de la part de l'enseignante. Cette dernière n'est intervenue que sur des détails de structuration des connaissances en fin de production de la CCs (résultat non présenté ici).

La Figure 3 rend visible le transfert des connaissances chez ce même élève dans le cas de la compréhension des besoins en énergie à satisfaire en cas d'effort cellulaire intense. L'élève montre ici qu'il a compris la fonction du système circulatoire puisqu'il note « les cellules ont eu besoin de plus d'énergie, ce qui a entraîné une accélération globale dans le

processus de transport des éléments nécessaires aux cellules ». Il peut par ailleurs expliquer pourquoi le cœur bat plus vite et fort, pourquoi la respiration est accélérée et le visage est rouge, même si cette dernière explication reste incomplète. En revanche, rien n'est mentionné en ce qui concerne le CO₂, totalement absent de la carte, comme c'est le cas pour tous les travaux d'élèves analysés.

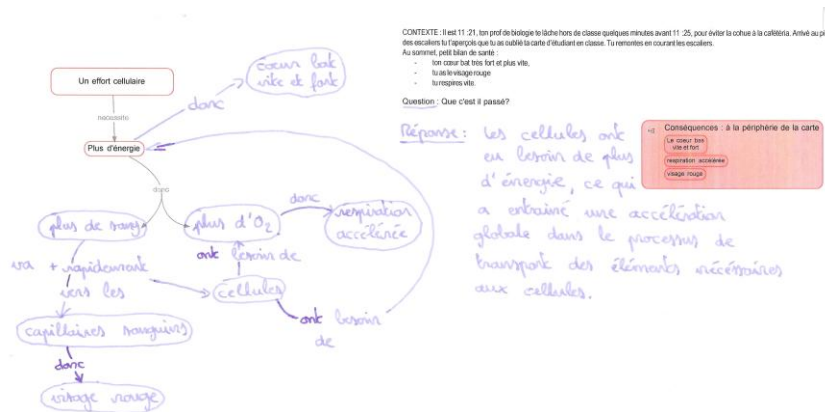


Figure n°3 : CCs d'élève : Un effort cellulaire requiert plus d'énergie

Discussion et conclusion

Comme l'a suggéré Ian Kinchin (2015), une étude approfondie de cas particuliers est une excellente méthode pour explorer en profondeur le travail de chaque élève pris individuellement. Ces analyses de cas particuliers génèrent de nombreux résultats qui seraient perdus dans le cas de généralisations. Elles permettent de générer des questions de recherche dans une approche de type bottom-up, et d'identifier des phénomènes imprévus. Ainsi par exemple, l'analyse détaillée des travaux de chaque élève a permis à l'enseignante de prendre conscience qu'elle n'avait pas mis en avant dans son cours l'importance de l'élimination du CO₂, élément fonctionnel pourtant essentiel dans la physiologie du système circulatoire (boucles de régulation), et dont elle n'avait pas pris conscience avant cette étude. De même, la construction de la CCs chez l'humain lui a demandé de préciser ses connaissances quant aux liens fonctionnels et structuraux qui existaient entre le liquide extracellulaire, la lymphe et le sang. La structuration dans l'espace des connaissances en réponse à une question particulière exige une précision dans les connaissances scientifiques très importante. Cette exigence participe à la structuration des connaissances chez les élèves. Selon les enseignants et les élèves impliqués dans le projet de « meaningful learning » au GYB, ces efforts se retrouvent dans la qualité des cours dispensés aux élèves (résultats non publiés). L'analyse détaillée des productions des élèves en réponse à la question de transfert indique que les élèves ont réussi non seulement à réorganiser dans l'espace différentes pièces de connaissances, mais également à les renommer de manière spécifique et appropriée au nouveau contexte. Ces opérations correspondent à des niveaux élevés de processus cognitifs. Elles nous indiquent que non seulement du sens a été construit, mais également que des nouvelles connaissances ont été élaborées (acquisition de vocabulaire spécifique nouveau, organisation dans l'espace pour élaborer un concept complexe), confirmant ainsi qu'un apprentissage significatif a eu lieu (Haskell, 2001). Selon les élèves (entretiens lors de l'élaboration de leur CCs), le fait de visualiser dans l'espace la manière dont des notions sont liées les unes aux autres pour structurer une connaissance, les a aidés dans le transfert de ces notions dans un nouveau

contexte.

En didactique de la biologie, on cherche à identifier des concepts fondamentaux, structurants, centraux, cruciaux ou seuils. Ces concepts permettraient un ancrage et une structuration des connaissances. Selon Rumelhard (1995), toute question de biologie devrait pouvoir s'analyser à l'aide d'une dizaine de concepts interdépendants que l'on ne devrait pas dissocier « sous peine de manquer une partie de l'explication » (Rumelhard, 1995, p.327). Selon cet auteur, les liens qui existent entre la structure, la fonction et le milieu sont essentiels, ainsi que les flux de matière et d'énergie, les boucles de régulation, les transferts d'information, et le fait que les fonctions évoluent au cours du temps et de l'évolution des espèces. C'est sur ces concepts que pourraient venir s'ancrer des connaissances plus spécifiques. Nous* pensons qu'un tel ancrage permettrait à la fois de conférer progressivement davantage de sens à des connaissances particulières et contribuerait paradoxalement en retour à l'élaboration progressive de ces concepts, que l'on pourrait qualifier de concepts seuils, selon la définition reprise par Kinchin (2010). L'approche didactique proposée pour l'apprentissage des systèmes circulatoires dans cette étude nous semble participer à cette élaboration des concepts seuils. En effet, au cours de l'opération de transfert, les élèves ont élargi le champ sémantique de différents concepts : celui du lien entre une structure (une pompe, des tuyaux), une fonction (celle de transporter des substances, de permettre des échanges), une possible évolution (une certaine unité est conservée entre les êtres vivants). L'élaboration progressive du sens se construit probablement dans des aller-retours constants entre un transfert de fonctionnalités et l'élaboration même de cette fonctionnalité des systèmes circulatoires, l'opération de transfert à travers l'utilisation d'une CCs pourrait ainsi permettre aux élèves de passer du caractère local de savoirs contextualisés à la situation travaillée, à une dimension plus globale, plus généralisable du concept, et contribuerait à une véritable construction de sens à moyen terme.

*Auteur de l'article et groupe de recherche au Gymnase intercantonal de la Broye : Francine Balet, Samuel Bellani, Claire Dumas, Sigismond Roduit, Nadine Sommer, Félix Stürner.

Références bibliographiques

- Chevron, M.P. (2014). *A Metacognitive Tool: Theoretical analysis of skills exercised in sCM*. Perspectives in Science 2, 46-54.
- Davies, M., (2011). Concept mapping, mind mapping and argument mapping: what are the differences and do they matter?, High Educ. 62, 279–301.
- Kinchin, I.M., (2010). Solving Cordelia's dilemma: threshold concepts within a punctuated model of learning. Journal of Biological Education 44, 53-57.
- Kinchin, I. (2015). *The case for single cases*. Site consulté le 10.10.105
<https://profkinchinblog.wordpress.com/2015/01/29/the-case-for-single-cases/>.
- Nesbit, J.C., Adescope, O.O. (2006). Learning with Concept and Knowledge Maps : a Meta-Analysis. Review of Educational Research 76:3, 413-446.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them*. Technical report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008, Florida Institute for Human and Machine Cognition.
- Rumelhard, G. (1995). « De la biologie contemporaine à son enseignement ». Dans *Savoirs scolaires et didactique des disciplines, une encyclopédie*, 317-337.
- Tardif, J. et Meirieu, P. (1996). « Stratégie pour favoriser le transfert des connaissances ». Site consulté le 17.01.2016. <http://w3.uqo.ca/moreau/documents/Tardif1996.pdf>