

Carte conceptuelle, schéma d'implication et simulation

Des outils pour développer des compétences pour l'optimisation d'une séparation chromatographique

Jérôme Randon

- Résumé** Le développement de compétences chromatographiques dans l'objectif d'optimisation d'une séparation en chromatographie liquide haute performance (CLHP) nécessite chez les étudiants une représentation consolidée de l'effet des différents paramètres opératoires sur les grandeurs de qualité de séparation. Au travers de plusieurs activités – création de carte conceptuelle, élaboration de schéma d'implication et simulation au sein d'une feuille de calcul –, nous illustrons dans cet article une approche pédagogique qui permet de préciser et renforcer les apprentissages des étudiants. Au terme de cette séquence, ils ont développé leurs compétences dans le domaine de la chromatographie, ont abordé la méthodologie utilisée par les logiciels de simulation et disposent d'un premier outil d'optimisation. Le scénario pédagogique proposé peut facilement être transposé à d'autres domaines pour lesquels il est nécessaire de modéliser une procédure et de l'optimiser à partir des différents paramètres opératoires.
- Mots-clés** **Cartes conceptuelles, schémas d'implication, simulation, optimisation, chromatographie, enseignement.**
- Summary** **Concept maps, involvement scheme and simulation: tools to improve skills for optimization of chromatographic separations**
The development of chromatographic skills with the aim of optimization of high performance liquid chromatography (HPLC) separation requires a consolidated representation of the numerous operating parameters in relation with the separation quality factors. In this article, using various activities (concept map, involvement scheme and worksheet simulation), we describe a pedagogical sequence which modifies the organized knowledge structure of the students in relation to separation science. At the end of the sequence, students have developed their skills in chromatography, tackled computer simulation and produced their first optimisation tool. This approach can be used to discuss any problem where process optimization is required starting from a specific set of operating parameters.
- Keywords** **Concept maps, involvement scheme, simulation, optimization, chromatography, teaching.**

L'enseignement de la chromatographie débute dès le lycée avec des expériences en chromatographie sur papier ou en couche mince ayant pour objectif de mettre en évidence l'existence de techniques permettant de séparer les différents constituants d'un mélange. Dans l'enseignement supérieur, cet apprentissage évolue vers les techniques plus couramment mises en œuvre dans les laboratoires d'analyse : la chromatographie en phase gazeuse et la chromatographie liquide haute performance (CLHP). L'utilisation ultérieure de ces techniques par les étudiants, futurs experts ou pratiquants occasionnels de l'analyse, pourra être très différente selon le contexte professionnel. On constate donc dans l'enseignement des approches pédagogiques divergentes lors de l'étude des techniques séparatives, approches qui sont à relier aux compétences à développer chez les utilisateurs finaux et qui peuvent être décrites par les orientations extrêmes suivantes :

- une approche applicative, dont l'objectif consiste à utiliser une méthode validée : par exemple, le dosage des composés organiques volatils se fait par chromatographie en phase gazeuse, le dosage des ions bromate par

chromatographie ionique, celui de la caféine par chromatographie liquide... ;

- une approche technologique, qui est orientée vers la maintenance des systèmes (injecteur, colonne, phases, détecteurs...);

- une approche phénoménologique, visant à développer des capacités de mise au point de méthodes séparatives (mécanismes de rétention, phénomènes de dispersion, détection...).

Chaque enseignement se construit ainsi au travers d'un équilibre entre ces extrêmes, en fonction du public ciblé et des compétences à transmettre.

Toutefois, quel que soit le public, il sera toujours nécessaire de développer chez l'étudiant un niveau minimal de compétences qui lui permettra d'adapter une méthode séparative à un contexte qui n'est pas exactement identique à celui qu'il aurait pu identifier dans la bibliographie, en raison par exemple de la présence d'autres solutés dans le mélange à analyser. Ainsi, une modification du système chromatographique initial permettra d'espérer une solution à la problématique posée, ce qui projette l'étudiant dans une situation où

l'optimisation de la séparation constitue l'objectif principal de la démarche à mettre en œuvre.

La principale difficulté rencontrée par les étudiants dans leur démarche d'optimisation est liée à la multiplicité apparente des relations présentées dans les enseignements de chromatographie qui ne permet pas forcément de faire ressortir les conséquences des différents paramètres opératoires. La reconstruction des liens de cause à effet, indispensable pour envisager une optimisation des séparations, est une étape très difficile de l'apprentissage dans laquelle il est nécessaire d'accompagner les étudiants.

L'objectif de cet article est de présenter une approche pédagogique permettant à l'étudiant de développer des compétences afin de pouvoir avancer de façon raisonnée dans sa démarche d'optimisation. Nous aborderons cette problématique en chromatographie en phase liquide à polarité de phases inversée, que nous mettrons en relation avec la chromatographie en phase gazeuse. Nous montrerons d'autre part comment initier une approche par la simulation qui permettra à l'étudiant d'appréhender les outils actuels de développement des méthodes séparatives.

La méthodologie développée dans cet article a été mise en œuvre depuis cinq ans avec des groupes de soixante étudiants en première année de master « Analyse et Contrôle » à l'Université Claude Bernard Lyon 1. La séquence pédagogique proposée s'insère dans une unité d'enseignement propre aux méthodes séparatives, se déroulant sur un semestre et mêlant présentations magistrales, travaux dirigés et travaux pratiques. Cette séquence s'appuie sur trois outils : carte conceptuelle, schéma d'implication et simulation.

De la carte conceptuelle au schéma d'implication

Dans les années 1970, l'équipe de Joseph Novak à l'Université de Cornell a développé l'usage de cartes

conceptuelles dans l'enseignement, qui sont des outils graphiques pour organiser et représenter les connaissances. Elles incluent des concepts généralement représentés dans des rectangles, et des relations entre ces concepts matérialisées par des lignes sur lesquelles sont portés des mots spécifiant la relation (voir exemple *figure 1*). Une présentation très complète de la théorie des cartes conceptuelles, de leur méthodologie de construction et de leur usage dans l'enseignement peut être téléchargée sur le site de l'Institute for Human and Machine Cognition [1]. Lorsque les cartes conceptuelles sont élaborées par les étudiants, au cours par exemple de séances de travaux dirigés, elles se révèlent très efficaces pour extérioriser leur savoir, tant valide qu'erroné, dans le domaine considéré. Elles permettent ainsi à l'enseignant d'évaluer la proximité de l'organisation des connaissances avec les cartes dites « experts » élaborées par les spécialistes du domaine.

La structure hiérarchique d'une carte étant dépendante du contexte d'application des connaissances, les cartes conceptuelles sont construites en référence à une question particulière qui doit être explicitée. Nous nous intéresserons ici à la problématique de l'optimisation d'une séparation en CLHP.

Une activité de construction de carte conceptuelle a été proposée aux étudiants après une première phase de cours à caractère plutôt transmissif qui présentait l'ensemble des notions nécessaires à la définition des grandeurs caractéristiques utilisées en chromatographie. Ces notions n'ayant pas forcément été présentées avec un objectif d'optimisation d'une séparation, elles ne sont pas mises naturellement en relation par les étudiants pour cet objectif spécifique.

Les cartes de concepts élaborées par les étudiants dans ces premières phases d'apprentissage de la chromatographie présentent généralement les objectifs de l'optimisation et les facteurs du système chromatographique qui peuvent

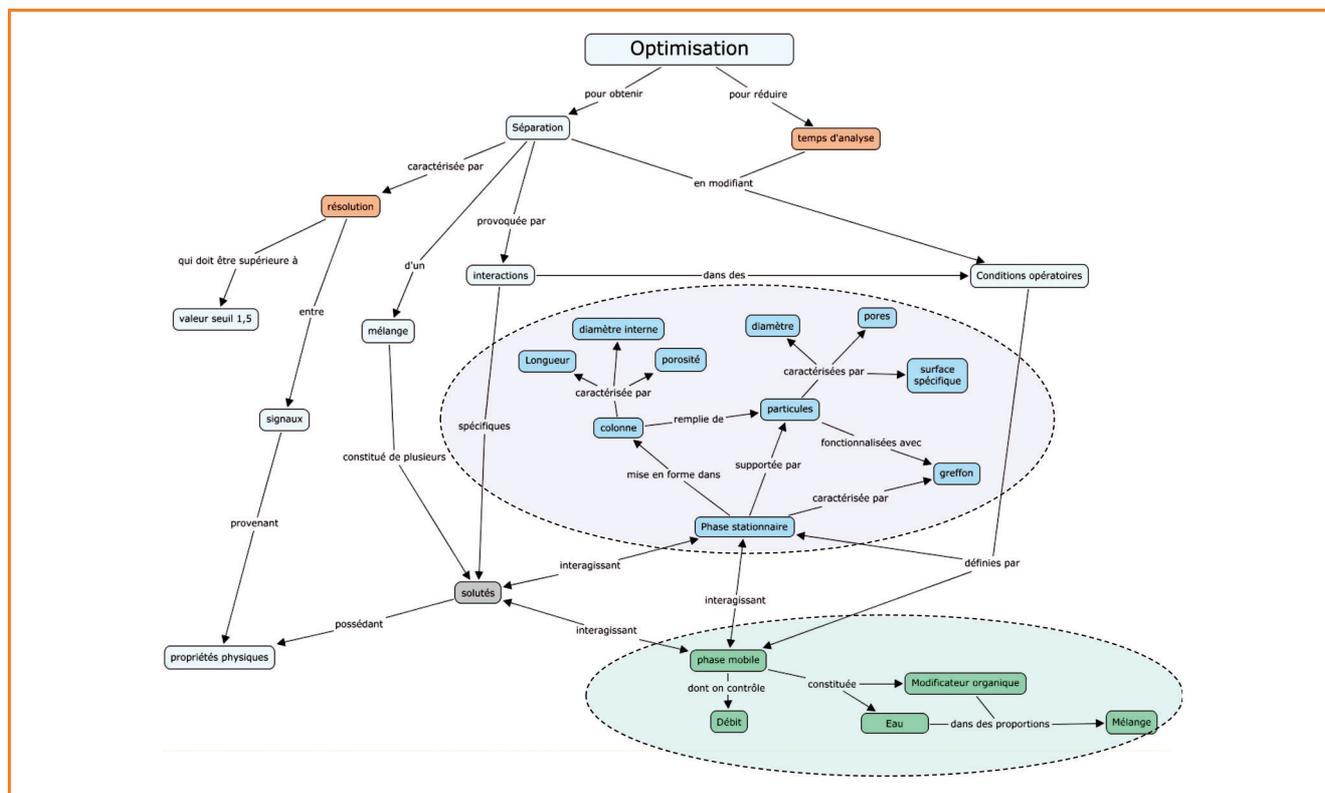


Figure 1 - Carte conceptuelle autour de la notion d'optimisation en CLHP.

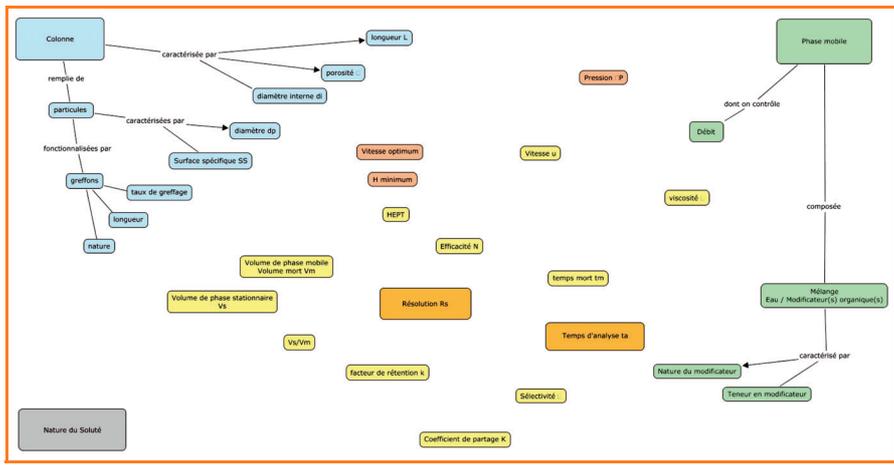


Figure 2 - Schéma d'implication vierge pour la chromatographie en phase liquide.

permettre d'optimiser ladite séparation. Ces cartes se rapprochent, dans leur structure, de la carte « expert » de la figure 1.

Si cette carte présente bien l'ensemble des paramètres opératoires de la chromatographie liquide (regroupés ici dans les ellipses), elle ne permet pas de relier ces derniers aux grandeurs de qualité que sont la résolution et le temps d'analyse. Face à cette représentation, il n'est pas possible pour l'étudiant d'anticiper le sens d'évolution des grandeurs de qualité lorsqu'un paramètre opératoire est modifié (par exemple si le diamètre des particules constitutives de la colonne chromatographie diminue).

Après avoir identifié avec les étudiants les paramètres opératoires et les grandeurs de qualité, nous avons donc dévié l'usage des cartes conceptuelles pour travailler dans une logique de schéma d'implication. L'objectif consiste alors à expliciter les effets d'une grandeur opératoire sur une grandeur de qualité. En présence des seules grandeurs présentées sur la figure 1, il s'avère très difficile d'explicitement les relations entre ces grandeurs. Il est donc nécessaire de passer par des grandeurs intermédiaires, incluant la vitesse de la phase mobile, l'efficacité, le coefficient de partage, le facteur de rétention...

Au cours d'une séance de travaux dirigés, un squelette tel que celui présenté figure 2 est ensuite distribué à chaque groupe d'étudiants (3 ou 4) qui devra représenter et expliciter les liens entre les grandeurs, si possible à l'aide des équations phénoménologiques. Cette explicitation se fait à l'aide de flèches portant le numéro de l'équation qui relie les grandeurs, et une liste d'équations est élaborée parallèlement par les étudiants sur une feuille qui sera annexée au schéma d'implication. La structure du squelette utilisé (figure 2) est inversée par rapport à la carte conceptuelle initiale (figure 1) dans le sens où les paramètres opératoires se retrouvent à l'extérieur du schéma, tandis que les grandeurs de qualité se positionnent au centre de la feuille.

Pour élaborer un schéma unique à l'intérieur d'un groupe d'étudiants, il est nécessaire de s'accorder sur l'ensemble des flèches qu'il va matérialiser. Ceci génère des échanges entre étudiants, chacun devant argumenter pour convaincre les autres, et provoque ainsi une éventuelle reconstruction de la représentation d'un phénomène par chaque individu confronté à la représentation des autres membres du groupe. Comme pour les cartes conceptuelles, l'extériorisation du savoir est favorisée par cet outil et l'enseignant peut intervenir sur le groupe pour le solliciter face à des implications qui ne seraient pas en adéquation avec la représentation « expert »,

ou pour conforter certaines représentations matérialisées sur le schéma d'implication.

Il est intéressant de constater que de nombreuses discussions liées au sens d'implication des notions émergent dans tous les groupes. Même si certains paramètres ont initialement été définis en tant que paramètres opératoires, les étudiants ne font pas un positionnement correspondant de ces paramètres lors du tracé des flèches reliant les différentes grandeurs.

Pour interpeller les étudiants sur les aspects liés au sens de représentation d'une relation, nous avons choisi une convention d'écriture relative au signe égal : le paramètre situé à gauche du signe = dans la relation doit être une conséquence des

paramètres situés à droite de ce signe. Lorsque l'on considère une relation telle que celle présentée en (1), il est ainsi possible de « faire tourner » les paramètres pour faire apparaître deux autres relations reliant vitesse (u), longueur (L) et temps mort (t_m) :

$$u = \frac{L}{t_m} \quad (1); \quad L = u \cdot t_m \quad (2); \quad t_m = \frac{L}{u} \quad (3)$$

On peut alors inviter les étudiants à rechercher la relation qui présente un lien de cause à effet. Généralement, la représentation (2) est immédiatement rejetée (la longueur de la colonne ne dépend pas de la vitesse et du temps mort !), mais une discussion s'ensuit toujours sur les deux autres représentations. Il est assez fréquent que la représentation (1) soit considérée comme la plus signifiante par les étudiants, bien que la relation (3) soit celle qui doit être considérée comme effectivement opératoire : le temps mort t_m est la conséquence de la longueur L de la colonne et de la vitesse u de la phase mobile. Cette représentation inadéquate des étudiants provient du fait que l'on peut mesurer la vitesse de la phase en injectant un composé non retenu qui sortira au temps mort, et connaissant la longueur de la colonne, on peut alors en déduire la vitesse.

Tout l'objectif de la démarche consiste ainsi à faire la distinction entre les relations utilisées pour faire des calculs et les relations présentant effectivement une chaîne de conséquences.

Dans un registre légèrement différent, les étudiants rencontrent également des difficultés liées à la multiplicité des relations dans lesquelles ils ont vu apparaître une grandeur. Si l'on considère par exemple le cas de la vitesse de la phase mobile u , cette grandeur apparaît, entre autres, dans les relations (4) à (6) :

$$u = \frac{L}{t_m} \quad (4); \quad u = B_0 \frac{\Delta P}{\eta \cdot L} \quad (5); \quad u = \frac{F}{\pi \cdot d_i^2 \cdot \frac{\varepsilon}{4}} \quad (6)$$

où B_0 représente la perméabilité de la colonne, ΔP la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la colonne, η la viscosité, F le débit, d_i le diamètre interne de la colonne.

Un certain temps (ou quelquefois une interpellation par l'enseignant) est nécessaire pour aller vers une représentation où la vitesse est une conséquence du débit de phase mobile rapporté à la section utile de la colonne. Ainsi seule la relation (6) présente un lien de cause à effet.

Cette activité est initiée pendant une séance de travaux dirigés au cours d'un travail de groupe, puis chaque étudiant

aura pour objectif de retravailler un schéma personnel qui sera continuellement utilisé au cours des séances de travaux dirigés et de travaux pratiques qui suivront. Le schéma d'implication sera ainsi confronté aux activités pédagogiques proposées ultérieurement et modifié progressivement par l'étudiant tout au long de l'apprentissage. Comme pour les cartes de concepts, un schéma d'implication n'est jamais achevé. Après l'activité initiale, il est toujours nécessaire de réviser le schéma ; d'autres paramètres peuvent aussi être rajoutés en veillant toutefois à ne pas surcharger la représentation. Dans ce cas, il sera plus intéressant de redéfinir la question à laquelle le schéma doit se référer.

Comparaison des schémas d'implication de la chromatographie en phase liquide et de la chromatographie en phase gazeuse

Dans la majorité des enseignements, les deux techniques de chromatographie en phase liquide et de chromatographie en phase gazeuse sont présentées conjointement. Même si ces techniques diffèrent par plusieurs aspects, elles ont en effet toutes les deux pour objectif d'effectuer une séparation avec des paramètres opératoires comparables et les mêmes critères de qualité.

Il est ainsi intéressant de les mettre en parallèle pour faire émerger les similitudes et les différences existant entre elles. Ce travail peut être fait en reprenant les éléments introduits dans le cas de la chromatographie en phase liquide et en insérant, ou supprimant, certains éléments spécifiques à chacune des techniques.

Un point des plus intéressants à faire émerger dans les différences entre les deux techniques réside dans le contrôle de la vitesse de la phase mobile et ses conséquences.

Ainsi, comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, en chromatographie en phase liquide, la vitesse de la phase mobile est la conséquence du débit imposé. Pour pouvoir imposer un débit, et donc la vitesse au travers d'une colonne, une pompe à piston provoque le déplacement de la phase mobile et une contre-pression apparaît alors dans le système chromatographique en raison de la perte de charge générée par la colonne.

En chromatographie en phase gazeuse, il est impossible d'utiliser une pompe à piston pour déplacer la phase mobile gazeuse en raison de la compressibilité des gaz. Il sera nécessaire avec un gaz, et c'est le mode de régulation utilisé dans les instruments de chromatographie en phase gazeuse, d'imposer une pression de gaz vecteur en tête de colonne. Il s'ensuit un déplacement de la phase mobile avec une vitesse dépendant de la perméabilité de la colonne.

La pression apparaît ainsi comme un paramètre opératoire dans le cas de la chromatographie en phase gazeuse alors qu'il doit être traité comme une grandeur intermédiaire (conséquence d'autres paramètres opératoires) pour la chromatographie en phase liquide.

Du schéma d'implication à la simulation

Au cours de la séquence d'enseignement développée, nous avons inclus une séance consacrée au développement d'une feuille de calcul permettant la simulation d'une séparation en chromatographie en phase liquide. L'optimisation d'une séparation en chromatographie se fait en effet

aujourd'hui à l'aide d'outils informatiques généralement basés sur des équations phénoménologiques. En arrière plan de ces outils, des simulateurs permettent de prédire les résultats associés aux conditions initiales et de trouver ainsi les conditions optimales de fonctionnement. Deux exemples de simulateurs destinés à l'enseignement ont été récemment présentés [2-3], mais les étudiants confrontés à ce type d'outils sont souvent gênés car ils n'ont aucune vision de la façon dont le programme informatique opère. Ils ne peuvent percevoir le modèle utilisé et se retrouvent dépourvus face à des résultats qui sortent du domaine de validité du modèle. Il est donc indispensable que les étudiants manipulent des modèles, cette activité étant fondamentale dans leur processus de construction des représentations mentales [4]. La première étape de modélisation qui a été développée au travers du schéma d'implication a donc été prolongée par une activité de simulation au sein d'une feuille de calcul.

Nous avons souhaité faire une introduction à la simulation en chromatographie tout en consolidant les relations entre les différents concepts que nous avons précédemment introduits au cours de l'élaboration du schéma d'implication. Ainsi, les objectifs associés à la séance d'élaboration de feuille de calcul sont multiples :

- renforcer les liens entre les paramètres opératoires et les grandeurs de qualité au cours de la création de la feuille de calcul,
- mettre en évidence les limites du modèle utilisé par comparaison du schéma d'implication utilisé avec le schéma précédemment élaboré,
- faire des prévisions sur le résultat attendu (grandeurs de qualité) lors des modifications des paramètres opératoires,
- visualiser directement les conséquences des paramètres opératoires sur le chromatogramme.

Tout au long de la séance, les étudiants sont conviés au fur et à mesure de l'avancement de leur feuille de calcul à matérialiser les relations utilisées sur le squelette de la figure 2. Il leur est par exemple proposé dans un premier temps de calculer différentes grandeurs caractéristiques du système chromatographique à partir des données d'entrée que sont la longueur, le diamètre, le diamètre des particules et la porosité de la colonne, et le débit de la phase mobile (tableau I). Cette première étape permet entre autre de mettre en évidence la différence entre le débit optimal (D_{opt}) auquel il est nécessaire de travailler si l'on veut avoir l'efficacité la plus grande possible avec la colonne utilisée, et le débit réellement appliqué qui conduira à une efficacité certes plus faible, mais qui pourra permettre une réduction du temps d'analyse.

Tableau I - Quelques grandeurs caractéristiques du système chromatographique reliées aux paramètres d'entrée.
D : débit, u : vitesse de la phase mobile, H : hauteur équivalente à un plateau théorique, N : efficacité.

Paramètres d'entrée	Grandeurs à calculer
Colonne Longueur (5 cm) Diamètre (4,6 mm) Diamètre des particules (5 μm) Porosité (0,7)	Volume mort (0,582 mL) D_{opt} (0,698 mL.min ⁻¹) u_{opt} (0,1 cm.s ⁻¹) H_{min} (15 μm) N_{max} (3333)
Débit (1,00 mL.min ⁻¹)	u (0,143 cm.s ⁻¹) Temps mort (0,58 min) H (16 μm) N_{col} (3129)

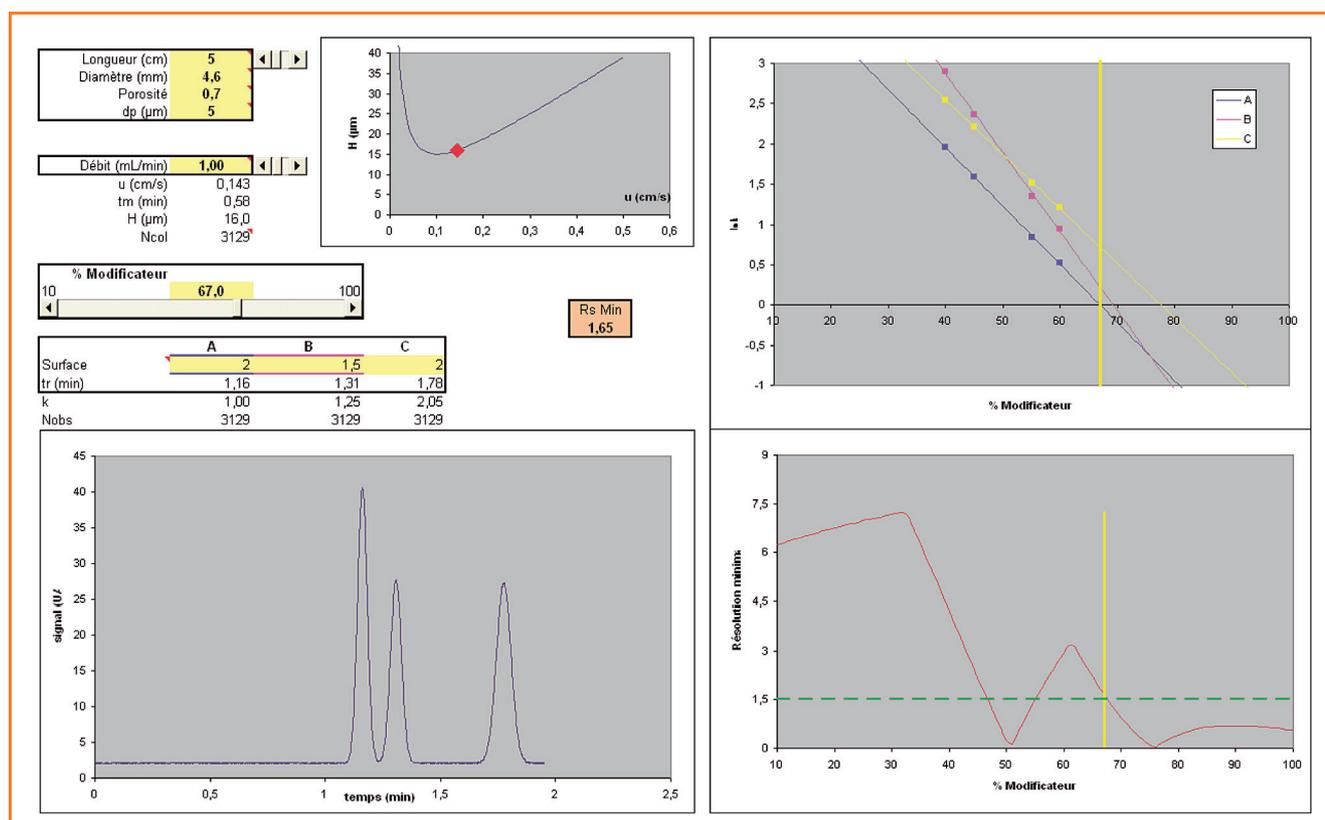


Figure 3 - Exemple de feuille de calcul.

En haut : point de fonctionnement sur la courbe de Van Deemter. En haut à droite : modèle de rétention déterminé expérimentalement. En bas à droite : variation de la rétention en fonction de la teneur en méthanol dans la phase mobile. En bas à gauche : chromatogramme correspondant aux conditions opératoires.

Dans un deuxième temps de la séance, la notion de modèle de rétention associé à la chromatographie liquide à polarité de phases inversée, $\ln(k) = A \% \text{MeOH} + B$, est introduite dans la feuille de calcul à partir de données expérimentales obtenues préalablement par les étudiants au cours des séances de travaux pratiques. Les facteurs de rétention qui étaient initialement présentés comme des paramètres opératoires dans le *tableau 1* changent alors de statut : ils deviennent une conséquence de la composition de la phase mobile.

À partir de ces données et de leur feuille de calcul, les étudiants peuvent alors rechercher pour une colonne définie, la meilleure composition de phase mobile pour atteindre une résolution de 1,5 tout en ayant le temps d'analyse le plus court (*figure 3*). Ils peuvent ainsi donner par le calcul une estimation des grandeurs de qualité pour un ensemble défini de grandeurs opératoires et visualiser le chromatogramme correspondant.

Dans une dernière étape, les étudiants sont invités à confronter leur schéma d'implication à celui utilisé pour la simulation (*figure 4*) pour mettre en évidence l'absence de certaines grandeurs dans la simulation. Par exemple, la pression générée en tête de colonne n'apparaissant pas dans la simulation, il est possible dans la feuille de calcul de choisir de travailler avec une colonne de 1 m, ou avec des particules de 0,1 µm de diamètre. De tels choix se révéleraient irréalisables en raison des limitations technologiques liées aux pompes chromatographiques des systèmes conventionnels. Les étudiants peuvent alors conduire une réflexion sur les plages de validité des différents paramètres et prendre du recul par rapport à la modélisation réalisée.

Conclusion

Le développement de compétences chromatographiques dans l'objectif d'optimiser une séparation nécessite chez les étudiants une représentation consolidée de l'effet des différents paramètres opératoires sur les grandeurs de qualité de séparation. Généralement, les étudiants se retrouvent submergés par une multiplicité de relations au sein desquelles ils ne peuvent extraire les relations principales dans un objectif d'optimisation. Nous avons illustré au travers de deux activités différentes – élaboration de schéma d'implication et simulation au sein d'une feuille de calcul – une approche pédagogique qui permet de préciser et renforcer les représentations des étudiants. Dans chacune de ces séances, nous avons développé une activité de modélisation avec les étudiants sur la problématique de l'optimisation d'une séparation chromatographique. Le modèle travaillé au cours de l'élaboration du schéma a ainsi été réinvesti au sein de la feuille de calcul. Cette modélisation est une étape incontournable aussi bien dans le processus même de construction des connaissances scientifiques que lors de l'utilisation de ces connaissances.

Cartes conceptuelles, schéma d'implication et simulateur, élaborés par les étudiants, sont d'autre part des explicitations de la représentation mentale de l'étudiant par rapport au processus étudié. Ces outils se révèlent très efficaces pour extérioriser son savoir, tant valide qu'erroné, dans le domaine considéré, permettant à l'enseignant d'apprécier l'organisation des connaissances de l'étudiant et de proposer des activités de remédiation ou de renforcement.

Le scénario pédagogique proposé peut facilement être transposé à d'autres domaines pour lesquels il est nécessaire

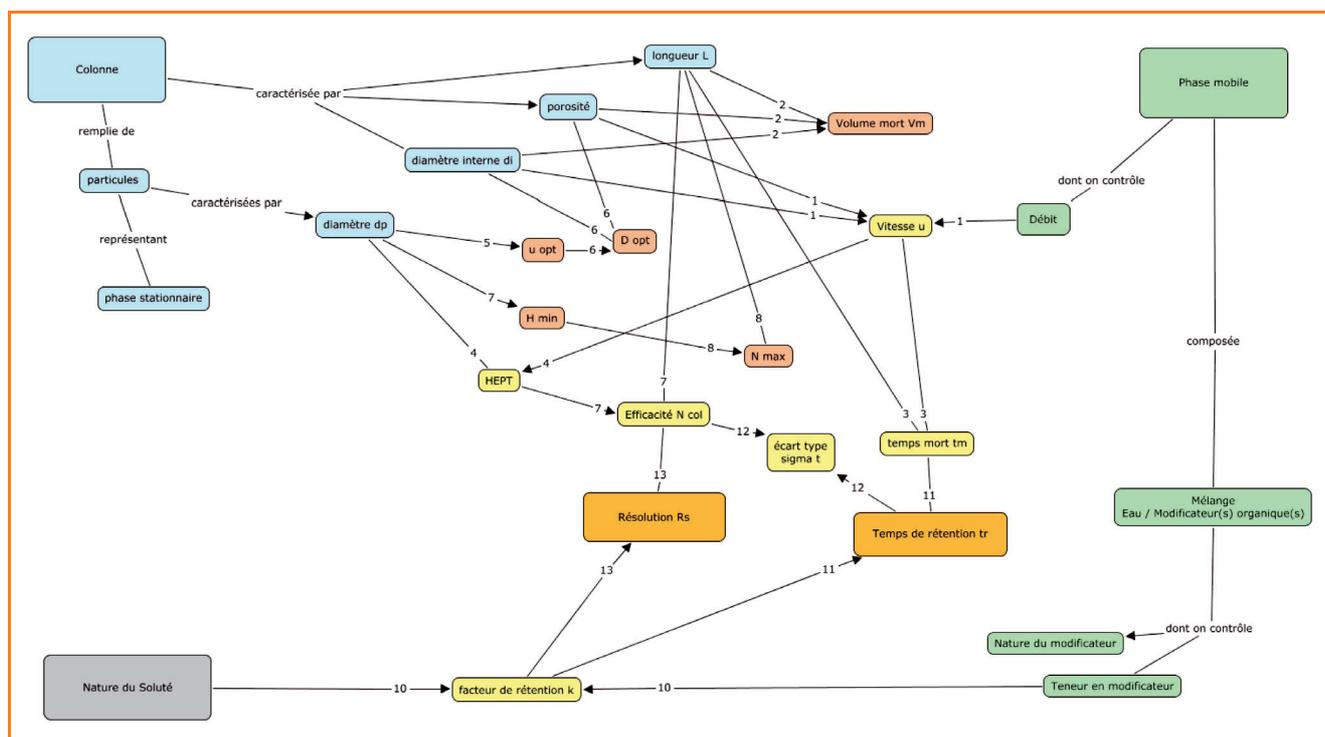


Figure 4 - Schéma d'implication utilisé pour la simulation.

de modéliser une procédure et de l'optimiser à partir des différents paramètres opératoires.

Cet article a fait l'objet d'une présentation orale aux MIEC-JIREC 2009 (Multimédia et Informatique dans l'Enseignement de la Chimie - Journées de l'Innovation et de la Recherche dans l'Enseignement de Chimie) qui se sont déroulées à Mulhouse en juin 2009.

Les documents (séances TD de simulation et fichiers de simulation) sont disponibles auprès de l'auteur.

Références

- [1] Novak J.D., Cañas A.J., The theory underlying concept maps and how to construct them, *Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev. 01-2008*, Florida Institute for Human and Machine Cognition, **2008**, téléchargeable librement sur <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>.
- [2] Bataille X., site « Ressources Nationales de Chimie », Ministère de l'Éducation nationale : a) Simulations de chromatogrammes en CLHP, I. Influence des paramètres (www.educnet.education.fr/mchimie/chi_org/xb/simulation_clhp_i.pdf); b) Simulations de chromatogrammes en CLHP, II. Simulation complète, version 2.1 (www.educnet.education.fr/mchimie/chi_org/xb/simulation_clhp_ii.pdf); c) Feuille de simulation (www.educnet.education.fr/mchimie/chi_org/xb/simulation_clhp_v1.0.xls).

mchimie/chi_org/xb/simulation_clhp_ii.pdf); c) Feuille de simulation (www.educnet.education.fr/mchimie/chi_org/xb/simulation_clhp_v1.0.xls).

- [3] Brière T., Simulateur de chromatogrammes avec effet de solvant, *Le Bup*, **2007**, 899-2, p. 33. Feuille de simulation : http://personnel.univ-reunion.fr/briere/CHROMATO/EFFET_SOLVANT/simsolv2.xls.
- [4] Larher C., La physique et la chimie, sciences de modèles. Du monde réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation, *Didactique appliquée de la physique-chimie*, J. Toussaint (coord.), Nathan, **1996**, p. 160-178.



Jérôme Randon

est professeur au Laboratoire des Sciences Analytiques, Université Claude Bernard Lyon 1*.

* Laboratoire des Sciences Analytiques, Université Claude Bernard Lyon 1, 43 boulevard du 11 Novembre 1918, F-69622 Villeurbanne Cedex.

Courriel : randon@univ-lyon1.fr



Connaissez-vous bien le site de l'AC ?
www.lactualitechimique.org
 Alors vite, à votre souris !

