HAL
open science

# Analyse de l'activité des enseignants de chimie organique autour du contenu enseigné

David Lafarge, Ludovic Morge, Martine Méheut

## To cite this version:

David Lafarge, Ludovic Morge, Martine Méheut. Analyse de l'activité des enseignants de chimie organique autour du contenu enseigné. 6èmes rencontres de l'ARDIST, Oct 2009, France. pp.cédérom. hal-00778046

**HAL Id: hal-00778046**

**https://hal.science/hal-00778046v1**

Submitted on 22 Jan 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Analyse de l'activité des enseignants de chimie organique autour du contenu enseigné

***LAFARGE David, PRAG, Université Blaise Pascal, IUFM d'Auvergne, Clermont-Ferrand – Chamalières, France, Laboratoire PAEDI (EA, 4281) david.lafarge@univ-bpclermont.fr***

***MORGE Ludovic, Maître de Conférences, Université Blaise Pascal, IUFM d'Auvergne Clermont-Ferrand – Chamalières, France Laboratoire PAEDI (EA, 4281), ludovic.morge@univ-bpclermont.fr***

***MEHEUT Martine, Professeur d'Université, Université Paris 12, IUFM de Créteil, Créteil, France, Laboratoire LDSP, Université Paris 7 martine.meheut@univ-paris-diderot.fr***

Mots clés : activité de l'enseignant, PCK, modélisation, chimie organique

***Résumé***

*La chimie organique est souvent reconnue comme une discipline difficile à enseigner et à apprendre. Pour comprendre l'origine de cette difficulté nous avons étudié l'activité des enseignants de chimie organique jusqu'à bac+2. Nos résultats montrent que la structuration des contenus est très répandue (principaux outils théoriques, puis principales familles de molécules), la stratégie de synthèse organique est peu traitée et l'élaboration des mécanismes réactionnels ne fait pas l'objet d'une activité de modélisation par les étudiants ; les enseignants argumentent principalement par rapport aux difficultés de leurs étudiants. Les implications de nos résultats sur la conception d'un instrument d'aide aux enseignants seront discutées à la fin de cet article.*

## Cadre de la recherche

### Contexte

Il semble exister un malaise dans l'enseignement de la chimie organique : une discipline reconnue comme difficile, des démarches d'enseignement dogmatiques et cumulatives, des étudiants qui mémorisent plus qu'ils ne comprennent et qui ont du mal à mettre en relation les différents éléments théoriques, une utilisation problématique du symbolisme, et une certaine insatisfaction des enseignants (Agrebi, 2004 ; Bhattacharyya & Bodner, 2005 ; Bowen, 1990 ; Ferguson & Bodner, 2008 ; Laddhams Zieba, 2004 ; Loumouamou, 1998).

L'objectif de ma thèse est d'analyser et de faire des propositions pour l'enseignement de la chimie organique jusqu'à bac+2. Nous faisons l'hypothèse que la structuration actuelle de cet enseignement ne permet pas aux étudiants de gérer efficacement la complexité de cette discipline. Notre projet est de garder le même contenu, mais de modifier sa structuration et de

proposer aux étudiants des activités qui se rapprocheraient des pratiques du chimiste organicien (modélisation de la matière et de ses transformations, stratégie de synthèse de molécules organiques).

Notre recherche s'articule en 3 parties. La première partie consiste en une analyse du contenu disciplinaire, axée sur les modèles et la stratégie de synthèse organique, du savoir de référence (publications, livres universitaires et programmes d'enseignement de niveau master) et du savoir à enseigner (programmes, examens et concours, livres universitaires de niveau bac+2). Cette partie nous a conduit à quelques propositions didactiques telles que fournir aux étudiants une « réactiothèque » qui ferait office de base de données listant les réactions utiles à ce niveau, avec l'idée de pouvoir faire travailler les étudiants autrement en matière de synthèse organique et d'éventuellement casser une structuration de cet enseignement par familles de molécules. Il nous semble en effet plus pertinent d'envisager une structuration sur l'année par modélisation croissante au lieu d'une structuration par familles de molécules ou par mécanismes réactionnels qui nécessitent bien souvent que plusieurs éléments théoriques (liaison polarisée, cinétique, thermodynamique…) soient traités en même temps dès l'enseignement des premiers mécanismes.

La deuxième partie de ce travail a pour but de mieux comprendre l'activité des enseignants de chimie organique. Ces deux premières parties (associées aux résultats d'autres auteurs sur les difficultés et les conceptions des étudiants) contribueront à nourrir notre réflexion, dans la troisième partie sur la conception d'un instrument didactique (Courally, 2007 ; Rabardel, 1995) visant à aider les enseignants et à continuer notre analyse de leur activité.

Cette communication concerne la deuxième partie, à savoir une étude exploratoire de l'activité des enseignants de chimie organique autour du contenu à enseigner.

## Cadre théorique

Nous avons jugé utile de considérer chaque enseignant dans sa globalité, car son activité n'a pas pour seule finalité l'enseignement-apprentissage de sa discipline. En effet nous considérons que l'activité d'enseignement est multifinalisée et multidéterminée (Goigoux, 2007).

L'enseignant oriente son activité vers les élèves (faciliter les apprentissages, faire vivre le collectif-classe), vers les autres acteurs de la scène scolaire (rendre lisible et acceptable voire valoriser son activité professionnelle), vers l'enseignant lui-même (coûts et bénéfices qu'il peut retirer personnellement de son activité, sur les plans physique et psychique). Il peut alors exister des conflits entre ces finalités, que l'enseignant tâche de réduire afin de trouver un équilibre dans sa situation professionnelle. En outre nous considérons que l'activité de l'enseignant dépend essentiellement de trois éléments : le déterminant « Institution » (cadre institutionnel, organisation du travail, prescriptions, etc.), le déterminant « Public » (les savoirs des élèves, leurs rapports au savoir et à l'école, leurs compétences, leur comportement, etc.) et le déterminant « Personnel » (finalités et objectifs de l'enseignant, savoirs et savoir-faire, conceptions, valeurs et croyances, expérience et formation). Le contenu disciplinaire se retrouve dans chacun de ces déterminants, à travers par exemple les programmes d'enseignement (faisant partie des prescriptions), les difficultés et les conceptions des élèves, ou encore pour l'enseignant ses connaissances disciplinaires et ses connaissances professionnelles liées au contenu disciplinaire à enseigner.

Ainsi nous pouvons affiner le cadre précédent, en y adjoignant comme une composante du déterminant « Personnel », le cadre théorique des PCK (Shulman, 1987), Pedagogical Content Knowledge que nous traduisons par connaissances pédagogiques liées au contenu (Méheut,

2006). Entre les connaissances purement disciplinaires et celles de pédagogie générale, les PCK intègrent ces différents champs afin d'en constituer un nouveau, focalisé sur l'enseignement et l'apprentissage d'un contenu disciplinaire spécifique (Autain Kermen, 2007; Bécu-Robinault, 2007 ; De Jong, 2003 ; Morge, 2003 ; Van Driel & *al.*, 1998).

Enfin, nous considérons l'activité de l'enseignant comme la réponse donnée par celui-ci après son interprétation des prescriptions officielles, en fonction des moyens et des ressources dont il dispose et des contraintes qu'il se fixe ou qu'on lui fixe (Goigoux, 2007). Il puise notamment dans le genre professionnel (Clot & Faïta, 2000), ce répertoire des actes convenus que l'histoire de son métier a retenu, qui règle son activité personnelle de façon tacite (en marge des prescriptions) et marque l'appartenance à un groupe. Le genre professionnel agit alors comme une ressource mais aussi comme une contrainte, cependant il n'est pas intangible et chaque enseignant l'ajuste, caractérisant ainsi son propre style.

## Questions de recherche

Nous souhaitons apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

Quelles sont les caractéristiques du savoir enseigné, en considérant, d'une part la structuration globale des contenus (avec notamment la place des modèles et celle de la stratégie de synthèse organique) et d'autre part l'articulation registre empirique / registre des modèles dans l'élaboration des mécanismes réactionnels ?

Comment les enseignants justifient les caractéristiques précédentes ? Qu'est-ce qui détermine l'activité des enseignants de chimie organique ? Quels leviers du changement peuvent être envisagés ? Les enseignants sont-ils prêts à changer de pratiques ?

## Méthodologie

Nous avons mené des entretiens individuels auprès de neuf enseignants ayant l'expérience de l'enseignement de la chimie organique jusqu'à bac +2 : 4 en STS Chimie, 2 en CPGE (PCSI et BCPST1), 3 enseignants-chercheurs à l'université. Ces entretiens semi-directifs, d'environ une heure chacun, ont été enregistrés puis transcrits intégralement afin d'être analysés. Nous sommes conscients que ce recueil de données ne nous renseigne que sur les pratiques déclarées par les enseignants, mais nous l'étayons dans notre thèse avec une autre source constituée des préparations de cours, et surtout cette méthodologie nous a semblé d'un bon rapport coût / bénéfice par rapport à nos objectifs et notre grain d'analyse : nous nous intéressons en effet à la structuration des contenus sur une année, et aux étapes de la démarche d'enseignement des mécanismes réactionnels. Ce premier recueil a un statut exploratoire, qui sera complété et affiné avec les données recueillies lors du test de l'instrument didactique auprès d'enseignants.

Nous avons construit le guide d'entretien selon plusieurs principes.

L'entrée est volontairement ouverte afin d'obtenir un avis sans ambiguïté de l'enseignant sur la discipline et son enseignement, ainsi que sa connaissance de certaines difficultés de ses étudiants. Nous tâchons ensuite d'organiser la parole de l'enseignant autour de plusieurs thèmes : son enseignement des mécanismes réactionnels, son enseignement de la synthèse organique, la structuration de son enseignement sur l'année, et les outils et ressources qu'il utilise.

Nous complétons ce recueil en soumettant à chaque enseignant deux documents écrits résumant quelques éléments de pratiques d'autres enseignants ; ces éléments sont issus de préparations de cours, de programmes d'enseignement, de publications ou de livres de chimie

organique. La confrontation à d'autres pratiques permet à l'enseignant de parler de sa propre activité en commentant celle des autres et de voir si d'autres pratiques lui semblent envisageables. Ainsi le premier document comporte le descriptif de quatre démarches d'introduction du mécanisme d'hydrohalogénation des alcènes ; nous les avons choisies car l'articulation entre les données expérimentales et la construction théorique est variable (les deux cas extrêmes sont un mécanisme formel et décontextualisé confirmé après-coup par un exemple de réaction et un mécanisme construit à partir de données expérimentales précises). Notons que ce premier document n'est utilisé qu'à partir du 4ème entretien. Le deuxième document comporte quant à lui le descriptif de quatre structurations des contenus ; nous avons choisi quatre structurations différentes qui classent les réactions par famille de molécules, liaison ou mécanisme réactionnel, qui montrent explicitement ou non la place des outils théoriques (dans un chapitre au début, vers la fin, ou en filigrane), et qui font allusion ou non à la stratégie de synthèse organique (création de liaisons carbone-carbone).

En fin d'entretien, nous soumettons oralement à chaque enseignant deux ébauches de nos propositions (« réactiothèque », structuration par modélisation croissante). Cela a le double objectif de confronter l'enseignant à d'autres pratiques possibles (comme précédemment), ainsi que de tester la pertinence de nos deux propositions avant la phase de conception de l'instrument.

Outre l'analyse de la structuration apparente des contenus, de la place des modèles et de la stratégie de synthèse organique, ainsi que l'analyse de l'articulation expérience-théorie dans l'élaboration des mécanismes réactionnels, nous étudions l'origine et la stabilité des éléments précédents selon les déterminants « Institution », « Personnel » et « Public ». Nous ne présenterons ici que quelques uns de nos résultats.

## Résultats et commentaires

### Une structuration des contenus répandue : les principaux outils théoriques puis les grandes familles de molécules

Nous observons que dans l'enseignement de la chimie organique, jusqu'à bac+2, les contenus sont structurés principalement en deux parties : une première partie traite de la structure des molécules organiques (N=9) puis présente les principaux outils théoriques (espèces chimiques réactives, nucléophilie, intermédiaires réactionnels, diagrammes énergétiques…) nécessaires à l'étude de la réactivité chimique (N=7) ; dans une seconde partie les enseignants (N=9) organise les contenus autour des grandes familles de molécules organiques (alcanes, alcènes, aromatiques, alcools, etc.), la chronologie des familles étant modérément variable d'un enseignant à l'autre.

Cette structuration semble partagée par les enseignants quel que soit leur lieu d'enseignement (STS, CPGE, université), ce qui est concordant avec notre analyse des livres et des préparations de cours. Ceci laisse supposer l'existence et l'importance d'un genre professionnel des enseignants de chimie organique. La chronologie choisie pour les familles serait par contre propre à l'enseignant (son style).

## Des contraintes « institutionnelles » favoriseraient cette structuration

Le déterminant institutionnel est présent : la structuration des contenus dans le programme incite les enseignants (N=6) à utiliser la structuration observée précédemment. En ce qui concerne les principaux outils théoriques de la chimie organique, deux programmes (de CPGE) ne prévoient pas une présentation préliminaire à l'étude des familles. Si un des deux enseignants concernés suit le programme sur ce point, l'autre trouvait ce manque étrange donc il a ajouté ce chapitre. Cette redéfinition de la prescription pourrait être alors le fait du genre professionnel. L'articulation des notions de chimie générale avec les outils théoriques de chimie organique (N=3) est une contrainte, cette dernière étant plus forte lorsque ces enseignements sont assurés par des professeurs différents, ou dans plusieurs modules (N=1). Enfin le temps alloué à cet enseignement est un critère de choix d'une structuration (N=5).

## Cette structuration navigue entre avantages et inconvénients pour les étudiants

Pour certains enseignants (N=3) la structuration utilisée a l'avantage d'être claire et organisée, facilitant ainsi l'apprentissage des étudiants. Elle offrirait en outre l'intérêt d'être progressive : d'une part par rapport aux outils théoriques, dont les principaux sont présentés au début avant d'être affinés et complétés lors de l'étude des familles (N=1) et, d'autre part, par rapport aux familles qui peuvent être classées par complexité de structure moléculaire croissante (N=2) ou rapprochées en fonction de leur type de réactivité (addition, substitution...) (N=3). Nous observons aussi une conception (N=1) selon laquelle la seule structuration efficace pour un débutant serait celle par famille.

Cependant, deux enseignants indiquent qu'un tel cloisonnement empêche les étudiants de repérer les similitudes et les différences entre certaines familles. Deux enseignants admettent que la première partie est longue pour les étudiants qui doivent attendre plusieurs mois avant d'étudier enfin les réactions des familles de molécules. Même si la structuration utilisée admet quelques défauts, et que les enseignants ont des affinités pour d'autres structurations qui leur ont été proposées (structurations mettant en avant la formation de liaisons (N=4) ou des éléments théoriques (N=5)), ces dernières leurs semblent plus difficiles pour les étudiants que la structuration utilisée. Nous pensons qu'en fait elles sont peut-être aussi difficiles pour les enseignants eux-mêmes, car n'ayant pas eu l'expérience de ces autres structurations, ils n'ont peut-être pas pu construire les PCK associées (Van Driel *& al.*, 1998). Ainsi, parmi quatre enseignants qui voient un intérêt à notre proposition de structuration du cours de chimie organique par modélisation croissante, deux enseignants réclament le détail de sa mise en œuvre pour pouvoir réellement l'envisager.

## La conception de synthèses organiques est jugée quasiment impossible jusqu'à bac+2

Quand elle est abordée (N=8), la stratégie de synthèse organique ne fait pas l'objet d'un enseignement spécifique mais elle se fait sur le tas (N= 8). Les enseignants (N=8) abordent cet aspect lors de l'étude des familles et à l'occasion d'exercices d'application pour lesquels les étudiants doivent restituer les équations de réactions qu'ils ont apprises. Plus rarement (N=2), les étudiants sont amenés à utiliser leurs connaissances acquises depuis deux ans pour critiquer, discuter, construire des synthèses organiques. Cela est concordant avec notre analyse des livres, préparations de cours et programmes en rapport.

La principale raison invoquée (N=7) est que la stratégie de synthèse organique nécessite tout d'abord de connaître suffisamment de réactions diverses et d'avoir acquis une culture, un

recul suffisants, ce qui rend cette activité difficile. C'est pourquoi son véritable enseignement ne serait envisageable qu'après bac +2. Même si plusieurs enseignants (N=4) voient un intérêt dans la « réactiothèque » la plupart (N= 6) reste perplexe quant à son utilisation pratique ou son efficacité pour la préparation de l'examen.

## Comment valider une synthèse organique proposée par un étudiant ?

Un enseignant signale qu'en faisant travailler ses étudiants sur la production de synthèses organiques, il se heurte à la difficulté de ne pas savoir si telle proposition d'étudiant sera valide ou non expérimentalement ou industriellement. Nous envisageons ainsi des difficultés liées à la gestion des phases de conclusion (Morge, 2001).

## Le mécanisme réactionnel ou comment l'enseignant raconte une histoire…

Quant à l'enseignement des mécanismes réactionnels, la totalité des enseignants (N=9) semble réaliser une présentation logique de chaque mécanisme réactionnel selon un raisonnement temporo-causal : les enseignants racontent une histoire, et justifient a posteriori certains aspects du mécanisme par quelques données expérimentales et éléments théoriques. Aucun des enseignants ne décrit une réelle tâche de construction des mécanismes par les étudiants. L'essentiel du raisonnement est traité à l'oral (N= 9) ; au tableau figurent systématiquement (N=9) l'équation de la réaction étudiée, le mécanisme réactionnel symbolisé avec les formules de molécules et les flèches, et souvent sont notés ou dictés (N=7) quelques points ou mots clés.

## La construction d'un mécanisme réactionnel est jugée difficile pour les étudiants

Trois enseignants (N=3) pensent que laisser les étudiants construire eux-mêmes les mécanismes donnerait n'importe quoi, que les étudiants pourraient proposer d'autres « histoires » ou partir sur d'autres voies. L'un des trois dit l'avoir déjà observé et donc abandonné. Les étudiants ne peuvent donc que restituer un mécanisme déjà appris dans un contexte proche (N=2). Lorsque six enseignants sont confrontés à différentes façons d'enseigner les mécanismes réactionnels, la majorité (N=5/6) juge intéressante celle qui selon nous offre le plus les conditions d'une modélisation, car d'après eux elle contient des données expérimentales précises et riches (N=4/6) et elle ressemble un peu plus à la recherche (N=1/6). Cependant les enseignants (N=4/6) la jugent trop difficile pour introduire un mécanisme avec leurs étudiants. A ce stade nous pouvons nous interroger sur l'origine de ce problème : les modèles utilisables et les données ne sont peut-être pas suffisants pour permettre une vraie élaboration de mécanismes réactionnels, les enseignants ont peut-être des difficultés à concevoir un enseignement basé sur la modélisation en classe ou à gérer des phases de conclusion (Morge, 2001), ou les étudiants ne sont effectivement pas capables de le faire.

Les enseignants (N=7) signalent en effet que des étudiants ont du mal à comprendre la logique du mécanisme ou sont bloqués par rapport à l'utilisation de notions et de définitions de base (électrophile, nucléophile, aspect électrostatique), deux enseignants avouant même être parfois désemparés en ne comprenant pas pourquoi cela bloque. C'est sans doute pourquoi nous observons parallèlement que tous les enseignants (N=9) focalisent systématiquement le raisonnement des étudiants sur quelques éléments théoriques clés : la recherche des sites réactifs et la détermination de leur nature (nucléophile, électrophile), puis les déplacements de doublets électroniques symbolisés par les flèches courbes. Mais à trop vouloir focaliser le

raisonnement sur ces quelques points clés, les étudiants peuvent-ils comprendre pourquoi le mécanisme est construit ainsi et peuvent-ils le retrouver, alors que son élaboration complète nécessite d'autres éléments théoriques ?

### La construction des mécanismes nécessite des ressources supplémentaires pour l'enseignant

Un enseignant évoque le manque d'une ressource externe permettant de trouver facilement les données expérimentales adéquates. Pour un autre enseignant il lui est impossible de connaître tout le domaine de validité d'un mécanisme réactionnel, c'est-à-dire savoir s'il est applicable à d'autres fonctions proches (carbonyle / ester par exemple).

## Pour conclure : conséquences sur la conception d'un instrument didactique

La première préoccupation des enseignants semble être les difficultés des étudiants, ce qui impose des démarches progressives et des objectifs accessibles. Bien que les difficultés des étudiants soient réelles et justifient d'y prêter attention, nous pensons que les enseignants sont peut-être en réalité désarmés pour envisager d'autres pratiques. Il semble leur manquer des ressources externes (faits expérimentaux) et des PCK pour gérer en classe la modélisation (De Jong, 2003) de la matière et de ses transformations lors de l'élaboration des mécanismes réactionnels, ainsi que des PCK sur la synthèse organique jusqu'à bac+2. Les enseignants se refusent à laisser à la charge des étudiants des activités de modélisation et de conception de synthèses, peut être aussi parce qu'ils cherchent à les valider par rapport à un savoir de référence si immense qu'il en est inaccessible (à leurs étudiants comme à eux-mêmes) au lieu d'un savoir de référence partagé par la classe (Morge, 2001). La tâche est donc ardue, d'autant plus que les prescriptions en la matière concordent avec le genre professionnel existant. Il sera sans doute utile de faire des propositions précisément décrites, afin que les enseignants puissent mieux se les approprier puis paradoxalement s'en détacher et faire leurs propres choix (Courally, 2007).

## Bibliographie

Agrebi, S. (2004). *De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur.* Université Lumière Lyon 2 - Université de Tunis, Lyon - Tunis.

Autain Kermen, I. (2007). *Prévoir et expliquer l'évolution des systèmes chimiques. Observation de la mise en place d'un nouveau programme de chimie en terminale S : réactions des enseignants et des élèves face à l'introduction de l'évolution des systèmes chimiques.* Université Diderot Paris 7, Paris.

Bécu-Robinault, K. (2007). Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques. *ASTER, 45*, 165-188.

Bhattacharyya, G., & Bodner, G. M. (2005). "It gets me to the product": how students propose organic mechanisms. *Journal of Chemical Education, 82*(9), 1402-1407.

Bowen, C. W. (1990). Representational systems used by graduate students while problem solving in organic synthesis. *Journal of Research in Science Teaching, 27*(4), 351-370.

Clot, Y., & Faïta, D. (2000). Genres et styles en analyse du travail. Concepts et méthodes. *Travailler, 4*, 7-42.

Courally, S. (2007). *Concevoir un instrument didactique pour l'enseignement du français langue de scolarisation.*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

De Jong, O. (2003). Exploring science teachers' pedagogical content knowledge. In D. Psillos & al. (Eds.), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society* (pp. 373-381). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Ferguson, R., & Bodner, G. M. (2008). Making sense of the arrow-pushing formalism among chemistry majors enrolled in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, 9*(2), 102-113.

Goigoux, R. (2007). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants. *Education et Didactique, 1*(3), 19-41.

Laddhams Zieba, M. (2004). *Teaching and learning about reaction mechanisms in organic chemistry.* University of Western Australia.

Loumouamou, A. (1998). *Contribution à la transposition didactique en chimie organique.* Université Joseph Fourier, Grenoble.

Méheut, M. (2006). Recherches en didactique et formation des enseignants de sciences. In *Rapport Eurydice : L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. Etat des lieux des politiques et de la recherche* (pp. 55-76). Bruxelles: Direction Générale de l'Education et de la Culture. Commission Européenne.

Morge, L. (2001). Caractérisation des phases de conclusion dans l'enseignement scientifique. *Didaskalia, 18*, 99-120.

Morge, L. (2003). Les connaissances professionnelles locales : le cas d'une séance sur le modèle particulaire. *Didaskalia, 23*, 101-131.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains.* Paris: Armand Colin.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), 1-22.

Van Driel, J. H., Verloop, N., & De Vos, W. (1998). Developing science teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching, 35*(6), 673-695.