

Suivre l'évolution des conceptions des élèves en mécanique : développement et évaluation d'exercices informatisés

Nicolas COPPENS, Gérard REBMANN

Laboratoire de didactique André-Revuz, université Paris-Diderot-Paris 7

Valérie MUNIER

LIRDEF, IUFM – université Montpellier 2

Résumé • Le suivi individuel des conceptions des élèves est important pour développer des stratégies d'enseignement efficaces. Cependant, les enseignants de sciences physiques n'ont souvent ni le temps, ni les compétences didactiques nécessaires pour détecter ces conceptions.

Des exercices informatisés détectant automatiquement des conceptions mobilisées par les élèves ont donc été développés afin d'aider les professeurs français lors de l'enseignement de la mécanique au lycée.

Cet article explicite leur développement puis il présente les tests vérifiant que ces exercices informatisés recueillent rapidement des données suffisamment pertinentes, riches et fiables pour identifier des conceptions d'élèves.

Mots-clés • évaluation, conceptions, exercices informatisés, physique, lycée, mécanique.

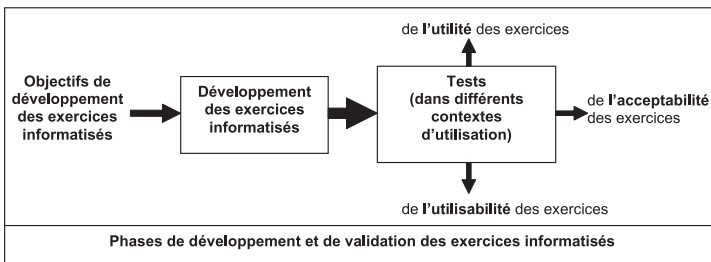
Introduction

Depuis de nombreuses années, la recherche en didactique a permis de montrer la prégnance de conceptions¹ erronées des élèves en sciences et l'importance de leur prise en compte dans l'enseignement (Hestenes *et al.*, 1992 ; Viennot, 1996, 2002). Les programmes actuels de physique dans l'enseignement secondaire français (ministère de l'Éducation nationale, 2000, 2001a et b) définissent, outre les connaissances et les compétences exigibles, des conceptions erronées qu'il faudra dépasser. Si ces résultats de la didactique ont trouvé un écho dans des documents officiels, les enseignants ont souvent des difficultés à les prendre en compte dans leurs classes, faute de temps ou de compétences didactiques suffisantes pour détecter les conceptions de chaque élève au cours de l'apprentissage (Maroy, 2005).

Nous avons considéré que des outils d'aide à la détection des conceptions sont nécessaires pour favoriser leur prise en compte par les enseignants. Les technologies actuelles permettant d'envisager de nouveaux contextes d'apprentissage (Chaput et Biron, 2000), les TICE (Technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement) peuvent constituer une nouvelle interface recherche/enseignement en assistant les professeurs par une détection automatique des conceptions de chaque élève.

À ces fins, nous avons développé dans un premier temps des exercices informatisés permettant d'analyser des réponses d'élèves en termes de conceptions lors de l'apprentissage de la mécanique en Première scientifique. Puis nous avons évalué les exercices informatisés développés pour déterminer dans quelle mesure ils permettent de reconstruire les conceptions des élèves à partir d'éléments de leurs réponses.

Nous explicitons dans la suite de cet article les différentes phases ayant mené à l'élaboration de ces exercices informatisés et à la validation de leurs objectifs de développement.



(1) Nous utilisons le terme de conception (correcte ou erronée) dès qu'il permet de rendre compte des conduites d'un élève dans une situation donnée, ce qui peut correspondre à un élément, à une facette de connaissance apparemment mobilisé par un élève lorsqu'il travaille sur une situation particulière (Akçaoglu Küçüközer, 2005).

1. Développement des exercices informatisés

Une analyse des études didactiques nous a permis de définir les principales conceptions erronées des élèves en mécanique et les situations permettant de les détecter (Coppens, 2007a et b). Nous avons choisi de nous baser sur des situations permettant l'intégration de vidéos et d'animations pour construire des exercices informatisés les plus attractifs possibles pour les élèves. En effet, même si des chercheurs (Gyselinck *et al.*, 1998) ont montré que l'insertion de médias (photos, animations, vidéos) ne facilite pas forcément la compréhension, ceux-ci semblent en tout cas attrayants pour les élèves (Wright *et al.*, 1999 ; Rouet *et al.*, 2001).

Pour que cet outil soit susceptible d'être utilisé par le maximum de professeurs, ces exercices doivent empiéter le moins possible sur le temps d'enseignement, étant donné que les professeurs ont des contraintes de temps fortes. Nous avons donc développé des questions fermées pour permettre aux lycéens de répondre assez rapidement. De plus, ce type de questions peut faciliter la détection automatisée des conceptions des élèves (Jean-Daubias, 2002). Une recherche de Coppens et Munier (2005) a par ailleurs montré que certaines questions fermées pouvaient jouer le rôle de microscope cognitif en identifiant davantage de conceptions erronées que certaines questions ouvertes.

Ainsi nous avons construit, à partir de différentes études didactiques (comme par exemple McCloskey, 1983 ; Hestenes *et al.*, 1992 ; Lemeignan et Weil-Barais, 1993 ; Viennot, 1996 ou Guillaud, 1998), plusieurs exercices informatisés ainsi qu'un module d'analyse des réponses en termes de conceptions avec les objectifs suivants :

- empiéter le moins possible sur le temps d'enseignement ;
- être utilisables en classe et en dehors de la classe ;
- être attrayants et faciles d'utilisation pour les élèves ;
- analyser efficacement les productions des élèves en termes de conceptions ;
- ne pas engendrer de travail supplémentaire d'analyse pour les enseignants ;
- présenter des résultats compréhensibles à la fois pour les enseignants et les élèves.

1.1 Présentation des exercices informatisés

Nous avons utilisé le système informatique ForEvaNet qui respecte les principales recommandations ergonomiques des interfaces homme-machine². Cet outil complet d'évaluation en ligne³ permet un recueil des réponses sur Internet sans installation spécifique, ce qui lui donne une grande facilité d'utilisation et permet aux élèves de répondre aux exercices aussi bien chez eux qu'en classe. De plus, des vidéos peuvent accompagner ces exercices comme par, exemple, celle illustrant la première question de l'exercice informatisé WAGONS :



Première question de l'exercice informatisé WAGONS

Nous avons développé cinq exercices informatisés constitués de 29 questions fermées. Les analyses didactiques ayant conduit au développement de

(2) Pour permettre l'efficacité et la facilité d'utilisation d'une interface homme-machine, il est recommandé par exemple d'intégrer une image ou une vidéo, de ne pas abuser de couleurs ou de polices différentes dans les textes et de ne pas surcharger l'écran d'informations non indispensables (Bastien et Scapin, 2001 ; Caro et Bétrancourt, 1998 ; Kolski, 1993).

(3) Ce système informatique a été conçu par Coste à l'université de Provence-Aix-Marseille 1 en collaboration avec les universités de Gênes, de Barcelone et l'Institut polytechnique de Turin et avec le soutien de la Communauté européenne dans le cadre des programmes européens *Leonardo* puis *Socrates-Grundtvig*. Il a été utilisé avec des lycéens de l'académie de Marseille, avec des étudiants en sciences à Marseille, à Lille et à Grenoble ainsi que dans plusieurs universités européennes.

ces items ne sont pas présentés ici et nous nous intéressons surtout dans cet article à leur évaluation⁴. Toutefois, pour plus d'informations concernant la phase d'élaboration de ces items, ces questions sont détaillées dans la thèse de Coppens (2007a) disponible sur Internet à l'adresse : <<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00203891/fr/>>.

1.2 Présentation du module d'analyse des réponses

Le système ForEvaNet permet de recueillir les réponses d'élèves sous forme d'une matrice qui, une fois transférée sur un tableur, peut être analysée automatiquement avec des algorithmes définis à partir de l'analyse didactique effectuée en amont. Nous avons choisi de construire le module d'analyse des réponses avec le logiciel Microsoft Excel, utilisé par de nombreux professeurs en sciences physiques au lycée, pour que les enseignants puissent se l'approprier facilement.

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?					
A20					
	A	B	C	Z	AA
	Conceptions détectées lors de la résolution de l'exercice WAGONS			élève W	élève X
1	<i>(nombre de questions dans lesquelles les conceptions sont détectées)</i>				
2	Conceptions CORRECTES	Conceptions ERROIEES			
3	Les forces sont des modélisations d'interactions (/3)	La force n'est pas exercée par un corps sur un autre, c'est une propriété du corps (/3)	LES FORCES SONT DES MODÉLISATIONS D'INTERACTIONS.		
4		Les forces se transmettent par l'intermédiaire d'objets (/3)			
5		Les supports immobiles n'exercent pas de force (/3)			Les supports immobiles n'exercent pas de force (3/3).
6		Existence d'une force après l'interaction (/4)			Existence d'une force après l'interaction (2/4).
7		Dans l'interaction de contact wagon-rails, seul le wagon exerce une force (/1)			Dans l'interaction de contact wagon-rails, seul le wagon exerce une force (1/1).
8		Dans l'interaction de contact wagon-rails, seuls les rails exercent une force (/1)			
9		Dans la collision entre les wagons, seul le wagon rouge en mouvement exerce une force (/2)			
10		Dans la collision entre wagons, seul le wagon noir à l'arrêt exerce une force (/1)			
11	Bonne compréhension de la deuxième loi de Newton (/1)	La résultante des forces exercées sur un objet a le même sens que le vecteur vitesse de cet objet (/1)	BONNE COMPRÉHENSION DE LA DEUXIÈME LOI DE NEWTON.		La résultante des forces exercées sur un objet a le même sens que le vecteur vitesse de cet objet (1/1).
13	Bonne compréhension de la troisième loi de Newton dans une collision* (/1)	Dans la collision entre wagons, le wagon rouge en mouvement exerce la plus grande force (/1)	Dans la collision entre wagons, le wagon rouge en mouvement exerce la plus grande force (1/1).		
15	*. lorsque les forces exercées par les deux corps l'un sur l'autre sont explicites dans l'énoncé	Dans la collision entre wagons, le wagon noir immobile exerce la plus grande force (/1)			Dans la collision entre wagons, le wagon noir immobile exerce la plus grande force (1/1).
16	La Terre exerce une force à distance sur tous les objets (/3)	La Terre n'exerce pas de force à distance sur tous les objets (/3)	LA TERRE EXERCE UNE FORCE À DISTANCE SUR TOUS LES OBJETS.		La Terre n'exerce pas de force à distance sur tous les objets (1/3).
Résultats bruts / Réponses / Conceptions individuelles / Conceptions (groupes d'élèves) / Résumé des conceptions /					

Fenêtre du module d'analyse des réponses présentant les conceptions mobilisées par deux élèves ayant répondu à l'exercice WAGONS

(4) L'élaboration d'items permettant la détection de conceptions a déjà été présentée dans différentes études (Treagust et Changdrasegaran, 2007 ; Chiu, 2007 ou Chang et al., 2007 par exemple).

Des recherches antérieures ont montré que l'appropriation d'un outil informatisé par les enseignants est favorisée si on prend en compte leurs habitudes (Jean-Daubias, 2001). Or El Jaafari (2004) a mis en évidence qu'en matière de diagnostic, les enseignants s'intéressent plus à des groupes d'élèves ou à la classe tout entière qu'à un élève en particulier. Nous avons donc construit dans le module d'analyse des réponses deux fenêtres supplémentaires : une fenêtre présente les conceptions mobilisées par les lycéens sous forme de groupes d'élèves et l'autre donne les résultats de toute la classe sous formes de statistiques.

Pour les cinq exercices élaborés, une analyse automatique des réponses a été mise en place, sur la base de recommandations ergonomiques. Les énoncés des exercices et leur analyse étant issus de l'étude didactique, cette construction a été menée de telle sorte que ces exercices informatisés permettent de recueillir rapidement des données suffisamment pertinentes, riches et fiables pour permettre une identification automatique des conceptions mobilisées par les élèves.

L'excellence d'un outil informatisé ne peut pas être assurée par le simple fait de respecter tel ou tel ensemble de recommandations (Senach, 1993). Après avoir développé ces exercices, nous les avons donc évalués empiriquement en les testant avec des élèves et des professeurs dans différentes situations d'enseignement.

2. Évaluation des exercices informatisés

Nous avons cherché à savoir si les élèves et les enseignants étaient en mesure d'utiliser les exercices informatisés lors de l'enseignement de la mécanique en Première Scientifique et si les enseignants acceptaient de les utiliser. À ces fins, nous avons testé :

- l'**utilité** des exercices informatisés, c'est-à-dire leur capacité à rendre compte du comportement de l'élève et à détecter les conceptions mobilisées par celui-ci lorsqu'il répond à un exercice donné ;
- l'**utilisabilité** des exercices informatisés, c'est-à-dire leur facilité d'utilisation et leur attractivité pour les élèves et pour les enseignants ;
- l'**acceptabilité** des exercices informatisés, qui correspond à la décision des professeurs d'utiliser ou non les exercices proposés dans leur classe (Tricot *et al.*, 2003).

2.1 Participants

132 élèves du lycée international de Strasbourg (108 élèves issus de 4 classes de Première scientifique et 24 élèves d'une classe de Terminale scientifique) ont été interrogés après avoir utilisé les exercices informatisés en classe ou à la maison.

64 enseignants stagiaires des IUFM (Institut universitaire de formation des maîtres) de Montpellier et Strasbourg ont également participé à l'étude. Ces stagiaires ont pris connaissance de l'outil informatique de suivi des conceptions lors d'une journée de formation et ont été interrogés par le biais de questionnaires.

Enfin, nous avons présenté en début d'année scolaire les exercices informatisés à des professeurs titulaires de sciences physiques et nous leur avons proposé d'utiliser ces exercices en classe avec leurs élèves. À la fin de l'année scolaire, nous avons interrogé, par des entretiens semi-directifs réalisés en présentiel ou par téléphone, dix professeurs travaillant dans sept lycées différents des académies de Paris, Créteil, Versailles, Nancy-Metz et Strasbourg. Sur ces dix professeurs interrogés, quatre ont été contactés par des listes de diffusion professionnelles sur Internet, deux l'ont été lors de formations continues et quatre ont répondu grâce à des contacts personnels. L'analyse des entretiens⁵ a montré que la majorité d'entre eux utilisait fréquemment l'outil informatique en classe avec leurs élèves, indépendamment de leur ancienneté ou de leur intérêt concernant la prise en compte des conceptions des élèves.

	Ancienneté et environnement de travail du professeur	Prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement	Utilisation de l'informatique en classe avec ses élèves
P1	L'enseignant P1 enseigne depuis 17 ans . Son environnement de travail est favorable (élèves calmes et motivés) avec un équipement informatique correct .	P1 prend en compte les conceptions de ses élèves le plus souvent possible dans son enseignement.	P1 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves.
P2	L'enseignant P2 enseigne depuis moins d'un an . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique moyen .	P2 souhaiterait prendre en compte les conceptions de ses élèves dans l'enseignement mais il ne sait pas trop comment s'y prendre.	P2 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves.
P3	L'enseignante P3 enseigne depuis 13 ans . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique insuffisant rencontrant des problèmes de maintenance.	P3 prend en compte les conceptions de ses élèves le plus souvent possible dans son enseignement.	P3 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves.

(5) Les transcriptions complètes de ces entretiens se trouvent dans la thèse de Coppens (2007a).

	Ancienneté et environnement de travail du professeur	Prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement	Utilisation de l'informatique en classe avec ses élèves
P4	L'enseignant P4 enseigne depuis 20 ans . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique moyen .	P4 ne prend jamais en compte les conceptions des élèves dans son enseignement car c'est inutile d'après lui.	P4 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves.
P5	L'enseignante P5 enseigne depuis 33 ans . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique moyen .	P5 a la conviction que la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement peut être utile mais elle les prend très peu en compte en compte dans son enseignement.	P5 utilise rarement l'informatique avec ses élèves même si elle a la conviction que cela pourrait leur être utile. Elle n'est pas très à l'aise avec l'outil informatique.
P6	L'enseignant P6 enseigne depuis 39 ans . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique correct .	P6 ne prend jamais en compte les conceptions des élèves dans son enseignement car c'est inutile d'après lui.	P6 n'a jamais utilisé d'ordinateur, que ce soit en classe ou chez lui.
P7	L'enseignant P7 enseigne depuis 4 ans . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique correct .	P7 ne prend jamais en compte les conceptions des élèves dans son enseignement car c'est inutile d'après lui.	P7 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves.
P8	L'enseignante P8 enseigne depuis 30 ans (elle est également formatrice à l'IUFM). Son environnement de travail est assez difficile avec un équipement informatique correct .	P8 prend en compte les conceptions de ses élèves le plus souvent possible dans son enseignement.	P8 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves.
P9	L'enseignant P9 enseigne depuis 8 ans . Son environnement de travail est moyen (élèves calmes mais peu motivés) avec un équipement informatique moyen .	P9 prend en compte les conceptions de ses élèves le plus souvent possible dans son enseignement.	P9 utilise souvent l'informatique en classe avec ses élèves
P10	L'enseignante P10 enseigne depuis 14 ans . Son environnement de travail est favorable avec un équipement informatique correct .	P10 est convaincue de l'utilité de la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement mais elle ne le met pas en place avec ses élèves faute de temps.	P10 utilise l'informatique avec ses élèves car c'est exigé au baccalauréat mais elle ne semble pas convaincue de son utilité.

Lors des entretiens réalisés en fin d'année scolaire, cinq professeurs (P1, P2, P3, P4 et P5) ont déclaré avoir utilisé les exercices informatisés avec leurs élèves de Première Scientifique. Les cinq autres les ont simplement examinés, soit parce qu'ils n'avaient pas de Première Scientifique l'année scolaire de l'entretien (pour P8, P9 et P10), soit parce qu'ils n'ont pas souhaité les utiliser (pour P6 et P7).

2.2 Évaluation de l'utilité des exercices informatisés

2.2.1 Méthodologie

Pour évaluer l'utilité des exercices informatisés, nous les avons fait passer en classe à 108 élèves de Première scientifique, environ un mois après l'enseignement de la mécanique.

Nous avons vérifié par l'intermédiaire d'un questionnaire et d'entretiens que les questions posées étaient bien comprises par les élèves et nous avons déterminé le temps de passation de ces exercices. Pour examiner l'efficacité de l'analyse automatique des réponses des élèves en termes de conceptions, nous avons étudié les résultats obtenus suivant deux niveaux d'analyse :

- **d'un point de vue interne** : nous nous sommes intéressés à la **cohérence** des résultats recueillis avec cet outil ;
- **d'un point de vue externe** : nous avons vérifié que des résultats similaires étaient obtenus avec un autre test que les exercices informatisés. Nous avons alors validé ce que De Ketele et Gérard (2005) et Coulaud (2005) ont appelé la **fiabilité** de l'outil en comparant les conceptions détectées par cet outil avec celles révélées par des entretiens menés avec 14 élèves ayant répondu aux exercices informatisés.

2.2.2 Résultats

Compréhension des questions

Même si les questions posées dans les exercices informatisés étaient basées sur des études didactiques existantes, nous avons remarqué quelques difficultés de compréhension dues à des problèmes de vocabulaire. Nous avons remédié à ces difficultés en simplifiant les expressions mal comprises. Par exemple, l'expression «durant l'ascension d'une balle» a été remplacée par «lorsque la balle monte».

Mesure de la durée de passation des exercices informatisés

La durée moyenne pour démarrer l'ordinateur, comprendre le fonctionnement du système informatique ForEvaNet et répondre à un premier exercice informatisé est inférieure à vingt minutes. Chaque exercice supplémentaire a ensuite été résolu en moins de dix minutes. Cette durée n'est guère plus importante que celle de la passation d'exercices classiquement donnés par l'enseignant.

L'utilisation de tels exercices est donc réalisable en classe, d'autant plus que l'analyse des réponses est entièrement automatisée et que le nombre d'ordinateurs dans les établissements scolaires augmente.

Étude de la cohérence des résultats obtenus

Pour tester la cohérence des résultats obtenus avec les exercices informatisés, nous avons analysé les conceptions mobilisées par les 108 lycéens de Première Scientifique lors de la passation des cinq exercices informatisés.

Le spectre des conceptions détectées avec cet outil informatisé correspond à celui des études didactiques précédentes. Par exemple, 96 des 108 élèves de Première scientifique ont répondu à l'exercice WAGONS et l'analyse de leurs réponses est la suivante...

Conceptions détectées lors de la résolution de l'exercice WAGONS par 96 élèves

Conceptions correctes	Nombre d'élèves ayant assimilé cette conception correcte		Conceptions erronées	Nombre d'élèves chez qui une conception erronée a été détectée	
		%			%
Les forces sont des modélisations d'interactions	10	10	La force n'est pas exercée par un corps sur un autre, c'est une propriété du corps	14	15
			Les forces se transmettent par l'intermédiaire d'objets	12	13
			Les supports immobiles n'exercent pas de force	30	31
			Existence d'une force après l'interaction	66	69
			Dans une interaction de contact ou dans une collision, seul un des deux corps exerce une force sur l'autre	20	21
Bonne compréhension de la deuxième loi de Newton	22	23	La résultante des forces exercées sur un objet a le même sens que le vecteur vitesse de l'objet (adhérence force-vitesse)	42	44
Bonne compréhension de la troisième loi de Newton dans une collision (lorsque les forces exercées par les deux agents l'un sur l'autre sont explicitées)	54	56	Dans la collision entre wagons, le wagon rouge en mouvement exerce la plus grande force	24	25
			Dans la collision entre wagons, le wagon noir immobile exerce la plus grande force	02	02
La Terre exerce une force à distance sur tous les objets	60	63	La Terre n'exerce pas de force à distance sur tous les objets	33	34

Si on s'intéresse aux 24 élèves pour qui la valeur de la force exercée par le wagon rouge en mouvement sur le wagon noir immobile est plus importante que la valeur de la force exercée par le wagon noir lors de la collision entre les deux wagons, on constate que 14 de ces 24 élèves ont mobilisé dans le même exercice la conception « **Adhérence force-vitesse** » en répondant à d'autres items portant sur l'existence, la valeur, le sens et la direction de forces exercées sur le wagon rouge lancé initialement par un expérimentateur. Les conceptions détectées par ces différentes questions sont donc cohérentes entre elles et avec les résultats issus de la recherche en didactique⁶.

Une étude similaire montre que les quatre autres exercices informatisés donnent également des résultats cohérents et nous permet de conclure que l'utilisation des exercices informatisés ne diminue pas l'éventail des réponses repérées lors d'enquêtes précédentes.

Étude de la fiabilité des résultats obtenus

Nous avons ensuite testé la fiabilité des résultats obtenus avec l'outil informatisé en les comparant avec les conceptions détectées lors des entretiens d'élèves menés à la fin de la passation des exercices. En demandant aux élèves d'expliquer leurs choix de réponses, il est en effet possible de connaître plus précisément les conceptions mobilisées par les élèves pour répondre aux exercices (Blanchet *et al.*, 1987). Les données recueillies à partir des entretiens ont été considérées comme les résultats de référence.

L'analyse des 14 entretiens montre que les élèves n'ont jamais choisi une réponse sur l'ordinateur alors qu'ils souhaitaient en sélectionner une autre. Ils pouvaient également le plus souvent justifier les réponses qu'ils avaient sélectionnées.

Nous avons aussi relevé les conceptions mobilisées par les élèves pour justifier leurs réponses dans les entretiens et nous les avons comparées avec celles recueillies avec les exercices informatisés. Par exemple, les conceptions erronées « **Existence d'une force après l'interaction** » et « **Adhérence force-vitesse** » ont été détectées chez un élève lors de la passation de l'exercice informatisé WAGONS et le module d'analyse a également identifié une bonne compréhension de l'interaction à distance entre la Terre et les objets qui l'entourent et de la troisième loi de Newton lors d'une collision. L'entretien avec cet élève a bien permis de retrouver les mêmes résultats.

(6) D'après plusieurs recherches (Watts, 1983 ; Maloney, 1984 ; Terry et Jones, 1986 ; Caldas et Saltiel, 1995 ; Brasquet, 1999 ; Meltzer, 2005), certains élèves confondent les deux forces exercées par deux objets l'un sur l'autre avec deux forces exercées sur le même objet. Ils considèrent que l'objet en mouvement exerce une plus grande force que l'objet immobile parce que la résultante de ces deux forces doit être, d'après eux, dans la direction et dans le sens du mouvement pour que les objets bougent (adhérence force-vitesse).

Extraits d'un entretien réalisé avec un élève après la passation des exercices informatisés

Existence d'une force après l'interaction	Interviewer : Ensuite, dans la question 3, pour expliquer justement pourquoi le wagon ralentit, tu as choisi l'explication de Claire : c'est-à-dire l'expérimentateur a donné au wagon rouge une force vers la droite qui reste constante mais les frottements freinent le wagon rouge. Alors, est-ce que tu peux nous dire pourquoi tu as choisi cette proposition ? Élève : Oui, la force reste constante à cause du principe d'inertie et donc, le wagon ralentit, c'est donc les frottements qui le freinent.
Adhérence force- vitesse	I : La valeur de la résultante des forces [exercées sur le wagon et dans le sens du mouvement d'après l'élève], tu as indiqué qu'elle diminuait. Est-ce que tu peux expliquer pourquoi elle diminue ? E : Parce que le wagon ralentit.
Bonne compréhension de l'interaction à distance entre la Terre et les objets qui l'entourent	I : Dans la question 1 «Après le lancer du wagon rouge, qui exerce une force sur le wagon rouge ?», tu as choisi la Terre [...] est-ce que tu peux nous expliquer pourquoi [...] ? E : Alors, il y a le poids du wagon rouge, donc qui est exercé par la Terre.
Bonne compréhension de la troisième loi de Newton lors d'une collision	I : Dans la question 5, tu donnes la réponse, pour cette force : elle est égale à 4 newtons. Est-ce que tu peux nous expliquer pourquoi ? E : Parce que la force exercée par le wagon rouge sur le wagon noir [lors de la collision entre les deux wagons], c'est la même que la force exercée par le wagon noir sur le wagon rouge.

De manière générale, si les résultats récoltés lors des interviews sont souvent plus fins et enrichissent ce que les élèves donnent à voir dans les réponses aux exercices informatisés, les conceptions détectées avec les exercices informatisés sont identiques à celles repérées lors des entretiens. La cohérence des résultats obtenus dans les deux études nous permet de conclure que la détection des conceptions avec ces exercices informatisés est fiable.

Conclusion concernant l'utilité des exercices

D'après les tests présentés précédemment, les exercices informatisés sont **fiables**. Ils peuvent aussi être **résolus rapidement** par les élèves et les conceptions détectées sont **cohérentes**. Ces exercices ont permis d'analyser efficacement et automatiquement les productions des élèves afin de détecter leurs conceptions, tout en respectant les contraintes de temps d'enseignement. Cela nous permet de **valider leur utilité**, correspondant à la capacité des logiciels à rendre compte du comportement de l'élève pour établir rapidement le diagnostic demandé par l'enseignant sans que cela ne lui donne du travail supplémentaire. Il est donc possible de développer des exercices informatisés « utiles », c'est-à-dire détectant automatiquement les conceptions de chaque élève. Il reste toutefois à tester leur utilisabilité et leur acceptabilité auprès des élèves et des enseignants.

2.3 Évaluation de l'utilisabilité des exercices informatisés

2.3.1 Méthodologie

L'utilisabilité des exercices informatisés, c'est-à-dire leur facilité d'utilisation et leur attractivité, a été examinée lors de la passation en classe avec 108 élèves de Première S et lors d'une deuxième passation lors de devoirs à la maison avec 24 élèves de Terminale scientifique. Pour cette étude, nous avons analysé des captations d'écran, les interventions orales des élèves et des questionnaires remplis par les lycéens durant ces deux passations.

En ce qui concerne les enseignants, l'utilisabilité a été examinée à partir des entretiens avec les 10 professeurs de lycée et des questionnaires remplis par les 64 enseignants stagiaires. Nous avons ainsi cherché à savoir, dans différents contextes, si ces exercices :

- sont utilisables en classe et en dehors de la classe ;
- sont attrayants et faciles d'utilisation pour les élèves ;
- et si le module d'analyse des réponses des élèves à ces exercices présente des résultats compréhensibles pour les enseignants et les élèves.

2.3.2 Résultats

Étude de l'utilisabilité de l'interface de travail de l'élève

- Le point de vue des enseignants

Lors des entretiens, des professeurs ont déclaré qu'il était difficile d'utiliser convenablement l'interface de travail de l'élève à partir de certains ordinateurs. En effet, les réseaux mis en place dans certains établissements scolaires sont protégés et ne permettent pas toujours l'exécution de programmes provenant du site hébergeant le système ForEvaNet. Trois professeurs ont été surpris par des problèmes d'utilisation des exercices informatisés dans leur lycée alors que tout fonctionnait bien de leur domicile. Pour P1 : « *Avec le premier groupe ça ne s'est pas très bien passé [... alors que] chez moi ça marchait. Le problème c'est que [...] j'ai découvert ainsi la plupart des problèmes avec mes élèves et donc c'était trop tard.* »

Les professeurs qui ont testé ces exercices informatisés dans leur salle de classe avant la séance avec les élèves ont déclaré que la passation des exercices en classe s'était très bien déroulée. Pour P2 : « *d'un point de vue technique, j'avoue que c'est extrêmement fluide. Je n'ai eu aucun problème [...] J'avais un peu regardé l'outil technique [avant mais] j'ai l'impression que l'outil informatique avait un peu disparu et c'est quand même l'objectif à mon avis.* »

Tous les professeurs interrogés ont noté que leurs élèves, plutôt à l'aise avec l'informatique et motivés, n'ont eu aucun problème pour répondre aux exercices informatisés. D'après ces professeurs, l'utilisation de l'outil de suivi par les élèves semble donc se passer convenablement si la salle informatique est préparée avant l'arrivée des élèves.

- Le point de vue des élèves

Lors de la passation en classe, six captations d'écran d'élèves choisis au hasard ont montré que les lycéens observés visionnent la vidéo présentant la situation de départ, répondent aux questions en choisissant une ou plusieurs réponses et passent d'un énoncé à l'autre sans difficulté apparente et sans hésitation particulière. De plus, les élèves ont déclaré dans les entretiens et les questionnaires que le système ForEvaNet était assez intuitif. Par exemple, d'après le recueil des questionnaires distribués à chaque élève :

- 67 % d'entre eux ont noté que le logiciel était facile à comprendre et simple d'utilisation ;
- 75 % ont trouvé l'interface agréable (notamment grâce aux vidéos et aux animations présentes dans les énoncés pour 63 % d'entre eux).

Lors de la passation de ces exercices hors de la classe, les lycéens ont déclaré avoir réussi à répondre sans problème aux questions posées en travaillant sur leur ordinateur personnel ou sur un des ordinateurs à leur disposition dans une salle informatique de leur établissement scolaire. D'après les questionnaires dépouillés, ce travail a « *changé du travail d'ordinaire* » et il « *a beaucoup plu* » à certains élèves. L'interface semble assez agréable car « *les schémas interactifs sont bien (résultante des forces)* » et « *il y a plein de belles images et de vidéos* ». Enfin, on peut noter que des lycéens ont exprimé un grand intérêt pour ce type d'évaluation, notamment parce qu'ils étaient soulagés que ce soit une machine qui ait détecté leurs erreurs et non le professeur. Nous pensons, comme Rebmman (1996), que cela peut permettre une meilleure interactivité intellectuelle entre l'élève et le professeur puisqu'ils ne sont plus en situation frontale mais plutôt partenaires face à l'ordinateur.

Ainsi, nous considérons que l'interface de travail de l'élève est utilisable aussi bien en classe qu'en dehors de la classe et qu'elle est attrayante et facile d'utilisation pour les lycéens.

Étude de l'utilisabilité du module d'analyse des réponses

Après avoir validé l'utilisabilité de l'interface de travail de l'élève, nous nous sommes intéressés à celle du module d'analyse des réponses en termes de conceptions. Pour cela, nous avons analysé les entretiens avec les professeurs de sciences physiques ayant utilisé ou au moins examiné attentivement ce module et nous avons complété ces données avec celles recueillies lors du dépouillement des 64 questionnaires remplis par des professeurs de sciences

physiques stagiaires. Puis nous avons vérifié que les élèves et les professeurs sont capables de comprendre la fenêtre du module présentant leurs conceptions individuelles, ainsi que celle présentant les statistiques d'une classe.

- Le point de vue des enseignants

La plupart des enseignants titulaires (7 sur 10) et 94 % des stagiaires ont déclaré n'avoir aucun problème de compréhension en ce qui concerne la formulation des conceptions présentées dans le module d'analyse. De plus, la très grande majorité des enseignants interrogés a apprécié au moins une des trois fenêtres de présentation du module d'analyse pour les raisons ci-dessous :

- neuf des dix enseignants titulaires interrogés et plus des trois quarts des 64 stagiaires sont intéressés par la fenêtre présentant les conceptions individuelles mobilisées par chaque élève notamment car elle permet de « voir où en est chaque élève, celui qui a des difficultés ou pas » (professeur P5) ; cela peut aussi être utile « pour certains élèves qui sont un peu tangents ou qui ont un projet très particulier, où là je peux peut-être m'appesantir pour voir comment je peux aider ces élèves à progresser » (P10). Il est enfin intéressant « de pouvoir sortir [la feuille] où chaque élève a en fait le listing de ses conceptions parce qu'ensuite on peut confronter l'élève à ses propres conceptions » (P2) ;
- cinq des dix enseignants titulaires interrogés et trois quarts des stagiaires sont intéressés par la fenêtre présentant les différents groupes d'élèves chez qui des conceptions ont été détectées, par exemple parce que cela permet de détecter quels sont les élèves ayant des difficultés sur un point donné et d'adapter son enseignement en conséquence de façon moins fastidieuse qu'avec la fenêtre précédente (pour 30 % des stagiaires) ;
- quatre des dix professeurs titulaires et trois quarts des stagiaires sont intéressés par la fenêtre présentant les conceptions détectées sous forme de statistiques notamment parce que cela permet « de faire le point, de voir en fait globalement quelle était la conception qui était la moins bien passée » (pour le professeur P3 et pour un tiers des stagiaires) et pour qu'« on réinsiste dessus en classe en correction » (pour P10 et pour 14 % des stagiaires).

- Le point de vue des élèves

Les 108 élèves de Première scientifique et les 24 élèves de Terminale S ayant participé aux passations en classe et hors de la classe ont pu consulter sur Internet les fenêtres présentant leurs conceptions détectées par les exercices informatisés. Nous leur avons ensuite demandé leurs impressions sur la présentation de ces résultats lors de plusieurs séances de discussion

collective. La plupart des lycéens ont apprécié la présentation de leurs résultats dans différentes fenêtres et ils ont déclaré comprendre la formulation des conceptions présentées dans le module d'analyse des réponses. Pour vérifier leur interprétation, nous avons interrogé individuellement quelques élèves : leurs réponses ont montré qu'ils avaient effectivement compris les formulations proposées.

Nous avons aussi remarqué qu'il est important de laisser à disposition des élèves non seulement les informations les concernant mais aussi celles qui concernent l'ensemble de la classe car les lycéens souhaitent pouvoir se situer par rapport au groupe classe.

Ainsi, les résultats présentés sont compréhensibles, tant pour les enseignants que pour les élèves, et la grande majorité des enseignants a trouvé au moins une fenêtre de présentation des résultats qui lui convient, ce qui nous permet de valider l'utilisabilité du module d'analyse.

Conclusion concernant l'utilisabilité des exercices informatisés

Malgré quelques problèmes inhérents à l'utilisation de l'informatique et plus spécifiquement d'Internet, la plupart des élèves et des professeurs ont réussi à utiliser l'outil informatisé proposé et une majorité d'entre eux a trouvé l'interface de travail de l'élève attrayante, notamment parce qu'ils avaient la possibilité de visionner des vidéos lors de la lecture des énoncés des exercices. Nous avons donc considéré que l'utilisabilité de cet outil informatisé de détection des conceptions était validée.

2.4 Évaluation de l'acceptabilité des exercices informatisés

Nous avons montré que les exercices informatisés permettent de recueillir rapidement des données pertinentes, riches et fiables pour détecter automatiquement les conceptions mobilisées par les élèves en mécanique. Tricot *et al.* (2003) ont toutefois montré que l'utilité et l'utilisabilité des exercices informatisés ne préjugent pas de leur utilisation en classe par les professeurs. Nous avons donc étudié attentivement leur utilisation (ou non) par les sept professeurs (P1 à P7) ayant eu la possibilité d'utiliser ces exercices avec leurs élèves de Première Scientifique durant une année scolaire.

2.4.1 Méthodologie

D'après Rabardel (1995), les professeurs s'approprient les outils qu'on leur propose en les adaptant à leurs besoins et leurs habitudes de travail. Nous avons donc étudié l'acceptabilité de ces exercices par rapport à leur profil (Rebmann, 2000). En effet, un refus d'utiliser les exercices informatisés par un professeur ne travaillant jamais avec l'outil informatique et ne s'intéressant

pas aux conceptions de ses élèves serait peu surprenant. L'analyse des origines de ce refus apporterait peu d'informations sur l'acceptabilité de cet outil informatisé. En revanche, si ce professeur accepte de changer ses habitudes d'enseignement pour utiliser les exercices informatisés, les raisons invoquées par ce professeur deviennent très intéressantes à étudier.

À l'opposé, un enseignant intéressé par l'informatique et par les conceptions de ses élèves devrait *a priori* être intéressé par l'utilisation de ces exercices informatisés puisque ses connaissances, sa pratique et ses convictions sont très proches de celles requises pour l'utilisation de cet outil. S'il refuse néanmoins d'utiliser les exercices informatisés, les informations recueillies doivent également être analysées attentivement.

2.4.2 Résultats

Les résultats concernant l'acceptabilité des exercices informatisés sont conformes aux habitudes de quatre enseignants interrogés en termes de prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement :

- les deux enseignants P1 et P3 **prenant en compte les conceptions** de leurs élèves et **utilisant souvent l'informatique** ont **utilisé les exercices** informatisés dans leur classe ;
- deux enseignants P6 et P7 **ne prenant jamais en compte les conceptions** de leurs élèves n'ont **pas utilisé les exercices** (P6 n'utilise pas l'informatique avec ses élèves, P7 l'utilise souvent).

En revanche, trois professeurs P2, P4 et P5 ont **utilisé les exercices informatisés** en classe alors qu'ils **prennent habituellement peu ou pas en compte les conceptions** de leurs élèves dans l'enseignement (P2 et P4 utilisent souvent l'informatique avec leurs élèves, P5 l'utilise plus rarement).

2.4.3 Analyse des résultats

Les deux enseignants P1 et P3 **prenant en compte les conceptions** de leurs élèves et utilisant **souvent l'informatique** ont accepté, comme nous l'avions prévu *a priori*, d'utiliser les exercices informatisés :

- soit pour détecter plus rapidement les conceptions des élèves : « Moi à la base ça m'a intéressé pour la détection de conceptions qui ne sont pas toujours évidentes a priori et surtout personnalisée et je n'ai pas le temps en classe de faire une analyse aussi fine [...] alors que] ce sont quand même des conceptions qui sont extrêmement importantes et sur lesquelles on rame en Terminale [...] Honnêtement, si je devais faire le même travail à la main, ça me prendrait un temps fou » (professeur P1) ;

- soit pour travailler en classe avec des ordinateurs : « J'étais curieuse de voir comment mes élèves pouvaient réagir au fait de faire des exercices non pas avec un stylo et une feuille de papier mais directement sur ordinateur » (P3).

D'autre part, toujours conformément aux prévisions, deux professeurs P6 et P7 n'ont pas souhaité modifier leurs habitudes d'enseignement pour utiliser les exercices informatisés proposés malgré un environnement de travail favorable avec un équipement informatique correct. Le professeur P6 est réfractaire à l'utilisation de l'informatique en classe et à la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement : « *Je ne l'utilise pas parce que [...] je ne suis pas assez à l'aise pour maîtriser un TP avec l'utilisation de l'informatique [...] Je trouve qu'une réflexion sur papier sera plus durable que sur un écran parce qu'il y a le côté jeu [...] Ce n'est pas assez approfondi, je crois, avec l'utilisation de l'ordinateur [...] De plus,] je ne connais pas les erreurs de raisonnement de chaque élève [...] mais là je dois dire que moi j'essaie de leur montrer ce qui est juste et qu'ils essaient de s'y habituer parce que moi c'est comme ça, je me suis habitué aux choses justes qui m'ont été dites et après les choses fausses que j'ai pu avoir avant ne sont plus là.* »

Le professeur P7, enthousiaste pour utiliser l'informatique en classe mais ne prenant jamais en compte les conceptions de ses élèves, n'a pas non plus utilisé les exercices informatisés avec ses élèves : « *Je n'ai pas le temps [...] d'intégrer ça dans ma progression cette année [...] pour des contingences d'emploi du temps et autres cours qui ont dû sauter.* » Les raisons invoquées concernent le temps de préparation mais aussi le temps pour faire travailler ses élèves en classe. Ainsi, même si nous avons réduit le plus possible la durée de passation des exercices informatisés, celle-ci semble encore trop longue pour certains professeurs, surtout s'ils ont la conviction que la prise en compte des conceptions des élèves n'apporte rien à l'apprentissage des sciences physiques.

L'étude des trois derniers enseignants P2, P4 et P5 nous a intéressé tout particulièrement : il s'agit de ceux qui ont utilisé les exercices informatisés alors qu'ils sont habituellement réticents à prendre en compte les conceptions de leurs élèves dans l'enseignement. Deux des trois enseignants P2 et P4 se déclarent enthousiastes pour utiliser l'informatique en classe et il semble qu'ils aient d'abord choisi d'utiliser l'outil pour cette raison afin de « *varier l'enseignement* » et de travailler « *de façon plus ludique peut-être* » (P4). Pour le professeur P2 : « *dans la mesure où l'informatique est présente partout, de la Poste en passant par les supermarchés, [...] pour moi, c'est important que, dans l'enseignement de la physique, on cherche tous les moyens qui soient possibles pour insérer l'outil informatique. C'est sûr que c'est ma motivation n° 1. Ensuite je pense que les TP de mécanique sont, hors de l'outil informati-*

que, relativement ennuyeux [... De plus, l'utilisation de l'informatique] détend un peu la relation [professeur-élèves et ...] cette petite sensation de remise à niveau ou d'égalité entre les élèves et l'enseignant à ce moment là est profitable, je pense, à tout le monde [... d'autant plus que] comme certains élèves sont plus calés en informatique que d'autres, ils peuvent s'entraider. »

Enfin, le fait de pouvoir donner les exercices informatisés de mécanique en tant que devoirs à la maison a été le facteur clef pour le professeur P5 qui n'est pas à l'aise avec l'outil informatique alors qu'elle a la conviction que son utilisation peut être utile pour ses élèves. Elle a ainsi indiqué le site où les élèves peuvent répondre aux exercices informatisés sans être confrontée directement à l'informatique avec sa classe.

Conclusion concernant l'acceptabilité des exercices

On constate tout d'abord que le profil des enseignants interrogés dans cette étude ne permet pas systématiquement de prévoir s'ils utiliseront ou non les exercices informatisés. Si les professeurs P1 et P3, avec un profil identique, ont tous les deux utilisé l'outil informatisé, ce n'est pas le cas pour P4 et P7 qui ont agi différemment alors que ces deux enseignants ne prenaient jamais en compte les conceptions de leurs élèves et qu'ils utilisaient souvent l'informatique en classe.

La plupart des enseignants interrogés (5 sur 7) a toutefois utilisé l'outil malgré « *la forme des exercices quand même très particulière* » (réaction du professeur P8). Ainsi certains professeurs de sciences physiques peuvent accepter d'utiliser les exercices informatisés développés malgré un intérêt limité pour la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement car certains sont notamment intéressés par l'utilisation de l'informatique en classe.

3. Synthèse

Nous avons tout d'abord montré dans cette étude qu'il est possible de développer des exercices informatisés permettant de détecter automatiquement les conceptions mobilisées par les élèves dans un contexte donné. Cet outil informatisé de suivi des conceptions des élèves en mécanique est utile et utilisable par les élèves aussi bien en classe qu'en dehors de la classe, ce qui fournit aux professeurs les moyens d'une évaluation plus significative de l'enseignement qu'avec des exercices traditionnels.

Bien entendu, cet outil n'a pas été accepté par tous les enseignants interrogés. Cependant, certains professeurs réticents pour intégrer les conceptions de leurs élèves dans l'enseignement ont tout de même utilisé les exercices car l'aspect informatisé les a séduits. Certes, il ne s'agit pas de généraliser

nos résultats à l'ensemble de la population enseignante dans la mesure où les professeurs interrogés étaient volontaires et les effectifs réduits. Néanmoins, on constate que **l'informatique peut être un catalyseur⁷ pour l'acceptabilité d'un tel outil de suivi des conceptions des élèves.**

Pour poursuivre ce travail, il faut examiner dans quelle mesure l'utilisation de ces exercices modifie les pratiques des enseignants. Une première étude exploratoire a déjà été réalisée et a montré que certains des professeurs ayant utilisé les exercices informatisés en classe ont effectivement modifié leurs habitudes d'enseignement concernant la prise en compte des conceptions d'élèves (Coppens, 2007a). Il faudrait maintenant poursuivre et affiner cette analyse des pratiques d'enseignants.

En termes de développement, il serait pertinent de proposer aux professeurs des séquences d'enseignement permettant de remédier aux conceptions erronées des élèves, ou de façon plus précise aux facettes de connaissances (Akçaoglu Küçüközer, 2005), détectées par ces exercices informatisés.

Enfin, dans l'optique d'une diffusion plus large des recherches en didactique dans les classes, il serait intéressant d'élaborer et de tester d'autres exercices informatisés de ce type pour vérifier si cela peut effectivement aider des professeurs à mettre en place un enseignement se basant davantage sur les résultats des recherches existantes. De tels projets se développent en Alsace par exemple où deux groupes d'études et de recherche s'inspirent des travaux présentés dans cet article pour analyser instantanément et automatiquement des réponses individuelles d'élèves du primaire et du secondaire en termes de conceptions dans différents domaines de la physique.

4. Bibliographie

- AKÇAOĞLU KÜÇÜKÖZER H.A. (2005). *L'étude de l'évolution de la compréhension conceptuelle des élèves avec un enseignement : cas de la mécanique en 1^{re} S*. Thèse de doctorat, université Lumière-Lyon 2.
- BASTIEN C. & SCAPIN D. (2001). Évaluation des systèmes d'information et critères ergonomiques. In C. Kolski (éd.), *Environnements évolués et évaluation de l'IHM, Interaction homme-machine pour les systèmes d'information*, vol. 2 (p. 53-79). Paris : éditions Hermes.
- BLANCHET A., GHIGLIONE R., MASSONAT J. & TROGNON A. (1987). *Les techniques d'enquêtes en sciences sociales*. Paris : Dunod.
- BRASQUET M. (1999). Du côté de la recherche en didactique. Actions, interactions et schématisation. *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 816, p. 1220-1236.
- CALDAS H. & SALTIEL É (1995). Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, n° 6, p. 55-71.

(7) Nous utilisons le terme « catalyseur » au sens figuré : « élément qui provoque une réaction par sa seule présence ou par son intervention » (*Le Petit Larousse illustré*, 2006).

- CARO S. & BÉTRANCOURT M. (1998). Ergonomie des documents techniques informatisés : expériences et recommandations sur l'utilisation des organisateurs para-linguistiques. In A. Tricot & J.-F. Rouet (éd.), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*. Paris : éditions Hermes, p. 123-138.
- CHANG H.-P., CHEN J.-Y., GUO C.-J., CHEN C.-C., CHANG S.-H., LIN S.-H., SU W.-J., LAIN K.-D., HSU S.-Y., LIN J.-L., CHEN C.-C., CHENG Y.-T., WANG L.-S & TSENG Y.-T. (2007). Investigating Primary and Secondary Students' Learning of Physics Concepts in Taiwan. *International Journal of Science Education*, vol. 29, n° 4, p. 465-482.
- CHAPUT N. & BIRON D. (2000). Aperçu des avantages et des inconvénients des conférences informatisées et des outils hypermédia dans la formation des maîtres. *Didaskalia*, n° 17, p. 161-171.
- CHIU M.-H. (2007). A National Survey of Students' Conceptions of Chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, vol. 29, n° 4, p. 421-452.
- COPPENS N. & MUNIER V. (2005). Évaluation d'un outil méthodologique, le « double QCM », pour le recueil de conceptions et l'analyse de raisonnements en physique. *Didaskalia*, n° 27, p. 41-77.
- COPPENS N. (2007a). *Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique : développement et usages d'exercices informatisés*. Thèse de doctorat, université Paris-Diderot-Paris 7 (disponible en ligne à l'adresse : <<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00203891/fr/>>).
- COPPENS N. (2007b). Comment détecter les conceptions des élèves en mécanique ? In *Actes des 55^e journées nationales de l'Union des professeurs de physique et de chimie*, Paris, 26-30 octobre 2007.
- COULAUD M. (2005). *Évaluer la compréhension des concepts de mécanique chez des élèves de seconde : développement d'outils pour les enseignants*. Thèse de doctorat, université Lumière-Lyon 2.
- DE KETELE J.-M. & GÉRARD F.-M. (2005). La validation des épreuves d'évaluation selon l'approche des compétences. *Mesure et évaluation en éducation*, vol. 28, n° 3, p. 1-26.
- EL JAAFARI M. (2004). Place du diagnostic dans l'activité de l'enseignant (le cas de l'enseignant de mathématiques de collège). Mémoire de maîtrise, université Vincennes-Saint-Denis-Paris 8.
- GUILLAUD J.-C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*. Thèse de doctorat, université Claude-Bernard-Lyon 1.
- GYSELINCK V., EHRlich M.-F., CORNOLDI C., DE BENI R. & DUBOIS V. (1998). L'intégration d'informations verbales et iconiques dans la compréhension de notions scientifiques : prendre en compte les contraintes cognitives des apprenants. In J.-F. Rouet & B. de la Passardière (éd.), *Hypermédias et Apprentissages 4, Actes du quatrième Colloque Hypermédias et apprentissages*. Poitiers, Paris : EPI et INRP, p. 187-197.
- HESTENES D., WELLS M. & SWACKHAMER G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, p. 141-157.
- JEAN-DAUBIAS S. (2001). Transmission d'informations complexes : le cas de profils d'élèves construits automatiquement et transmis à l'enseignant. In *Actes de la conférence Nîmes TIC 2001*, p. 21-26.
- JEAN-DAUBIAS S. (2002). Un système d'assistance au diagnostic de compétences. In *Actes du 13^e Congrès francophone RFA, Angers*, vol. 3, p. 1053-1061.
- KOLSKI C. (1993). *Ingénierie des interfaces homme-machine : conception et évaluation*. Paris : éditions Hermes.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.
- LE PETIT LAROUSSE ILLUSTRÉ (2006). Paris : Larousse.
- MALONEY D.P. (1984). Rule-governed approaches to physics-Newton's third law. *Physics Education*, vol. 19, p. 37-42.

- MAROY C. (2005). Les évolutions du travail enseignant en Europe. Facteurs de changement, incidences et résistances. *Les Cahiers de recherche en éducation et formation*, n° 42, p. 1-35.
- McCLOSKEY M. (1983). L'intuition en physique. *Pour la science*, n° 68, p. 68-76.
- MELTZER D.E. (2005). Relation between students' problem-solving performance and representational format. *American Journal of Physics*, 73 (5), p. 463-478.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2000). Programmes de la classe de Première, physique-chimie, série scientifique et de la classe de Première, enseignement scientifique, série littéraire enseignement obligatoire. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, n° 7 du 31 août 2000, hors-série.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2001a). Programmes de la classe de Seconde générale et technologique, physique-chimie. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, n° 2 du 30 août 2001, hors-série.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2001b). Programmes de l'enseignement de physique-chimie en classe Terminale de la série scientifique. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, n° 4 du 30 août 2001, hors-série.
- RABARDEL P. (1995). *Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- REBMANN G. (1996) Un test de rentrée à l'Université, *Didaskalia*, n° 8, p. 175-186.
- REBMANN G. (2000). Investigation of actual use of informatic tools by science teachers: the French case. In European Commission – Science Teacher Training in an Information Society (STTIS), F. Stylianidou, J. Ogborn, O. Andresen, E. Balzano, G. Giberti, R. Gutiérrez, S. Dankert Kolsto, G. Monroy, O. Pérez, R. Pinto, A. Quale, G. Rebmann & E. Sassi, *The nature of use by science teachers of informatic tools*, Transversal Report on WP1.2, juin 2000, p. 88-102.
- ROUET J.-F., CHOPLIN H. & DUBOIS V. (2001). Effets de l'imagerie et du contexte de tâche sur l'apprentissage à partir de séquences multimédias. In E. De Vrie, J.-P. Pernin, & J.-P. Peyrin, *Hypermédiat et apprentissages 5, Actes du cinquième colloque*, Grenoble, 9-11 avril 2001. Paris : INRP et EPI, p. 183-196.
- SENACH B. (1993). L'évaluation ergonomique des interfaces homme-machine. In J.-C. Spérando, *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques*. Toulouse : Octares éditions, p. 69-122.
- TERRY C. & JONES G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, vol. 8, n° 3, p. 291-298.
- TREAGUST D. F. & CHANDRASEGARAN A. L. (2007). The Taiwan National Science Concept Learning Study in an International Perspective. *International Journal of Science Education*, vol. 29, n° 4, p. 391-403.
- TRICOT A., PLÉGAT-SOUTJIS F., CAMPS J.-F., AMIEL A., LUTZ G. & MORCILLO A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (éd.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Actes de la conférence EIAH 2003*, Strasbourg, 15-17 avril 2003. Paris : ATIEF-NRP, p. 391-402.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en Physique, la part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck.
- VIENNOT L. (2002). *Enseigner la physique*. Bruxelles : De Boeck.
- WATTS D. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, vol. 4, p. 217-230.
- WRIGHT P., MILROY R. & LICKORISH A. (1999). Static and animated graphics in learning from interactive texts. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 14, n° 2, p. 203-224.