

# Évaluation des conceptions alternatives en biologie par l'utilisation d'inventaires de concepts

Annie Champagne Queloz - [champagne@imsb.biol.ethz.ch](mailto:champagne@imsb.biol.ethz.ch)

Ernst Hafen - [hafen@imsb.biol.ethz.ch](mailto:hafen@imsb.biol.ethz.ch)

Katja Köhler - [koehler@imsb.biol.ethz.ch](mailto:koehler@imsb.biol.ethz.ch)

Center for Active Learning (CAL), ETH Zürich, Switzerland

**Pour citer cet article :** Champagne Queloz, A., Hafen, E., & Köhler K. (2018). Évaluation des conceptions alternatives en biologie par l'utilisation d'inventaires de concepts. *Évaluer. Journal international de recherche en éducation et formation*, 4(1), 3-19.

## Résumé

Les conceptions alternatives sont des raisonnements erronés que les apprenants se forgent, après un enseignement notamment, pour comprendre un savoir savant (scientifique) ou enseigné. Si celles-ci ne sont pas évaluées et prises en compte en classe, ces conceptions alternatives ont tendance à persister et même à dominer les savoirs approuvés. De nombreuses conceptions alternatives peuvent entraver l'enseignement de la biologie et peuvent nuire à son apprentissage. L'évaluation de la prévalence et de la persistance de telles conceptions alternatives peut se faire par l'utilisation d'inventaires de concepts. Ces questionnaires à choix multiples sont constitués de questions et de réponses qui s'inspirent de conceptions alternatives authentiques, révélées lors d'interviews faites avec des étudiants dans un cadre de recherche. Dans de nombreuses universités, les résultats obtenus lors de la passation de tels inventaires de concepts ont catalysé d'importantes réformes dans l'enseignement et ont influencé l'élaboration de certains programmes d'études. Malgré de notables publications en français en didactique de la biologie sur les conceptions alternatives, l'utilisation des inventaires de concepts est rarement diffusée dans la littérature scientifique francophone. Pourtant, ces questionnaires sont des outils pédagogiques simples et rapides pour évaluer la présence de telles conceptions. Dans cette note de synthèse, nous introduisons ce mode d'évaluation des conceptions alternatives en biologie et présentons un exemple de mise en œuvre dans une université en Suisse.

## Mots clés

Inventaires de concepts, conceptions alternatives, enseignement de la biologie.

### **Abstract**

Alternative conceptions (often referred to as misconceptions) are erroneous beliefs that learners develop to understand the scientific concepts taught. If these misunderstandings are not evaluated and taken into account in class, they tend to persist and even dominate the authentic knowledge. Many alternative conceptions can harm the teaching of biology and hinder learning. The prevalence and persistence of such alternative conceptions can be evaluated using concept inventories, multiple-choice questionnaires consisting of questions and answers based on authentic alternative conceptions revealed in interviews with students in a research setting. In many universities, the results obtained from such concept inventories have catalyzed important educational reforms and have influenced the development of study programs. Although there are notable French publications on alternative conceptions in the didactics of biology, the use of concept inventories is rarely reported in the French scientific literature. However, these questionnaires are simple and fast didactic tools to evaluate the presence of such alternative conceptions. In this summary note, we describe this mode of evaluation of alternative conceptions in biology and present an example of its implementation in a university in Switzerland.

### **Keywords**

Inventories of concepts, alternative conceptions, teaching of biology.

## 1. Introduction

L'apprentissage de la biologie est parfois entravé par des conceptions alternatives, c'est-à-dire des conceptions fausses partagées par un grand nombre d'étudiants et même par certains enseignants (Kampourakis, Silveira & Strasser, 2016 ; Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). Elles sont souvent attribuables, par exemple, au langage de tous les jours ou aux analogies réductionnistes utilisées pour illustrer des processus biologiques, chimiques ou physiques abstraits (Cormier, 2012 ; Duit, 1991 ; Orgill, Bussey & Bodner, 2015 ; Prince, Vigeant & Nottis, 2012 ; Zohar & Ginossar, 1998). Ces raisonnements erronés font alors obstacle à la compréhension authentique du savoir scientifique et peuvent même nuire au jugement critique et citoyen (lire Perez, 2007) sur les idées reçues en génétique ou encore Dagorn (2016) sur les idées reçues relatives à la vaccination). L'enseignant doit porter une attention particulière à de telles conceptions alternatives, car elles ont tendance à résister si celles-ci ne sont pas prises en compte (Schneider & Stern, 2010). L'évaluation des conceptions alternatives peut être réalisée soit en interrogeant oralement les étudiants, soit par l'usage de questionnaires construits à partir de raisonnements d'étudiants. Ils sont appelés « inventaire de concepts », une traduction de l'anglais « *concept inventories* » (Couch, Wood & Knight, 2015 ; D'Avanzo, 2008 ; Garvin-Doxas, Klymkowsky & Elrod, 2007 ; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992 ; Treagust, 1988). Ces questionnaires à choix multiples sont conçus pour évaluer la prévalence de conceptions alternatives et ont été validés par une approche scientifique approuvée. Plus précisément, les questions et les réponses sont inspirées de conceptions alternatives véritables mises en évidence lors d'interviews d'étudiants dans un cadre de recherche.

L'évaluation des conceptions alternatives par l'utilisation d'inventaires de concepts est une approche pédagogique bien présente dans la littérature scientifique anglo-saxonne. Diverses disciplines sont concernées comme les sciences physiques, la chimie, les mathématiques et la biologie. Leur utilisation a permis de révéler de nombreuses conceptions alternatives chez des étudiants à différents niveaux de scolarité. Depuis les années 2000, plus d'une vingtaine de questionnaires ont été développés en biologie et biochimie (voir tableau 1, à la page 10 de cette note de synthèse). Cependant, ces questionnaires sont uniquement disponibles en anglais, limitant ainsi leur usage dans les établissements scolaires francophones. Par conséquent, l'utilisation de ces outils pédagogiques est encore peu rapportée dans la littérature scientifique francophone. Toutefois, il est intéressant de constater qu'en 1993, Thérer (1993, p. 7) mentionnait l'importance d'identifier les conceptions alternatives d'étudiants en dressant « une sorte d'inventaire des représentations les plus fréquentes ». Le plus connu de ces questionnaires, le Force Concept Inventory (FCI), utilisé pour évaluer les idées fausses liées aux concepts de base de la théorie newtonienne, a été l'objet de publications dans quelques revues scientifiques francophones (Lasry, Guillemette, Dugdale, Charles & Mazur, 2016 ; Parmentier & Lamine, 2015 ; Périard, Vaillancourt & Cauchy, 2001). La faible performance des étudiants à répondre correctement aux questions du FCI a été alarmante à un point tel qu'elle a catalysé des mesures importantes pour réformer l'enseignement de la physique dans les établissements où ce questionnaire a été utilisé. À notre connaissance, pour l'enseignement de la biologie, aucune publication scientifique francophone ne concerne l'utilisation des inventaires de concepts et les résultats qui en découlent. Des études montrent tout de même la prévalence de certaines conceptions alternatives en biologie en France, en Suisse et au Québec, et sans doute ailleurs dans la francophonie (Astolfi, 1990 ; Clément, 1998 ; Kampourakis *et al.*, 2016 ; Lombard & Schneider, 2013 ; Simard, Harvey & Samson, 2014). Dans ces études, les raisonnements et les conceptions alternatives ont été révélés lors d'interviews avec des étudiants, par des observations en classe, ou par l'utilisation de cartes conceptuelles, des approches plutôt laborieuses avec de grands groupes d'étudiants. De plus, de nombreuses

publications francophones notables en didactique de la biologie soulèvent la problématique des conceptions alternatives ou des obstacles épistémologiques de l'apprentissage en biologie (Astolfi, 1992 ; Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Clément, 1991 ; Giordan, Girault & Clément, 1994 ; Simard *et al.*, 2014). Toutefois, aucune ne cible l'utilisation des inventaires de concepts dans des cours de biologie. Pourtant, ces questionnaires sont un outil pédagogique simple et rapide pour évaluer la prévalence et la persistance de conceptions alternatives scientifiquement reconnues.

Cette note de synthèse s'articule autour de deux axes, le premier axe étant la présentation d'une revue de la littérature touchant l'évaluation des conceptions alternatives en biologie par l'utilisation d'inventaires de concepts. Le second axe est la présentation d'un exemple de mise en œuvre de ce type de questionnaires dans une université en Suisse.

## 2. Les conceptions alternatives sont un frein à l'apprentissage

Les conceptions alternatives sont des raisonnements faux, qui ne correspondent pas au concept scientifiquement approuvé, qu'on peut éventuellement se forger pour comprendre un concept (Abraham, Perez & Price, 2014 ; Arnaudin & Mintzes, 1985 ; Cormier, 2012 ; Giordan *et al.*, 1994 ; Treagust & Duit, 2008 ; Wandersee *et al.*, 1994). Autrement dit, ce sont des conceptions erronées. Toutefois, l'expression « conception erronée » (tout comme sa traduction anglaise, *misconception*) a une connotation négative qui semble indiquer que l'apprenant est le seul responsable de cette représentation fautive, alors que les sources d'erreurs peuvent être diverses (Cormier, 2012 ; Wandersee *et al.*, 1994). Ces sources peuvent être l'observation naïve du monde, le langage de tous les jours, la culture populaire ou encore, l'enseignement lui-même. Par exemple, l'utilisation d'analogies réductrices pour illustrer des phénomènes abstraits peut engendrer des conceptions alternatives. En anglais, l'expression suggérée par Cooper, Grove, Underwood & Klymkowsky (2010) est *didaskalogenic misconceptions*, c'est-à-dire des conceptions erronées générées par l'enseignement. L'expression « conception alternative » sera préférablement employée dans cette note de synthèse (Cormier, 2012).

Les conceptions alternatives passent souvent inaperçues et persistent si elles ne sont pas prises en compte lors de l'enseignement (Schneider & Stern, 2010). Shtulman et Valcarcel (2012) ont démontré que de telles conceptions peuvent même coexister pendant l'apprentissage de savoirs scientifiques et n'être jamais totalement supprimées si non ciblées dans l'enseignement. Les résultats présentés par ces auteurs montrent que les conceptions alternatives dominent les savoirs scientifiques dans des situations de stress (par exemple, une limite de temps). Les conceptions alternatives peuvent d'ailleurs être associées à la théorie des obstacles d'apprentissage telle que présentée par Jean-Pierre Astolfi (1992). Selon Astolfi, un obstacle réfère à une représentation éloignée d'un savoir scientifique approuvé, qui est maintenue par nécessité ou par « confort intellectuel », et donc résistante à la réfutation. En contrepartie, l'abstraction et/ou la complexité de certains savoirs scientifiques peuvent rendre leur enseignement et leur apprentissage difficile. Par conséquent, les enseignants utilisent des analogies ou des métaphores simplifiées ou plutôt générales pour assurer un certain niveau de compréhension. Toutefois, ces représentations figurées ou schématisées sont parfois loin de l'authenticité du savoir scientifique ou du savoir enseigné (Di Sessa, 1993). Les limites des analogies devraient donc être expliquées. En effet, la façon dont les étudiants interprètent les analogies peut ne pas correspondre ou même entrer en conflit avec l'objectif éducatif du modèle pédagogique (Niebert, Marsch & Treagust, 2012 ; Orgill *et al.*, 2015). Par exemple, certains étudiants imaginent un modèle géométrique pour représenter la liaison d'une enzyme à sa molécule réceptrice (idée de pièces de puzzle ou le modèle clef-serrure), ignorant ainsi les forces d'attraction et de répulsion d'origine électrostatique (Bretz & Linenberger, 2012 ; Orgill & Bodner, 2007). La

présence de certaines figures dans les manuels scolaires et les analogies utilisées par les enseignants peuvent alors induire cette conception alternative (Orgill *et al.*, 2015). Les apprenants sont d'ordinaire satisfaits par cette simplification et sont souvent peu préparés à assumer une pensée complexe (qui réfère à la considération d'un système ou d'un processus dans son ensemble) (Jörg, 2009 ; Morin, 2014 ; Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982 ; Vygotsky, 1926/1997). Par conséquent, ces conceptions alternatives sont donc parfois fortement ancrées. En effet, les apprenants ne réalisent pas nécessairement l'importance de restructurer leur compréhension conceptuelle d'une théorie donnée (soit simpliste ou soit erronée) vers un modèle plus savant qui traduit les interactions entre divers éléments (souvent transdisciplinaire) (Morin, 2014 ; Posner *et al.*, 1982).

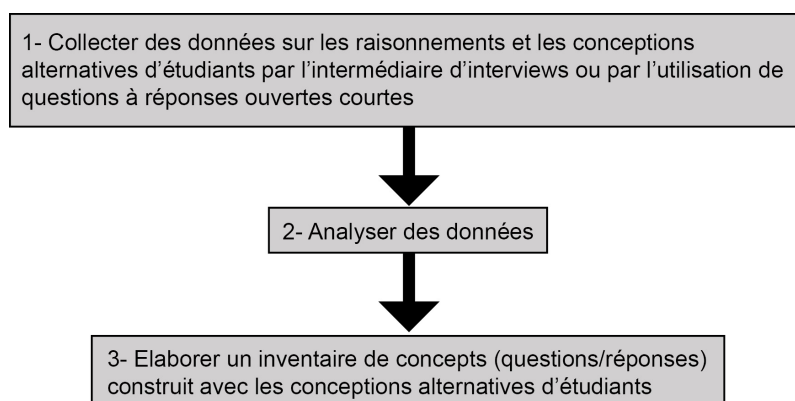
### 3. Évaluation des conceptions alternatives par les inventaires de concepts

L'évaluation des conceptions alternatives peut se faire par différentes approches. La plus accessible est l'enseignement socratique, un processus qui amène l'enseignant à questionner les étudiants en classe et à discuter avec eux de leur compréhension d'un phénomène donné (Bryfczynski, Pargas & Cooper, 2012 ; Stansfield, 2013). Les réponses des étudiants peuvent alors servir de base pour construire le contenu du cours (Novak, 2011). Toutefois, tenir compte de la compréhension authentique de tous les étudiants est plutôt difficile dans les grands groupes et, de plus, certains étudiants peuvent tout simplement ne pas être motivés à s'exprimer devant les autres.

Une autre approche de plus en plus répandue est l'utilisation de questionnaires appelés « inventaires de concepts » (traduit de l'anglais « *concept inventories* ») (Adams & Wieman, 2011 ; Couch *et al.*, 2015 ; Garvin-Doxas *et al.*, 2007 ; Hestenes *et al.*, 1992 ; Tibell & Rundgren, 2010 ; Treagust, 1988). Déjà en 1971, cette approche était introduite par Pinchas Tamir (Tamir, 1971). L'inventaire de concepts le plus connu est certainement le *Force Concept Inventory* (FCI) développé par Hestenes, Wells et Swackhamer (1992). L'administration du FCI à des étudiants universitaires a permis de révéler d'importantes lacunes de compréhension de principes de base en physique (la mécanique newtonienne). Pourtant, on considère souvent à tort que ces concepts sont bien acquis par des étudiants inscrits au niveau universitaire (Hestenes *et al.*, 1992 ; Parmentier & Lamine, 2015). Ces résultats très faibles au questionnaire FCI ont motivé des établissements tels que les universités Harvard et Colorado Boulder aux États-Unis et d'autres, à réformer l'enseignement de la physique mécanique (Crouch & Mazur, 2001 ; Hake, 1998 ; Lasry *et al.*, 2016 ; Parmentier & Lamine, 2015 ; Pollock, Marx & Heron, 2005).

L'issue ultime de l'apprentissage est le transfert des connaissances (Tardif & Meirieu, 1996). Jacques Tardif et Philippe Meirieu estiment (1996, p. 32) que le transfert des connaissances « se produit lorsqu'une connaissance acquise dans un contexte particulier peut être reprise d'une façon judicieuse et fonctionnelle dans un nouveau contexte, lorsqu'elle peut être recontextualisée ». Un inventaire de concepts peut donc servir à évaluer l'habileté des apprenants à faire ce transfert des connaissances d'un contexte A à un contexte B. En effet, le questionnaire doit présenter plusieurs situations différentes mais analogues au niveau du raisonnement. L'idée est de suggérer des situations amenant à recontextualiser les connaissances acquises et ceci pour permettre d'évaluer l'authentique compréhension des apprenants.

Ce qui fait aussi la spécificité des inventaires de concepts réside dans la construction des réponses distractives (les « mauvaises » réponses, ou plus précisément, les conceptions alternatives). Les réponses distractives des inventaires de concepts sont construites à partir des conceptions alternatives mises à jour lors d'entrevues avec les étudiants (Figure 1).



**Figure 1.** Développement standard des inventaires de concepts

Malgré la grande diversité des inventaires de concepts disponibles, tous sont en anglais, et des traductions appropriées sont requises pour éviter de dénaturer les questions et les choix de réponses de la version originale (OCDE, 2014). La traduction (tout comme la conception de ces questionnaires) demande un certain investissement de temps et/ou d'argent. Depuis le début des années 2000, la disponibilité d'inventaires de concepts s'est grandement élargie (tableau 1). La grande majorité de ces questionnaires ont été développés pour des étudiants aux niveaux préuniversitaire et universitaire.

**Tableau 1.** Inventaires de concepts disponibles pour l'évaluation de conceptions alternatives en biologie ou en biochimie (les noms des inventaires de concepts n'ont pas été traduits en français)

| Nom des inventaires de concepts                  | Description : concepts évalués                                                                                               | Références                                     |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Biological Concepts Instrument                   | Divers concepts évalués: processus évolutifs, structures et fonctions des molécules, énergie, génétique, design expérimental | (Klymkowsky, Underwood & Garvin-Doxas, 2010)   |
| Biological Experimental Design Concept Inventory | Design expérimental                                                                                                          | (Deane, Nomme, Jeffery, Pollock & Birol, 2014) |
| Central Dogma Concept Inventory                  | Théorie fondamentale de biologie moléculaire : ADN → ARN → Protéines                                                         | (Newman, Snyder, Fisk & Wright, 2016)          |
| Chemical Concepts Inventory                      | Chimie générale : propriétés et fonctions des atomes et des molécules                                                        | (Barbera, 2013)                                |
| Conceptual Inventory of Natural Selection        | Sélection naturelle                                                                                                          | (Anderson, Fisher & Norman, 2002)              |
| Diffusion and Osmosis Diagnostic Test            | Diffusion et osmose                                                                                                          | (Odom & Barrow, 1995)                          |
| Dominance Concept Inventory                      | Dominance génétique                                                                                                          | (Abraham <i>et al.</i> , 2014)                 |
| Dynamics Concept Inventory                       | Mécanique classique (statique/cinématique) : mouvement                                                                       | (Gray <i>et al.</i> , 2005)                    |
| Enzyme-Substrate Interactions Concept Inventory  | Interactions enzymatiques                                                                                                    | (Bretz & Linenberger, 2012)                    |

|                                                    |                                                               |                                        |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Evolutionary Development Biology Concept Inventory | Biologie évolutive du développement                           | (Perez <i>et al.</i> , 2013)           |
| Genetic Drift Inventory                            | Dérive génétique                                              | (Price, <i>et al.</i> , 2014)          |
| Genetics Concept Assessment                        | Génétique générale                                            | (Smith, Wood & Knight, 2008)           |
| Genetics Literacy Assessment Instrument            | Génétique générale                                            | (Bowling <i>et al.</i> , 2008)         |
| Heat and Energy Concept Inventory                  | Physique : thermodynamique (chaleur, température et énergie)  | (Prince <i>et al.</i> , 2012)          |
| Homeostasis Concept Inventory                      | Homéostasie des systèmes biologiques                          | (McFarland <i>et al.</i> , 2017)       |
| Host-Pathogen Interactions Concept Inventory       | Interactions hôtes pathogènes                                 | (Marbach-Ad <i>et al.</i> , 2009)      |
| Introductory Molecular and Cell Assessment         | Biologie moléculaire et cellulaire                            | (Shi <i>et al.</i> , 2010)             |
| Lac Operon Concept Inventory                       | Expression de l'opéron lactose                                | (Stefanski & Gardner, 2016)            |
| Meiosis Concept Inventory                          | Méiose                                                        | (Kalas, O'Neill, Pollock & Biro, 2013) |
| Molecular Biology Capstone Assessment              | Biologie moléculaire et cellulaire                            | (Couch <i>et al.</i> , 2015)           |
| Open Response Instrument                           | Sélection naturelle                                           | (Nehm & Schonfeld, 2008)               |
| Photosynthesis: Diagnostic Question Clusters       | Photosynthèse                                                 | (Parker <i>et al.</i> , 2012)          |
| Osmosis and Diffusion Conceptual Assessment        | Osmose et diffusion                                           | (Fisher, Williams & Lineback, 2011)    |
| RaProEvo                                           | Hasard et probabilité de l'évolution                          | (Fiedler, Tröbst & Harms, 2017)        |
| Redox Concept Inventory                            | Réactions d'oxydation-réduction                               | (Brandriet & Bretz, 2014)              |
| Thermal and Transport Science Concept Inventory    | Transferts thermiques, thermodynamique, mécanique des fluides | (Streveler <i>et al.</i> , 2011)       |
| Thermochemistry Concept Inventory                  | Thermochimie                                                  | (Wren & Barbera, 2013)                 |

Le *Concept Inventory of Natural Selection* (CINS) (Anderson *et al.*, 2002) est un questionnaire fréquemment utilisé dans les cours de biologie aux niveaux préuniversitaire et universitaire. Il permet l'évaluation des conceptions alternatives concernant les processus évolutifs tels que la sélection naturelle et les mutations (Anderson *et al.*, 2002). Par exemple, le « besoin » ou le « bon vouloir » sont des conceptions alternatives de types téléologiques et anthropocentriques, souvent observées chez les étudiants qui décrivent les processus évolutifs (Bishop & Anderson, 1990 ; Champagne Queloz, Klymkowsky, Stern, Hafen, & Köhler, 2017 ; Kampourakis & Zogza, 2007 ; Southerland, Abrams & Cummins, 2001). Le raisonnement téléologique, de manière générale, consiste à trouver une explication causale à un phénomène donné, en tentant de répondre à la question « pourquoi », plutôt que de

s'intéresser au « comment » (Cooper, 2015). Ce mode de pensée amène à trouver un but ou une fonction précise à un processus biologique ou autre. Le raisonnement anthropocentrique réfère à toutes comparaisons avec le comportement humain (Zohar & Ginossar, 1998).

Un autre exemple de questionnaire est le *Biological Concepts Instrument* (BCI) (Klymkowsky *et al.*, 2010). Ce questionnaire couvre divers thèmes tels que l'évolution, la génétique, les structures et fonctions des molécules, l'énergie et le design expérimental. Certaines questions ont été développées pour évaluer la prise en compte du hasard dans les processus biologiques, car il est bien connu que les étudiants sous-estiment le hasard dans les processus biologiques (Fiedler *et al.*, 2017 ; Garvin-Doxas & Klymkowsky, 2008). Le concept du hasard est souvent associé à un phénomène qui détruit l'ordre et « empêche l'atteinte d'un but donné » (Wilensky & Resnick, 1999, p. 10). Ce raisonnement est fortement influencé par une perspective téléologique qui implique une finalité à tout processus, qu'il soit mécanique, chimique ou biologique (Coley & Tanner, 2012). Par exemple, dans le BCI, on retrouve une conception alternative fréquente en génétique qui est : « parce qu'ils sont essentiels pour le maintien d'un organisme, certains gènes sont protégés des mutations » (Champagne Queloz *et al.*, 2017). Plus précisément, ce raisonnement conduit souvent à cette conception alternative : l'évolution des organismes vivants est orientée de sorte qu'ils seront de mieux en mieux adaptés à un environnement donné (Coley & Tanner, 2012). Le hasard est donc sous-estimé dans les processus évolutifs et autres processus biologiques. Beaucoup d'inventaires de concepts (voir tableau 1) sont développés à partir de conceptions alternatives de type téléologique, par exemple le *Genetic Concept Assessment* (Smith *et al.*, 2008), le *Genetic Drift Inventory* (Price, Andrews, McElhinny, Mead, Abraham, Thanukos & Perez, 2014), le *Biological Concepts Instrument* (Klymkowsky & Garvin-Doxas, 2008), le *Osmosis and Diffusion Conceptual Assessment* (Fisher *et al.*, 2011) ou le *RaProEvo* (Fiedler *et al.*, 2017).

Le langage imagé, pouvant refléter un certain raisonnement anthropocentrique, est souvent employé pour décrire un phénomène biologique quelconque, en comparant un processus ou un comportement quelconque et le comportement humain (Zohar & Ginossar, 1998). Par exemple, « les molécules *perçoivent* des signaux des autres molécules et *savent* où aller » ou « les molécules *ressentent* quelle conformation avoir pour former la meilleure liaison avec une autre molécule ». Dans certains inventaires de concepts, on retrouve ce type de langage imagé pour décrire des conceptions alternatives fréquentes (Klymkowsky *et al.*, 2010 ; Smith *et al.*, 2008). Par exemple, une question du BCI est formulée ainsi (traduction libre de l'anglais) : « Imagine une molécule d'ADP à l'intérieur d'une cellule bactérienne. Quel est le processus qui décrit le mieux comment celle-ci va *trouver* (traduction du verbe *find*, en anglais) une ATP synthase pour devenir une molécule d'ATP ? » (Klymkowsky *et al.*, 2010). L'expression « trouver » confère une certaine connotation anthropologique/téléologique à la question et peut inciter les étudiants à sélectionner un distracteur de ce type. En effet, ce type de formulation est couramment employé par les étudiants pour décrire des phénomènes biologiques ou chimiques. Une approche par évaluation pré et post-enseignement est suggérée pour déceler ce type de problèmes. En effet, après instruction, les étudiants devraient être davantage en mesure de choisir les réponses en accord avec le savoir savant, comme l'ont remarqué l'auteure et ses collègues (Champagne Queloz, Klymkowsky, Stern, Hafen & Köhler, 2016). En effet, après instruction, ils ne devraient plus être influencés par des formulations porteuses de termes anthropocentriques ou téléologiques. Par ailleurs, Zohar et Ginossar (1998) ont montré que bien des étudiants utilisaient volontiers ces formulations, sans pour autant compromettre la compréhension authentique du savoir scientifique.



Hestenes et ses collègues (1992) évoquent, à propos du premier inventaire de concepts utilisé en physique, le *Force Concept Inventory* (FCI), que « l'inventaire n'est donc pas un test d'intelligence, c'est une sonde dans un système de croyances » (traduction libre de : *the inventory, therefore, is not a test of intelligence; it is a probe of belief system* (Hestenes *et al.*, 1992, p. 2)). La force de ce type de questionnaires repose donc sur la qualité des réponses distractives, c'est-à-dire que celles-ci doivent rigoureusement respecter les conceptions alternatives des participants (Sadler *et al.*, 2013). On peut donc déduire qu'une réponse distractive choisie par un participant correspond *ipso facto* à une idée reçue, acceptée par lui et qu'il possède donc une compréhension erronée d'un phénomène donné. Toutefois, l'utilisation des inventaires de concepts devrait se restreindre à l'évaluation des conceptions alternatives et non à celle de la compréhension authentique des étudiants (Sadler, 1998 ; Sadler *et al.*, 2013). Par exemple, lorsqu'un étudiant choisit la réponse appropriée (la bonne réponse) à la question, cela ne signifie pas nécessairement que celui-ci a bien compris le concept questionné. En effet, le choix de la meilleure réponse a pu se faire par un processus d'élimination, si les réponses distractives ne correspondaient tout simplement pas aux conceptions alternatives de l'étudiant. Certains suggèrent plutôt des questions de type « vrai-faux » accompagnées d'explications, pour pallier ce processus d'élimination aléatoire des réponses des questions à choix multiples (Couch *et al.*, 2015 ; Price *et al.*, 2014).

Astolfi et Peterfalvi (1993) suggèrent l'approche par « objectifs-obstacles » (modèle éducatif présenté par Jean-Louis Martinand, 1986). Brièvement expliquée, cette approche consiste, en premier lieu, au *repérage* ou à une prise de conscience de la représentation. Ensuite, il y a la *fissuration* induisant une déstabilisation conceptuelle, qui envoie un signal à l'apprenant qu'il y a quelque chose qui « cloche ». Finalement, il y a le *franchissement* des obstacles d'apprentissage par l'introduction et la considération d'un modèle explicatif alternatif. L'inventaire de concepts est simple et rapide pour repérer et déstabiliser des conceptions alternatives reconnues. Ces auteurs soulèvent toutefois un aspect essentiel à l'apprentissage, c'est-à-dire que le repérage et la fissuration des conceptions alternatives ne suffisent pas. L'idée est de « faire du franchissement d'un obstacle l'objectif véritablement recherché » (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 115). D'ailleurs, le franchissement se fait uniquement si la nouvelle connaissance est conceptuellement acceptable pour l'étudiant (Posner *et al.*, 1982). Par conséquent, l'utilisation des inventaires de concepts est certes intéressante pour étudier les conceptions alternatives. Toutefois, celles-ci seront atténuées uniquement si des mesures pédagogiques et didactiques appropriées sont offertes pour les résoudre.

#### 4. Un exemple de mise en œuvre du *Biological Concepts Instrument* dans une université en Suisse

À l'ETH Zürich, en Suisse, certains professeurs en biologie étaient motivés par le besoin de réformer le cours d'introduction à la biologie. Ils avaient constaté que de nombreux étudiants réduisaient leurs efforts à apprendre par cœur les savoirs enseignés sans réellement les comprendre, qu'ils étaient peu motivés à assister aux cours et que les notes aux évaluations sommatives ne correspondaient pas toujours aux attentes des professeurs. De plus, le contenu enseigné nécessitait une réforme, car les récents développements technologiques en biologie ont amené une importante quantité de nouveaux savoirs savants méritant d'être intégrés dans les programmes scolaires (Clément, 2013). Conséquemment, le temps d'enseignement de certains savoirs classiques enseignés en biologie (par exemple, le modèle génétique de Mendel, la sélection naturelle, la méiose, la photosynthèse ou encore la diffusion et l'osmose, etc.), devait alors diminuer pour faire place à ces savoirs nouveaux, mais sans en affecter la compréhension. En effet, ces savoirs classiques sont fondamentaux pour comprendre les processus biologiques. De plus, ils sont essentiels pour comprendre la culture scientifique et l'épistémologie (Campanile, Lederman &

Kampourakis, 2013 ; Simard, 2011), c'est-à-dire l'évolution de la démarche scientifique, ses valeurs, ses produits et ses limites inhérentes à l'activité humaine. Toutefois, bien des conceptions alternatives concernent ces savoirs fondamentaux (Abraham *et al.*, 2014 ; Kalas *et al.*, 2013 ; Odom, 1995 ; Parker *et al.*, 2012). La question était donc : quelles sont les conceptions alternatives qui persistent après instruction et qui, conséquemment, méritent une attention particulière ? En effet, il ne fallait pas réduire le temps d'enseignement d'un concept qui n'aurait pas été bien compris par les étudiants, au détriment de savoirs scientifiques nouveaux. Parallèlement, les récents développements dans l'enseignement de la biologie, notamment pour l'évaluation des conceptions alternatives par l'utilisation d'inventaires de concepts, ont incité les professeurs à utiliser cet outil pédagogique dans les cours d'introduction à la biologie à l'ETH Zürich.

Le *Biological Concepts Instrument* (BCI) a été choisi comme questionnaire, car il couvre divers concepts (la génétique, l'énergie, l'évolution, la structure et la fonction des molécules et le design expérimental) souvent enseignés aux niveaux préuniversitaire et universitaire en Suisse (Klymkowsky *et al.*, 2010 ; Klymkowsky & Garvin-Doxas, 2008). En effet, comme aucune recherche de ce type n'avait été faite à l'ETH Zürich, ce questionnaire était approprié pour obtenir une vue d'ensemble des conceptions alternatives potentielles d'étudiants inscrits au cours d'introduction à la biologie.

Le projet consistait à évaluer la prévalence et la persistance de ces conceptions alternatives par une approche par évaluation pré et post-enseignement chez des étudiants universitaires inscrits aux cours d'introduction à la biologie 1 et 2 (Champagne Queloz *et al.*, 2016). Durant notre période d'investigation, ces cours combinaient des exposés magistraux et quelques travaux pratiques en classe. Ils approfondissaient les concepts de base de la biologie cellulaire (les structures et les fonctions de la cellule), de la génétique (la réplication et la transcription de l'ADN, la traduction de l'ARN, la théorie de Mendel), de l'évolution (Darwin et la diversité génétique), de la botanique (les structures des plantes et la photosynthèse) et de l'écologie (les écosystèmes, les comportements animaux). Ces deux cours d'introduction à la biologie sont obligatoires dans les programmes de biologie et de pharmacie, le premier étant préalable au deuxième. Ainsi, sur deux années scolaires (2013 et 2014), approximativement 1600 universitaires de l'ETH Zürich et de l'Université de Zürich ont été suivis et interrogés. Le questionnaire avait été préalablement traduit en allemand (OCDE, 2014). Le questionnaire (format papier) a été rempli en classe par les étudiants au début de leur tout premier semestre à l'université, lors de la première période du cours d'introduction à la biologie 1. Ils ont rempli ce même questionnaire, trois semestres (approximativement 1,5 année) plus tard, lors de la dernière période du cours d'introduction à la biologie 2. Durant cette période, les professeurs responsables de l'enseignement n'ont pas introduit le sujet des conceptions alternatives auprès des étudiants pour éviter d'interférer avec le projet de recherche.

De manière générale, de nombreuses conceptions alternatives suggérées dans le BCI ont été choisies par les étudiants universitaires. Certaines d'entre elles se sont résorbées chez les étudiants inscrits aux cours d'introduction à la biologie 1 et 2 qui participaient à l'approche par évaluation pré et post-apprentissage. Par exemple, les conceptions alternatives relatives aux processus évolutifs (sélection naturelle, dérive génétique ou mutations) étaient présentes chez les étudiants préuniversitaires et chez des étudiants inscrits à leur premier cours d'introduction à la biologie, mais n'étaient presque plus observées chez les étudiants inscrits au cours d'introduction à la biologie 2 (Champagne Queloz *et al.*, 2016, 2017). Toutefois, certaines de ces conceptions alternatives ont persisté même après avoir suivi ces deux cours obligatoires (Champagne Queloz *et al.*, 2016). Par exemple, des conceptions alternatives relatives aux fonctions et aux interactions moléculaires, ainsi que la considération du hasard dans les processus biologiques persistaient malgré les deux cycles

d'apprentissage. Grâce à cette évaluation des besoins éducatifs, les professeurs ont pu mesurer l'efficacité des approches pédagogiques et du curriculum pour résoudre, ou du moins atténuer certaines conceptions alternatives diagnostiquées.

Concrètement, à la suite de l'obtention des résultats au questionnaire BCI, le contenu des cours d'introduction à la biologie a été révisé pour mieux tenir compte des conceptions alternatives. Une attention particulière est maintenant portée aux concepts relatifs aux interactions moléculaires et à la considération du hasard dans les processus biologiques. Les questions du BCI sont parfois proposées au début d'une période de cours et présentées à nouveau quelque temps plus tard, permettant ainsi d'évaluer la persistance des conceptions alternatives. Ensuite, certaines périodes de cours sont planifiées en classe inversée (traduit de l'anglais, *flipped classroom*) pour favoriser un apprentissage participatif. En effet, il s'agit d'inviter les étudiants à étudier préalablement le contenu d'un cours pour, ensuite, participer en classe à des activités d'apprentissage supervisées ainsi qu'à des discussions avec le personnel enseignant et les autres étudiants. Cette approche rejoint l'approche objectifs-obstacles présentée par Astolfi et Peterfalvi (1993) et la théorie du socioconstructivisme de Vygotsky (Tudge & Winterhoff, 1993). Brièvement, l'apprentissage est autant un acte individuel qu'un acte social, c'est-à-dire qu'une personne apprend en échangeant ses représentations avec des personnes plus expérimentées. Donc, ces discussions permettent au professeur d'approfondir sans délai certains concepts mal compris. De leur côté, les étudiants reçoivent des rétroactions immédiates permettant de mieux comprendre les savoirs enseignés. Ils évitent ainsi d'entretenir certaines conceptions alternatives. Des analyses sont en cours pour mesurer l'efficacité de ces approches à résorber les conceptions alternatives reconnues comme étant persistantes.

Par ailleurs, après avoir obtenu un Master spécialisé en sciences, il est possible, à l'ETH Zürich, de compléter un diplôme en enseignement pour le niveau du Gymnase (niveau préuniversitaire en Suisse). Les résultats obtenus à la passation du BCI par les étudiants à ce niveau d'études ont révélé une prévalence importante de certaines conceptions alternatives (Champagne Queloz *et al.*, 2017). Par conséquent, le cours *Specialized Biology Course with an Educational Focus: Teaching Diploma* est offert à tous les futurs/es enseignants/es en biologie. Ce cours aborde le sujet des conceptions alternatives d'étudiants à ce niveau de scolarité. De plus, des approches pédagogiques sont suggérées (utilisation d'inventaires de concepts, discussion, suggestions d'activités) aux futurs/es enseignants/es.

## 5. Conclusions

Les inventaires de concepts, des questionnaires à choix multiples construits à partir de raisonnements d'étudiants, permettent d'évaluer la prévalence et la persistance de conceptions alternatives fréquentes. Ce type d'évaluation, bien diffusé dans la littérature anglophone, est encore peu rapporté dans la littérature scientifique francophone. L'utilisation d'un inventaire de concepts a permis de mener efficacement une analyse de besoin en éducation dans une université en Suisse. Plusieurs conceptions alternatives fréquentes en biologie, tant au niveau des processus évolutifs ou des interactions et structures des molécules, ont été évaluées par la passation de ces questionnaires. Les implications pour l'enseignement et l'élaboration de programmes d'études ont été très importantes dans cet établissement. On a pu ainsi établir des démarches éducatives adaptées pour tenter de franchir ces conceptions alternatives.

L'utilisation des inventaires de concepts peut donc être très bénéfique pour l'enseignement, l'apprentissage et aussi pour l'élaboration de programmes d'études. Comme les inventaires de concepts sont simples et rapides à utiliser, on pourrait en savoir encore plus sur la prévalence et la persistance de ces raisonnements erronés dans les milieux scolaires

francophones. Par cette note de synthèse, nous souhaitons donc motiver les enseignants ou des didacticiens à utiliser ou à développer ce type de questionnaires en français et à publier leurs résultats de recherches.

## 6. Références

- Abraham, J.K., Perez, K. E., & Price, R.M. (2014). The Dominance Concept Inventory: A Tool for Assessing Undergraduate Student Alternative Conceptions about Dominance in Mendelian and Population Genetics. *CBE-Life Sciences Education*, 13, 349–358.
- Adams, W.K., & Wieman, C.E. (2011). Development and Validation of Instruments to Measure Learning of Expert-Like Thinking. *International Journal of Science Education*, 33, 1289–1312.
- Anderson, D.L., Fisher, K.M., & Norman, G.J. (2002). Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection, *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 952–978.
- Arnaudin, M.W., & Mintzes, J.J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study. *Science Education*, 69, 721–733.
- Astolfi, J.P. (1990). L'émergence de la didactique de la biologie, un itinéraire. *Aster*, 11, 195-224.
- Astolfi, J.P. (1992). Apprendre par franchissement d'obstacles ? *Repères, Recherches en Didactique du Français Langue Maternelle*, 5, 103–116.
- Astolfi, J.P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103–141.
- Barbera, J. (2013). A psychometric analysis of the chemical concepts inventory. *Journal of Chemical Education*, 90, 546–553.
- Bishop, B.A., & Anderson, C.W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution, *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415–427.
- Bowling, B.V., Acra, E.E., Wang, L., Myers, M.F., Dean, G. E., Markle, G. C., Moskalik, C.L., & Huether C.A. (2008). Development and Evaluation of a Genetics Literacy Assessment Instrument for Undergraduates. *Genetics*, 178, 15–22.
- Brandriet, A.R., & Bretz, S.L. (2014). The development of the redox concept inventory as a measure of students' symbolic and particulate redox understandings and confidence. *Journal of Chemical Education*, 91, 1132–1144.
- Bretz, S.L., & Linenberger, K.J. (2012). Development of the enzyme-substrate interactions concept inventory. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 40, 229–233.
- Bryfczynski, S., Pargas, R.P., & Cooper, M. (Mars 2012). Analyzing and visualizing student work with BeSocratic. Conférence présentée à ACMSE12, 29-31, Tuscaloosa, AL, USA.
- Campanile, M.F., Lederman, N.G., & Kampourakis, K. (2013). Mendelian Genetics as a Platform for Teaching About Nature of Science and Scientific Inquiry: The Value of Textbooks. *Science & Education*, 24, 205–225.
- Champagne Queloz, A. (2016). *Biological Thinking: Insights into the Misconceptions in Biology maintained by Gymnasium students and Undergraduates*. Thèse de doctorat déposée à l'ETH Zürich. Disponible via la ETH E-Collection.
- Champagne Queloz, A., Klymkowsky, M.W., Stern, E., Hafen, E., & Köhler, K. (2016). Debunking Key and Lock Biology: Exploring the prevalence and persistence of students' misconceptions on the nature and flexibility of molecular interactions. DOI: 10.19185/ma.ers.201606000010
- Champagne Queloz, A., Klymkowsky, M.W., Stern, E., Hafen, E., & Köhler, K. (2017) Diagnostic of students' misconceptions using the Biological Concepts Instrument: A method for conducting an educational needs assessment. *PLoS ONE*, 12(5): e0176906.

- Clément, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster*, 13, 133–155.
- Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique, dix ans de recherche. *Aster*, 27, 57–93.
- Clément, P. (2013). Le Délai de Transposition Didactique (DTD) dans les *Livres du Maître. Exemples en Biologie*. Richard Etienne. 9<sup>e</sup> Journée Pierre Guibbert : Manuels scolaires : livres du maître, de l'élève, des savoirs..., Feb 2013, Montpellier, France. Université Montpellier 3, 26 p., 2013. <hal-01026097>.
- Coley, J.D., & Tanner, K.D. (2012). Common Origins of Diverse Misconceptions: Cognitive Principles and the Development of Biology Thinking. *CBE-Life Sciences Education*, 11, 209–215.
- Cooper, M.M. (2015). Why Ask Why? *Journal of Chemical Education*, 92, 1273–1279.
- Cooper, M.M., Grove, N., Underwood, S.M., & Klymkowsky, M.W. (2010). Lost in Lewis Structures: An Investigation of Student Difficulties in Developing Representational Competence. *Journal of Chemical Education*, 87, 869–874.
- Cormier, C. (2012). Les conceptions alternatives des étudiants en sciences. Communication dans un congrès : Enseigner et apprendre en réseau - pour se réaliser individuellement et réussir collectivement. 31<sup>e</sup> Colloque AQPC. Pp. 47-54.
- Couch, B.A., Wood, W.B., & Knight, J.K. (2015). The molecular biology capstone assessment: a concept assessment for upper-division molecular biology students. *CBE-Life Sciences Education*, 14, ar10–ar10.
- Crouch, C.H., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69, 970–977.
- D'Avanzo, C. (2008). Biology concept inventories: overview, status, and next steps. *BioScience*, 58, 1–7.
- Dagorn (2016, 16 septembre) Idée reçue n°1 : « Les vaccins ne sont pas sûrs ». *Le Monde*. [en ligne] [http://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2016/09/16/idee-recue-n-1-les-vaccins-ne-sont-pas-surs\\_4998653\\_4355770.html](http://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2016/09/16/idee-recue-n-1-les-vaccins-ne-sont-pas-surs_4998653_4355770.html). Dernière consultation le 5 octobre 2017.
- Deane, T., Nomme, K., Jeffery, E., Pollock, C., & Birol, G. (2014). Development of the Biological Experimental Design Concept Inventory (BEDCI). *CBE-Life Sciences Education*, 13, 540–551.
- DiSessa, A.A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105–225.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649–672.
- Fiedler, D., Tröbst, S., & Harms, U. (2017). University Students' Conceptual Knowledge of Randomness and Probability in the Contexts of Evolution and Mathematics. *CBE-Life Sciences Education*, 16, ar38–45.
- Fisher, K.M., Williams, K.S., & Lineback, J.E. (2011). Osmosis and diffusion conceptual assessment. *CBE-Life Sciences Education*, 10, 418–429.
- Garvin-Doxas, K., & Klymkowsky, M.W. (2008). Understanding randomness and its impact on student learning: lessons learned from building the Biology Concept Inventory (BCI). *CBE-Life Sciences Education*, 7, 227–233.
- Garvin-Doxas, K., Klymkowsky, M., & Elrod, S. (2007). Building, Using and Maximizing the Impact of Concept Inventories in the Biological Sciences: Report on a National Science Foundation–sponsored Conference on the Construction of Concept Inventories in the Biological Sciences. *CBE-Life Sciences Education*, 6, 277–282.
- Giordan, A., Girault, Y., & Clément, P. (1994). *Conceptions et connaissances*. Peter Lang. 319 p.
- Gray, G.L., Costanzo, F., Evans, D., Cornwell, P., Self, B., & Lane, J.L. (2005) The dynamics concept inventory assessment test: A progress report and some results. Dans *Proceeding of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference Exposition*. Portland, OR.

- Hake, R.R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*, 64–74.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, *30*, 144–158.
- Jörg, T. (2009). Thinking in complexity about learning and education: A programmatic view. *Complexity an International Journal of Complexity and Education*, *6*, 1–22.
- Kalas, P., O'Neill, A., Pollock, C., & Birol, G. (2013). Development of a meiosis concept inventory. *CBE-Life Sciences Education*, *12*, 655–664.
- Kampourakis, K., & Zogza, V. (2007). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education*, *17*, 27–47.
- Kampourakis, K., Silveira, P., & Strasser, B.J. (2016). How Do Preservice Biology Teachers Explain the Origin of Biological Traits? A Philosophical Analysis. *Science Education*, *100*, 1124–1149.
- Kaufman, R., Watkins, R., & Guerra, I. (2002). Getting Valid and Useful Educational Results and Payoffs: We Are What We Say, Do, and Deliver. *International Journal of Educational Reform*, *11*, 77–92.
- Klymkowsky, M.W., & Garvin-Doxas, K. (2008). Recognizing student misconceptions through Ed's Tools and the Biology Concept Inventory. *PLoS Biology*, *6*, e3.
- Klymkowsky, M.W., Koehler, K., & Cooper, M. (2016). Diagnostic assessments of student thinking about stochastic processes. *bioRxiv*. doi:10.1101/053991.
- Klymkowsky, M.W., Underwood, S.M., & Garvin-Doxas, K. (2010). Biological Concepts Instrument (BCI): A diagnostic tool for revealing student thinking. *arXiv.org*. doi:arXiv:1012.4501.
- Lapointe, J. (1983). L'analyse des besoins d'apprentissage. *Revue Des Sciences De L'éducation*, *9*, 251–17.
- Lasry, N., Guillemette, J., Dugdale, M., Charles, E. S., & Mazur, E. (2016). Peut-on apprendre sans désapprendre. *Pédagogie Collégiale*, *29*, 4–8.
- Lauterbur, P.C. (2005). All science is interdisciplinary - From magnetic moments to molecules to men (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, *44*, 1004–1011.
- Lombard, F.E., & Schneider, D.K. (2013). Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, *47*, 166–174.
- Marbach-Ad, G., Briken, V., El-Sayed, N. M., Frauwirth, K., Fredericksen, B., Hutcheson, S., Gao, L.Y, Joseph, S., Lee, V.T., Mclver, K.S., Mosser, D., Quimby, B.B., Schields, P., Song W. , Stein, D.C., Yuan R.T., Smith, A.C. (2009). Assessing student understanding of host pathogen interactions using a concept inventory. *Journal of Microbiology & Biology Education*, *10*, 43–50.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Peter Lang. 315 p.
- McFarland, J.L., Price, R.M., Wenderoth, M.P., Martinková, P., Cliff, W., Michael, J., Modell, H., Wright, A. (2017). Development and Validation of the Homeostasis Concept Inventory. *CBE-Life Sciences Education*, *16*, ar35–34.
- Morin, E. (2014). *Introduction à la pensée complexe*. Paris : Points.
- Nehm, R.H., & Schonfeld, I.S. (2008). Measuring knowledge of natural selection: A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview, *Journal of Research in Science Teaching*, *45*, 1131–1160.
- Newman, D.L., Snyder, C.W., Fisk, J.N., & Wright, L.K. (2016). Development of the Central Dogma Concept Inventory (CDCI) Assessment Tool. *CBE-Life Sciences Education*, *15*, ar9–ar9.

- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D.F. (2012). Understanding needs embodiment: A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, *96*, 849–877.
- Novak, G.M. (2011). Just-in-time teaching. Dans *New Directions for Teaching and Learning*, *128*, 63–73.
- Odom, A.L. (1995). Secondary & college biology students' misconceptions about diffusion & osmosis. *The American Biology Teacher*, *57*, 409–415.
- Odom, A.L., & Barrow, L.H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*, 45–61.
- OCDE. (2014). Chapter 5: Translation and Verification of the Survey Material. Dans *PISA Technical Report*. pp. 89–105. [en ligne] <https://www.oecd.org/pisa/sitedocument/PISA-2015-Technical-Report-Chapter-5-Translation.pdf>. Dernière consultation le 5 octobre 2017.
- Orgill, M., & Bodner, G.M. (2007). Locks and Keys: An Analysis of Biochemistry Students' Use of Analogies. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *35*, 244–254.
- Orgill, M., Bussey, T.J., & Bodner, G.M. (2015). Biochemistry instructors' perceptions of analogies and their classroom use. *Chemistry Education Research and Practice*, *16*, 731–746.
- Parker, J.M., Anderson, C.W., Heidemann, M., Merrill, J., Merritt, B., Richmond, G., & Urban-Lurain, M. (2012). Exploring undergraduates' understanding of photosynthesis using diagnostic question clusters. *CBE-Life Sciences Education*, *11*, 47–57.
- Parmentier, J.-F., & Lamine, B. (2015). Que comprennent nos étudiants de la mécanique Newtonienne ? 22<sup>e</sup> Congrès Français de Mécanique, 24 au 28 Août 2015, Lyon, France (FR).
- Perez, M. (2007, 27 avril). Pr Cohen : « La génétique, un océan d'idées reçues ». *Le Figaro*. [en ligne] [http://www.lefigaro.fr/sciences/2007/04/27/01008-20070427ARTFIG90025-pr\\_cohenla\\_genetique\\_un\\_ocean\\_d\\_idees\\_recues.php](http://www.lefigaro.fr/sciences/2007/04/27/01008-20070427ARTFIG90025-pr_cohenla_genetique_un_ocean_d_idees_recues.php). Dernière consultation le 5 octobre 2017.
- Perez, K.E., Hiatt, A., Davis, G.K., Trujillo, C., French, D. P., Terry, M., & Price, R.M. (2013). The EvoDevoCI: a concept inventory for gauging students' understanding of evolutionary developmental biology. *CBE-Life Sciences Education*, *12*, 665–675.
- Périard, M., Vaillancourt, J., & Cauchy, F. (2001). S'exprimer pour apprendre: l'apprentissage de la physique mécanique par la confrontation des idées. *Pédagogie Collégiale*, *15*, 35–42.
- Pollock, S.J., Marx, J., & Heron, P. (2005). No single cause: learning gains, student attitudes, and the impacts of multiple effective reforms. *AIP Conference Proceeding*, *790*, 4 p.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, *66*, 211–227.
- Price, R.M., Andrews, T.C., McElhinny, T.L., Mead, L.S., Abraham, J.K., Thanukos, A., & Perez, K.E. (2014). The genetic drift inventory: a tool for measuring what advanced undergraduates have mastered about genetic drift. *CBE-Life Sciences Education*, *13*(1), 65–75. doi: 10.1187/cbe.13-08-0159.
- Perez, K.E. (2014). The genetic drift inventory: a tool for measuring what advanced undergraduates have mastered about genetic drift. *CBE-Life Sciences Education*, *13*, 65–75.
- Prince, M., Vigeant, M., & Nottis, K. (2012). Development of the Heat and Energy Concept Inventory: Preliminary Results on the Prevalence and Persistence of Engineering Students' Misconceptions. *Journal of Engineering Education*, *101*, 412–438.
- Sadler, P.M. (1998). Psychometric models of student conceptions in science: Reconciling qualitative studies and distractor-driven assessment instruments. *Journal of Research in Science Teaching*, *35*, 265–296.

- Sadler, P.M., Coyle, H., Smith, N.C., Miller, J., Mintzes, J., Tanner, K., & Murray, J. (2013). Assessing the Life Science Knowledge of Students and Teachers Represented by the K-8 National Science Standards. *CBE-Life Sciences Education*, 12, 553–575.
- Schneider, M., & Stern, E. (2010). The developmental relations between conceptual and procedural knowledge: A multimethod approach. *Developmental Psychology*, 46, 178–192.
- Shi, J., Wood, W.B., Martin, J.M., Guild, N.A., Vicens, Q., & Knight, J.K. (2010). A diagnostic assessment for introductory molecular and cell biology. *CBE-Life Sciences Education*, 9, 453–461.
- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124, 209–215.
- Simard, C., Harvey, L. & Samson, G. (2014). Regard multidimensionnel des conceptions du vivant : situation en contexte québécois. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 79–102.
- Simard, J.C. (2011). Culture scientifique, épistémologie et pédagogie. *Revue Numérique de Recherche Lasallienne*, 3, 9–18.
- Smith, M.K., Wood, W.B., & Knight, J.K. (2008). The Genetics Concept Assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE-Life Sciences Education*, 7, 422–430.
- Southerland, S.A., Abrams, E., & Cummins, C.L. (2001). Understanding students' explanations of biological phenomena: conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 85, 328–348.
- Stansfield, W.D. (2013). A Socratic Method for Surveying Students' Readiness to Study Evolution. *The American Biology Teacher*, 75, 102–105.
- Stefanski, K.M., & Gardner, G.E. (2016). Development of a Lac Operon Concept Inventory (LOCI). *CBE—Life Sciences Education*, 15, 1–11
- Streveler, R.A., Miller, R.L., Santiago-Roman, A.I., Nelson, M.A., Geist, M.R., & Olds, B.M. (2011). Rigorous Methodology for Concept Inventory Development: Using the “Assessment Triangle” to Develop and Test the Thermal and Transport Science Concept Inventory (ITCI). *International Journal of Engineering Education*, 27, 968–984.
- Tamir, P. (1971). An alternative approach to the construction of multiple choice test items. *Journal of Biological Education*, 5, 305–307.
- Tardif, J., & Meirieu, P. (1996). Stratégie pour favoriser le transfert des connaissances. *Vie Pédagogique*, 98, 31–46.
- Therer, J. (1993). Nouveaux concepts en didactique des sciences. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 28, 5–10.
- Tibell, L. A.E., & Rundgren, C.J. (2010). Educational Challenges of Molecular Life Science: Characteristics and Implications for Education and Research. *CBE-Life Science Education*, 9, 25–33.
- Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159–169.
- Treagust, D.F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297–328.
- Tudge, J., & Winterhoff, P.A. (1993). Vygotsky, Piaget, and Bandura: perspectives on the relations between the social world and cognitive development. *Human Development*, 36, 61–81.
- Vygotsky, L.S. (1926/1997). *Educational Psychology*. CRC Press.
- Wandersee, J.H., Mintzes, J.J., & Novak, J.D. (1994). Research in Alternative Conceptions in Science: Part II Learning. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 177-210).



- Watkins, R., & Kaufman, R. (2002). Assessing and Evaluating: differentiating Perspectives. *Performance Improvement, 41*, 22–28.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology, 8*, 3–19.
- Wren, D., & Barbera, J. (2013). Gathering Evidence for Validity during the Design, Development, and Qualitative Evaluation of Thermochemistry Concept Inventory Items. *Journal of Chemical Education, 90*, 1590–1601.
- Zohar, A., & Ginossar, S. (1998). Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education—heretical suggestions. *Science Education, 82*, 679–697.