HAL
open science

Etude de connaissances d'élèves de seconde sur les mutations génétiques.

Gwendaël Chapel, Patricia Marzin-Janvier

To cite this version:

Gwendaël Chapel, Patricia Marzin-Janvier. Etude de connaissances d'élèves de seconde sur les mutations génétiques.. Sixièmes journées de l'ARDIST., 2009, Nantes, France. 9 p. hal-00593070

HAL Id: hal-00593070

https://hal.science/hal-00593070v1

Submitted on 13 May 2011

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

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

Etude des connaissances d'élèves de seconde sur les mutations génétiques

CHAPEL Gwenda-Ella[1], MARZIN Patricia[2] - [1]Doctorante, [2]Maître de conférences - Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Equipe MeTAH, Grenoble, France. gwendael.chapel@imag.fr.

Mots clés : ADN, Mutations, Conceptions des élèves

Résumé : L'ADN est une notion qui pose problème aux élèves de lycée aussi nous nous proposons d'identifier et de classer les conceptions des élèves sur ce sujet. Pour cette analyse, nous avons utilisé la notion de mutation, qui permet d'étudier à la fois, comme nous le souhaitions, la structure et la fonction de l'ADN. Après avoir effectué une étude bibliographique et une analyse du savoir, nous avons cherché à vérifier l'existence de six niveaux biologiques dans les productions des élèves.

Introduction

L'ADN est une notion qui pose problème aux élèves aussi bien pour la compréhension de sa structure (organisation des nucléotides, phosphates et sucres en double hélice) que de sa fonction (détermination du phénotype d'un individu à partir de l'expression de l'information génétique, elle-même organisée sous une forme codée). La compréhension des mécanismes à l'origine des mutations génétiques a l'avantage d'aborder ces deux points. En effet, les mutations provoquent une modification de la structure de l'ADN et donc une modification du code génétique qui va se traduire, par exemple, par des changements physiologiques au niveau de l'organisme. Pour étudier les conceptions des élèves sur la structure et la fonction de l'ADN, nous analyserons leurs productions écrites sur la localisation d'une mutation. Cette recherche, en cours, a pour but final, de construire une situation permettant de diagnostiquer les conceptions des élèves sur les mutations. Cette situation sera mise en place lors de travaux pratiques et fera intervenir la conception de protocoles expérimentaux (Chapel, 2008) étayée par un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH).

Contexte bibliographique

La génétique est un vaste domaine disciplinaire qui peut traiter de l'étude des lignée de la génétique de Mendel ou de l'ADN. Dans les programmes scolaires français, de la sixième à la terminale, on retrouve successivement : l'étude des cellules reproductrices et la transmission de la vie, la méiose et la mitose, les chromosomes, les notions de gènes et d'allèles, la structure de l'ADN, les mutations, la transcription, la traduction et les croisements génétiques.

Notre étude se place dans le domaine de la génétique du point de vue scolaire, et du point de vue scientifique puisque notre objet d'étude, les mutations génétiques, fait appel à l'ADN, support de l'information génétique. En préalable à l'étude expérimentale nous avons regardé la littérature portant sur les difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves dans le domaine de la génétique.

Le domaine de la génétique est difficile pour les élèves

Les difficultés des élèves dans l'apprentissage de la génétique ont fait l'objet de plusieurs études menées ces 30 dernières années auprès d'élèves de la même tranche d'âge (16-19 ans). Johnstone (1980) et Bahar (1999) ont cherché à connaître les sujets perçus comme les plus difficiles par les élèves anglais et écossais. Ces recherches, menées auprès de 166 élèves en fin de lycée, 167 étudiants en première année d'université (filière biologie) et 50 enseignants, ont permis à Johnstone de classer des thèmes (« topics ») de la biologie, du plus difficile (1) au moins difficile (15). Il a constaté que la génétique était classé 3e par les élèves et les étudiants et 5e par les enseignants. Bahar, qui a mené son étude auprès de 207 étudiants écossais en biologie, voulait spécifier les domaines posant des difficultés en détaillant la liste des thèmes (passage de 15 à 36 items). Il a constaté que parmi les 10 thèmes classés comme étant les plus difficiles, 6 concernent la génétique : « Monohybrid and dihybrid crosses and linkages (1), Genetic engineering (2), Genetic control of development and metabolic processes (3), Meiosis (4), Gametes, alleles and genes (6), Mutation (10) » [Croisements d'organismes mono et dihybrides (1), Génie génétique (2), Contrôle génétique du développement et processus métaboliques (3), Méiose (4), Gamètes, allèles et gènes (6), Mutation (10)]. Ces études montrent que la génétique est un domaine aussi difficile à apprendre qu'à enseigner. Ce constat est aussi relevé dans le rapport annuel de l'inspection générale du Royaume Uni.

Les difficultés sont liées aux différents niveaux biologiques impliqués …

Bahar (1999) explique ces difficultés par plusieurs raisons dont une qui a particulièrement retenu notre attention : l'existence de la génétique à différents niveaux biologiques et les implications que cela entraîne sur l'apprentissage.

Bahar détermine une organisation de ces niveaux selon la perception sensorielle des élèves et le degré d'abstraction qu'ils doivent adopter pour travailler à tel ou tel niveau. Il dégage trois catégories : Macro, Sub-micro et Symbolique qui correspondent à des approches différentes de la génétique. Le niveau phénotypique pour la catégorie Macro, le niveau du gène pour le Sub-micro et le niveau mathématique (distance entre gènes, calculs de probabilités de présence d'un gène) pour le Symbolique.

L'existence de la génétique à différents niveaux biologiques ainsi que les relations entre ces niveaux ont aussi été l'objet d'une étude effectuée par Marbach-Ad (2000). Il identifie ces niveaux biologiques comme étant la source des difficultés des élèves israéliens lors de l'apprentissage de la génétique au lycée. Marbach-Ad réalise, lui aussi, une organisation de ces niveaux mais en s'appuyant sur la hiérarchie biologique. Il fait ressortir trois catégories : Macroscopique (organisme), Microscopique (cellule) et Moléculaire (molécule). Dans sa classification, comme dans celle de Bahar, les catégories sont différenciées par la perception qu'en ont les élèves : manipulable pour le Macroscopique, observable pour le Microscopique et imaginable pour le Moléculaire.

Marbach-Ad insiste sur le fait que les élèves n'arrivent pas à lier les connaissances des catégories Microscopique et Moléculaire aux observations Macroscopiques, ou font des erreurs lorsqu'ils essayent. Cette difficulté à lier les différents niveaux biologiques impliqués est due à un enseignement trop théorique et séparé dans le temps, dans des classes différentes (6e, 3e, 2^{nde}en cursus général) et dans des matières différentes (biologie et chimie pour le niveau moléculaire).

Ces difficultés du domaine génétique décliné à différents niveaux biologiques se retrouvent à tous les degrés scolaires, y compris chez des étudiants qui se présentent au CAPES de SVT comme le montre le rapport du jury de 2008, où il est indiqué que les candidats ne font pas la

différence entre chromosome, gène et allèle. Cette notion encore difficile après des années d'étude spécialisée en biologie, montre la persistance des difficultés.

… et au caractère abstrait du sujet

Knippels (2005) revient elle aussi sur ces difficultés dans son étude pour déterminer les principaux problèmes des élèves et des enseignants lors de l'apprentissage de la génétique dans le secondaire aux Pays-Bas. Elle retrouve les difficultés citées par les auteurs précédents, auxquelles elle ajoute celle liée au caractère abstrait du sujet étudié.

Des interviews menées auprès de 22 élèves de 16-17 ans, confortent cette idée. Pour eux, le fait que l'enseignement de cette matière, ne soit pas relié à des problèmes du quotidien, personnels ou sociétaux, augmente sa nature abstraite et engendre une démotivation lors de l'apprentissage. Leur compréhension de la génétique est alors limitée, confuse et entraîne des difficultés d'apprentissage pour des notions comme la division cellulaire ou la structure de l'ADN.

D'autres difficultés sont liées à la spécificité de la structure de l'ADN

Pfriedrichsen (2004) a mené une étude aux Etats-Unis pour découvrir les conceptions spontanées des élèves en génétique moléculaire afin de faire des propositions pour améliorer la compréhension de ces notions. Elle a demandé à des élèves de lycée de dessiner une molécule d'ADN. Sur l'ensemble des dessins, elle en a sélectionné 12 à partir desquels elle a interviewé les élèves pour qu'ils commentent et expliquent ces dessins. Sur les 12 productions sélectionnées, huit élèves dessinent une simple échelle sans indiquer les éléments qui la constituent, un élève dessine la molécule d'ADN comme une chaîne de chromosomes et les trois autres ne dessinent rien. Aucun élève ne donne la structure de la molécule d'ADN avec bases, phosphates et sucres.

Certains élèves interviewés expliquent que leurs difficultés à faire la différence entre chromosomes, ADN et cellules proviennent des illustrations figurant dans les ouvrages scolaires. Lorsqu'ils observent simultanément ces illustrations, ils ne comprennent pas les rapports de taille. Bien souvent, l'illustration de la structure de l'ADN (représentation issue d'un logiciel de simulation ou photo d'une structure réalisée avec boules et bâtons) est bien plus grosse que l'illustration (photo ou dessin ou schéma) de la cellule placée à côté. Or comment une grosse molécule peut-elle être contenue dans le noyau d'une cellule plus petite ?

Ces difficultés sont aussi liées au peu de références aux échelles ou à la taille des objets dans les manuels scolaires. Les grossissements effectués sont rarement précisés, ce qui ne facilite pas la compréhension des relations entre objets.

La structure de l'ADN en elle-même, en dehors de son positionnement dans l'organisation biologique, pose donc un réel problème. Mais l'ADN n'est pas seulement difficile à comprendre par sa structure, il l'est également par sa fonction : l'expression du génotype pour la détermination du phénotype d'un individu. Khattech (2007), dans son étude, propose à des lycéens et à des étudiants tunisiens deux illustrations de la molécule d'ADN écartées par Watson. Elle leur demande de justifier le rejet de ces représentations. Elle observe alors que les justifications données par les élèves sont essentiellement liées à la structure et non à la fonction. Elle en déduit « un cloisonnement (…) entre les propriétés physiques et biologiques de l'ADN ». Ce cloisonnement empêche les élèves de comprendre la molécule d'ADN, car la connaissance de la structure (propriété physique de la molécule) et de la fonction (propriété biologique) sont importantes pour comprendre cette notion et son articulation avec les autres objets du monde biologique.

Il existe aussi des difficultés spécifiques à la notion de mutation

Comme nous l'avons expliqué plus haut nous avons décidé d'étudier l'ADN par l'intermédiaire de la compréhension des mutations. La notion de mutation génétique comporte aussi des difficultés. Comme le montre Albaladejo (1988), le terme mutation est polysémique et change de sens en fonction du contexte dans lequel il est utilisé. Il y a toujours une notion de changement mais la nature de ce changement peut être différente.

Dans le langage de tous les jours, « mutation » peut par exemple, être associée aux changements morphologiques dus à l'adolescence ou au changement de lieu suite à une évolution de carrière professionnelle.

Dans le langage scientifique, le terme mutation est aussi polysémique. Il est parfois employé à la place de métamorphose (changement d'état, par exemple entre un têtard et une grenouille). Il peut aussi être utilisé dans le cadre de l'évolution pour décrire les changements subis par une espèce, ou pour désigner des changements du code génétique.

Ces différentes significations, dépendantes du contexte, peuvent entraîner des confusions chez les élèves qui sont tentés d'utiliser ce terme avec une signification du registre quotidien dans un contexte scientifique.

Constat

Ces différentes recherches ont permis de dégager les difficultés des élèves dans le domaine de la génétique et plus particulièrement celles concernant la structure de la molécule d'ADN et les mutations. L'ensemble de ces études internationales explique que les difficultés des élèves sont liées, en partie, à la confusion entre les différents niveaux biologiques. Quelques-unes (Morimoto, 2002; Zion, 2006) ont proposé des solutions pour aider les élèves lors de l'apprentissage mais aucune, à notre connaissance, n'a cherché à identifier et classer les conceptions des élèves sur ces différents niveaux pour comprendre leurs difficultés. C'est ce que nous proposons de faire : identifier et classer les conceptions des élèves sur la structure et la fonction de l'ADN par l'intermédiaire de la localisation et des mécanismes des mutations génétiques. Après identification de ces conceptions, une deuxième étape de notre étude consistera, dans la continuité des travaux effectués dans notre équipe (Marzin, 2007), à concevoir une situation diagnostique dans le cadre de travaux pratiques.

Questions de recherche et hypothèses

Les questions de recherche présentées ci-dessous constituent une partie de notre problématique générale.

Hypothèse de travail : Les élèves donnent le sens de changement à une mutation mais ont des difficultés à conceptualiser la localisation.

Question de recherche : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de la localisation d'une mutation ?

Hypothèse de recherche : Les conceptions des élèves sur la localisation d'une mutation peuvent être réparties en six niveaux : organisme, cellule, noyau, chromosome, gène et ADN.

Analyse du savoir

Une mutation génétique est une anomalie de la structure de l'ADN. En recherche en biologie c'est un phénomène classique d'étudier une fonction à partir d'un de ses dysfonctionnement pour la comprendre.

Connaissances de référence

A partir de l'étude du savoir scientifique, nous avons dégagé les connaissances indispensables aux élèves pour qu'ils puissent comprendre la notion de mutation et par la même occasion, la structure et la fonction de l'ADN. Elles constituent les connaissances de références dont les élèves auront besoin pour résoudre les problèmes qui leur sont posés. Ces connaissances, adaptées au niveau seconde des élèves, sont formulées ci-dessous :

- Une molécule d'ADN est constituée de bases qui sont les principaux éléments touchés lors d'une mutation.
- L'ordre et la succession des bases de l'ADN définissent le code génétique d'un organisme.
- Le code génétique caractérise un organisme et comprend toutes les informations nécessaires à sa vie, sa survie et sa croissance.
- Une mutation se situe au niveau de la molécule d'ADN et entraîne une modification de sa structure, de l'ordre de ses bases.
- Une mutation induit des modifications au sein de l'organisme muté, car elle modifie le code génétique de cet organisme.
- Une mutation se traduit par une expression phénotypique différente de celle de l'organisme non muté (échelle de la cellule pour un être unicellulaire et de l'individu pour un être pluricellulaire).
- Une mutation se transmet directement à la descendance de la cellule mutée dans le cas d'un être unicellulaire.
- La mutation se transmet à la descendance seulement si les cellules reproductrices sont touchées dans le cas d'un être pluricellulaire.

Parmi ces connaissances, certaines sont en lien avec la structure de l'ADN : une mutation est localisée au niveau des bases de la molécule d'ADN et en modifie la succession. Si les élèves ne possèdent pas cette connaissance, ils ne feront pas appel à la structure de l'ADN pour expliquer les mutations et auront des difficultés à comprendre l'ADN comme les mutations. D'autres connaissances font appel à la fonction de l'ADN : codage de l'information génétique qui définit les caractères d'un individu. L'ensemble de ces connaissances étant nécessaires, la structure et la fonction sont deux éléments de l'ADN à comprendre simultanément. L'un sans l'autre est difficile à comprendre et entraîne des difficultés d'apprentissage pour les notions liées comme les mutations.

Six niveaux biologiques

A partir de l'étude de la littérature en didactique, nous avons constaté que les élèves avaient du mal à définir la structure ainsi que la place de l'ADN au sein de la hiérarchie des objets biologiques. Ces deux paramètres sont pourtant essentiels pour comprendre la localisation et le fonctionnement d'une mutation. Si les élèves ne réussissent pas à déterminer la place de l'ADN et à en donner une définition, ils n'arriveront pas à localiser une mutation sur l'ADN, constitué de nucléotides, et étant le plus petit élément que l'on peut changer pour faire varier

les niveaux supérieurs. Pourtant, les élèves ont tout à fait conscience qu'une mutation est un changement de l'organisme. À quel endroit alors placent-ils ce changement ?

Au vu des résultats des études précédentes et de l'étude du savoir de référence, nous avons dégagé six niveaux biologiques où les élèves pourraient localiser les mutations : Organisme, Cellule, Noyau, Chromosome, Gène et ADN.

Méthodologie

Afin de vérifier l'importance de ces niveaux dans le raisonnement des élèves, nous leur avons proposé un exercice qui a pour objectif de valider ces niveaux et de classifier et quantifier les réponses des élèves concernant ces niveaux.

L'exercice proposé se compose d'un schéma à compléter, un cercle sur lequel les élèves doivent indiquer l'endroit où agit un rayonnement pour provoquer la mutation d'une cellule. Ils peuvent accompagner leur schéma d'un texte explicatif.

Les 102 élèves participant à cette étude étaient tous en seconde générale et âgés de 16-17 ans. Ils ont été répartis en trois groupes (A-B-C) selon qu'ils aient ou non étudié la structure de l'ADN et les mutations. Dans le groupe A, on trouve 27 élèves qui n'ont jamais étudié ces notions. Le groupe B comprend 49 élèves qui ont étudié la structure de l'ADN une semaine avant mais pas les mutations. Le groupe C se compose de 26 élèves ayant déjà étudié les deux notions, un mois auparavant.

Pour classer les réponses des élèves dans les six niveaux définis, nous avons considéré essentiellement leurs réponses écrites, le schéma servant uniquement à clarifier une réponse quand cela était nécessaire. Pour chaque niveau, plusieurs réponses étaient acceptées (par exemple pour Cellule : « membrane cellulaire », « dans la cellule », « au centre de la cellule »). Certaines de leurs justifications étaient simple à classer : « Le rayonnement modifie la membrane cellulaire », est classé dans le niveau Cellule. Mais d'autres faisaient appel à plusieurs niveaux, nous avons donc adopté une méthode de distinction supplémentaire. Si les niveaux étaient organisés, avec une notion d'implication, d'ordre, alors c'était le plus petit qui prévalait : « Le rayonnement agit sur le chromosome qui porte un gène. Le rayonnement modifie la séquence ADN et le gène est modifié ». Le niveau considéré pour cette réponse est ADN, car on retrouve un ordre parmi les différents niveaux cités. Par contre, un élève qui écrit : « Le rayonnement agit sur le noyau et les organites cellulaires », sa réponse est non organisée, et classée dans deux niveaux : Noyau et Autre (aucun niveau n'ayant été défini pour les organites cellulaires).

Cette méthode nous a ainsi permis de classer toutes les réponses des élèves, mais en obtenant plus de réponses que d'élèves.

Résultats

A partir de la classification des réponses des élèves, nous avons calculé un pourcentage pour chaque niveau (Tableau 1).

Tableau 1 : Réponses des élèves (A : aucune notion étudiée, B : ADN étudié, C : structure de l'ADN et mutations étudiées)

Groupe	A		B		C		Total	
	n = 28	%	n = 56	%	n = 26	%	n = 110	%
Organisme	0	0	1	1,79	0	0	1	0,91
Cellule	10	35,71	9	16,07	7	26,92	26	23,63
Noyau	16	57,15	19	33,93	3	11,54	38	34,54
Chromosome	0	0	1	1,79	0	0	1	0,91
Gène	0	0	2	3,57	3	11,54	5	4,55
ADN	1	3,57	19	33,93	10	38,46	30	27,27
Autre	0	0	5	8,92	0	0	5	4,55
Pas de réponse		3,57	0	0	3	11,54	4	3,64

La somme des réponses des élèves pour chaque niveau, nous permet de constater la fréquence plus importante de trois d'entre eux : Cellule, Noyau et ADN. Pour le niveau Noyau, on constate une évolution entre les trois groupes, le nombre de réponses des élèves est divisé par deux lorsque l'on change de groupe, ainsi : A>B>C. Pour le niveau ADN, on observe le phénomène inverse, avec une accentuation quand on passe du groupe A au groupe B ou C : A<<B<C. Si on regarde ces résultats par groupe, on remarque que seul le groupe B donne des réponses pour chaque niveau, alors que le groupe C n'en donne que dans quatre. Le groupe A, quant à lui, ne donne des réponses que pour trois niveaux, principalement deux.

Conclusions et perspectives

Cet exercice nous a permis de classer les réponses des élèves dans six différents niveaux biologiques à partir de leurs justifications et de leurs dessins. Seulement quatre élèves n'ont pas répondu, l'exercice a donc été bien compris.

L'analyse des résultats nous a permis de confirmer les six niveaux définis à partir de notre analyse et de la littérature. L'ensemble de ces niveaux est retrouvé même si la répartition des réponses dans ses niveaux n'est pas uniforme. Deux niveaux ne possèdent qu'une réponse : Organisme et Chromosome. Pour le niveau Organisme, cela est surement dû à l'exercice qui présente un schéma à compléter sur lequel est représenté une cellule. Il était donc difficile pour les élèves d'imaginer un effet à un niveau supérieur. Quant au niveau Chromosome, c'est un résultat à approfondir, que nous ne comprenons pas étant donné que cette notion a été étudiée l'année précédente.

Nous avons également constaté des différences entre les groupes pour un même niveau. Ces différences peuvent être dues au moment où l'exercice a été réalisé : avant, pendant ou après l'étude des deux notions. On remarque que les groupes ayant le plus de réponses pour les niveaux moléculaires (Gène et ADN) sont les groupes B et C. Le groupe A, lui, a plus de réponses appartenant aux niveaux cellulaires (Cellule et Noyau). Ces différences peuvent être dues à l'étude récente ou non de la structure de l'ADN. L'étude des mutations a aussi pu avoir

un effet, visible lorsqu'on compare les groupes B et C. Les élèves du groupe C donnent plus de réponses entrant dans le niveau ADN (qui peuvent être dues à l'étude des mutations génétiques), au niveau Gène (ils ont étudiés les maladies génétiques) et au niveau Cellule (ils ont réalisé un TP pendant lequel ils ont observé les mutations de cellules après radiations UV). Ces résultats confirment la présence de nos six niveaux mais il serait intéressant de tester l'exercice sur une population plus importante pour confirmer ces premiers résultats.

La suite de notre travail va consister à proposer une modélisation des connaissances des mécanismes de mutation. Nous proposons d'utiliser les quatre mécanismes possibles à l'origine d'une mutation génétique de l'ADN : perte / ajout / échange / duplication, pour modéliser les connaissances des élèves en les appliquant à chacun des niveaux décrits précédemment. Cela nous donne, pour les niveaux Gène et ADN par exemple, l'organisation suivante.

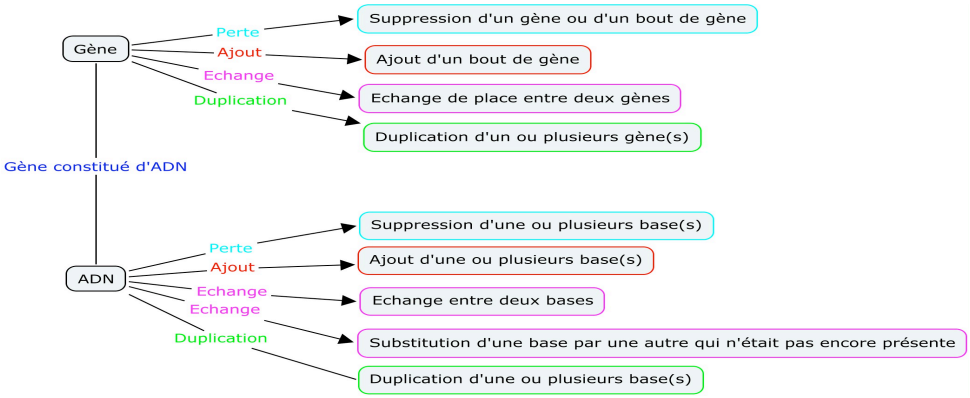

Schéma 1 : Mécanismes de changement aux niveaux Gène et ADN

Une répartition de ces mécanismes sur chaque niveau a été effectuée et l'objectif de la prochaine étape de notre étude est d'analyser plus en détail les réponses des élèves pour retrouver, à chaque niveau, ces quatre mécanismes de changement.

Le but final de cette étude est de construire une situation nous permettant de diagnostiquer les conceptions des élèves sur les mutations. Cette situation sera réalisée lors d'une séance de travaux pratiques, fera intervenir la conception de protocoles et sera étayer par un EIAH.

Références

Albaladejo, C. (1988). Pupils' meaning for 'mutation'. *Journal of biological education*, 22 (3), 215-219.

Bahar, M., Johnstone, A.H. & Hansell, M.H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology, *Journal of Biological Education*, 33 (2), 84-86.

Chapel, G., Marzin, P. & Ney, M. (2008). Do students ideas about the antigen-antibody link change when they are gathered to design an experimental procedure? *ERIDOB*, 2008.

Khattech, S., Abbes, S. & Orange, C. (2007). Argumentation du refus de deux modèles d'ADN : Conceptions et rapport au savoir d'élèves et d'étudiants tunisiens. *ARDIST*, 2007.

Knippels, M.C., Waarlo, A.J. & Boersma, K.T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics, *Journal of Biological Education*, vol. 39 (3), 108-112.

Johnstone, A.H. & Mahmoud, N.A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology, *Journal of Biological Education*, 14 (2), 163-166.

Marbach-Ad, G. & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena, *Journal of Biological Education*, 34 (4), 200-205.

Marzin, P., d'Ham, C. & Sanchez, E. (2007). How to scaffold the students to design experimental procedures? A proposition of a situation experienced by 108 high-schools students. *ESERA*, 2007.

Morimoto, K. (2002). Demonstrating the influence of UV rays on living things, *Journal of Biological Education*, 37 (2), 39-43.

Pfriedrichsen, P. & Stone, B. (2004). Examining Students' Conceptions of Molecular Genetics in an Introductory Biology Course for Non-Science Majors: A Self Study. *NARST*, 2004.

Ministère de l'éducation nationale, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche (2008). *Rapport du Jury de CAPES Externe de Sciences de la Vie et de la Terre.*

Zion, M., Guy, D., Yarom, R., & Slesak, M. (2006). UV radiation damage and bacterial DNA repair systems, *Journal of Biological Education*, 41 (1), 30-33.