

Marie-Louise Zimmermann-Asta

Docteure ès sciences de l'éducation

Collaboratrice de recherche au LDES

Professeur de physique, Ecole Jean Piaget. Responsable du CEFRA

Formatrice en gestion mentale

Actes du colloque international de Gestion Mentale, Paris 21-22 mars 1998.

Comment développer la créativité en sciences expérimentales

Pourquoi développer la créativité en sciences expérimentales ?

Le concept de créativité

Si l'on se réfère au concept énoncé par F. Raynal et A. Rieunier¹, la créativité c'est «la capacité à imaginer rapidement différentes solutions originales si l'on est confronté à une situation problème». Les créatifs - soulignent les auteurs - trouvent plus naturellement leur place dans les disciplines artistiques et les métiers de la communication ou de la publicité, même si parfois ils sont recherchés comme collaborateurs d'ingénieurs ou de techniciens en panne d'idées nouvelles. En pédagogie ou en psychologie, écrivent-ils, «on assimile généralement la créativité à la **production divergente** d'idées».

A. de La Garanderie² se distance de l'opinion courante de l'imagination créatrice qui oscille entre deux sens : l'imagination est réservée à une élite ou, par opposition, elle est ouverte à tous; l'imagination créatrice se définit par des «structures de projets de sens » qui sont à la disposition de tout être humain. Il n'aime pas beaucoup le terme de créativité, source de confusion, car selon lui, il faut distinguer la découverte et l'invention. La réalité n'a pas la même signification pour les

¹ Raynal (F.) et Rieunier (A.), *Pédagogie: dictionnaire des concepts clés*, Paris, ESF, 1997.

² Garanderie (A. de la), *Critique de la raison pédagogique*, Paris, Nathan, 1997.

découvreurs et pour les inventeurs : «pour les premiers, elle contient des signes cachés d'une présence; pour les seconds des moyens cachés d'une absence».³

Développer la créativité en mathématiques ?

Taurisson⁴ écrit que : «Pour être mathématicien, il faut être inventeur ou découvreur,...c'est-à-dire, ne pas se contenter de reproduire ou répéter». Il insiste sur le fait qu'il faut intégrer, dès le début, cette dimension dans l'éducation mathématique.

Est-il nécessaire de développer la créativité en sciences expérimentales ?

Giordan écrivait déjà en 1978⁵ : «Je ne pense pas que la science puisse se donner, il faut se l'approprier». Cette conquête, ajoutait-il, «exige un changement de rapport de l'élève au savoir : de consommateur qu'il est, l'élève doit devenir **acteur** de sa propre formation». Aussi, propose-t-il de s'appuyer «sur ces qualités mêmes qui font qu'un homme ne peut se soumettre à la tradition; c'est-à-dire: son comportement de curiosité, son attirance pour l'exploration».

J'ai déjà souligné la nécessité d'utiliser l'imagination dans l'apprentissage des sciences expérimentales. L'apprenant doit, au cours de son apprentissage scientifique, être mis face à des "situations questionnantes" pouvant être résolues : c'est ce qui se fait dans l'apprentissage des sciences par l'autonomie (APA)⁶.

Comment faire pour développer la créativité en sciences expérimentales

Eléments de réponse

Pour répondre à cette question fondamentale du "comment faire", je me base sur mes dix-sept années d'expérience de l'apprentissage par l'autonomie (APA). J'ai créé et pratiqué à l'Ecole Jean Piaget à Genève cette approche pédagogique qui prend appui sur les travaux de didactique des sciences. La création fait partie intégrante du développement de l'autonomie que je propose : c'est-

³ Garanderie (A. de la), *Comprendre et imaginer*, Paris, Centurion, 1987.

⁴ Taurisson (A.), *Pensée mathématique et gestion mentale*, Paris, Bayard Editions, 1993.

⁵ Giordan (A.), *Une Pédagogie pour les sciences expérimentales*, Paris, Centurion, 1978.

⁶ APA pour plus d'informations on peut consulter:

Zimmermann-Asta (M.-L.), « Ce que la gestion mentale apporte à l'apprentissage des sciences par l'autonomie (APA) » ; in *Gestion mentale et recherche de sens*, Paris, Nathan, 1996.

Zimmermann-Asta (M.-L.) *Sur les chemins de l'apprendre*, Genève, Les Editions du CEFRA, 1996.

à-dire, développer la capacité à s'investir personnellement dans un apprentissage, à donner du sens à ce que l'on fait.

Je ne vais pas détailler ici l'apprentissage par l'autonomie, toutefois, voici quelques éléments qui en favoriseront la compréhension.

Trois phases particulières caractérisent la mise en oeuvre de l'apprentissage par l'autonomie (APA) : la phase d'investigation, la phase de mise en commun et la phase de réinvestissement.

C'est dans cette première phase que l'élève donne libre cours à sa créativité pour formuler des hypothèses, chercher, inventer, découvrir, trouver des solutions.

Au départ, une «mise en projet» ainsi qu'une «évocation» de la question proposée sont nécessaires afin d'éviter de se lancer dans une lecture erronée de l'énoncé. Puis toute liberté de recherche est laissée à l'apprenant. Celui-ci - avec son co-équipier - peut utiliser les nombreuses ressources de la bibliothèque située dans la salle de cours ou élaborer des expériences permettant de répondre à la question posée. Tout le matériel (documents, matériel scientifique) est à disposition de l'élève qui peut également en demander d'autre à l'enseignant. En fonction des possibilités, ce matériel sera fourni à l'apprenant pour peu que celui-ci respecte les règles de sécurité discutées au début du cours. Le rôle de l'enseignant est d'inciter l'élève à chercher, à créer.

Dans «la phase de mise en commun» qui permet l'élaboration d'une réponse commune valable pour une classe à un moment donné, l'argumentation fait appel non seulement aux gestes mentaux de mémorisation, compréhension, réflexion mais aussi à celui de l'imagination créatrice. Dans cette phase, l'enseignant dirige la discussion mais n'intervient pas comme expert. Il provoque, perturbe les apprenants pour les amener à affiner leur argumentation et s'acheminer vers une élaboration de concepts de plus en plus scientifique.

Impossible lors de la «phase de réinvestissement» de ne pas faire appel à l'imagination car, dans les tests donnés (tests de réflexion ou tests pratiques), une mobilisation de la créativité est nécessaire puisque les situations proposées ont toujours une part d'inédit.

Dans cet apprentissage scientifique de type particulier - basé sur l'appropriation des concepts - l'apprenant mène une démarche centrée sur l'autonomie, la découverte, l'invention, la création, mais aussi sur la valorisation de ses capacités de recherche.

Conscient de la diversité des démarches, l'enseignant laisse l'étudiant parcourir son «propre chemin d'expérimentation» tout en le questionnant sur le pourquoi et sur le comment.

L'imagination est très utile lors de la préparation de tests ou d'examens. L'élève se situe en "projet d'examen". Il évoque l'environnement dans lequel il risque de se trouver; il crée des questions, des énoncés qui pourront lui être posés.

Evolution des « conceptions » grâce aux « perturbations conceptuelles »

La «conception» a été définie par (Giordan et de Vecchi, 1987) comme une idée sous-jacente, un modèle explicatif cohérent utilisé par l'apprenant face à une situation problème. Ces conceptions sont en rapport avec le niveau de connaissance et l'histoire de l'apprenant. Elles peuvent devenir des «conceptions-obstacles» (Zimmermann-Asta, 1990) que l'on ne peut modifier par un simple discours ou une expérience unique. Pour déstabiliser ces "conceptions-obstacles", l'enseignant va utiliser des «perturbations conceptuelles».

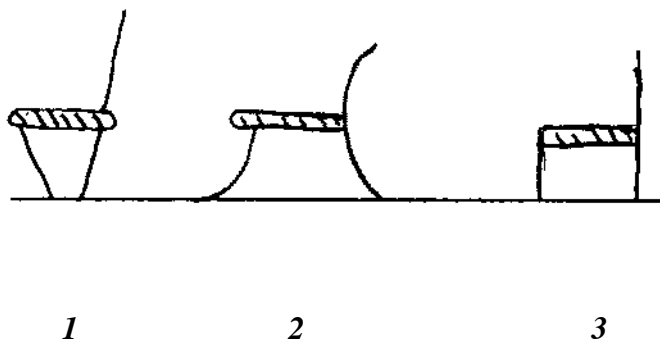
Le concept de «perturbation conceptuelle» (Zimmermann-Asta, 1990) recouvre tous les éléments perturbateurs choisis sciemment par l'enseignant dans le but de déstabiliser les modèles explicatifs de l'élève. Il est utilisé dans le cadre d'une approche qui privilégie la construction du savoir par l'apprenant.

Exemples de perturbations conceptuelles

En lui-même ce matériel didactique ne suffit pas à créer la perturbation, qui dépend de l'exploitation qu'en fait l'enseignant.

Questions perturbatrices

Question N°1



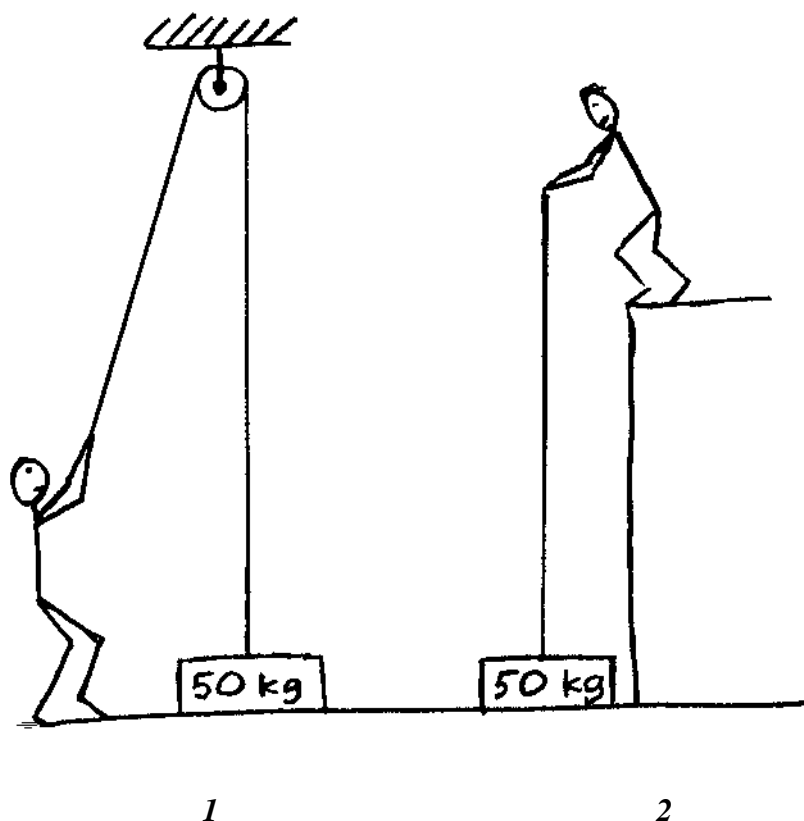
Quelle est la chaise la plus stable ?

La chaise la plus souvent citée est la N°3 car c'est celle qui est habituellement utilisée. Les apprenants font usage de leur bon sens disant qu'il doit bien y avoir de bonnes raisons pour que cette chaise ait été choisie.

Certains ont peur que la chaise N°2 s'écroule sous le poids du personnage qui s'y assied.

Peu d'entre eux font appel aux notions d'équilibre et de "polygone de sustentation" pour justifier le choix de la deuxième chaise qui est la plus stable.

Question N°2



Quel personnage doit exercer la plus grande force sur la corde pour hisser les deux objets de 50 [kg] ?

Les apprenants ont parfois rencontré des situations analogues et répondent d'après leur expérience sans considérer la formulation de la question.

Pour eux, «c'est le personnage N°2 qui exerce la plus grande force» parce que «c'est plus difficile» et qu'il «se fatigue plus».

On peut remarquer que la formulation de la question est perturbatrice puisqu'elle induit souvent des réponses du type «plus grande ou plus petite que» alors que les personnages exercent tous deux la même force !

Documents perturbateurs

Ces documents sont apportés lorsque l'enseignant décide que le moment est adéquat pour provoquer un conflit cognitif.

En premier lieu, les élèves sont amenés à répondre à la question suivante :

Combien un arc-en-ciel possède-t-il de couleurs ?

Les élèves répondent que ce sont les sept couleurs suivantes : «violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge» parce qu' «ils le savent» ou parce qu'ils ont utilisé des références bibliographiques. Le Petit Robert ou le Micro-Robert confirment leurs réponses, alors que le Petit Larousse illustré (1972) parle de sept couleurs "conventionnelles". Le livre de physique⁷ indique que, lors de la formation d'un arc-en-ciel, « les gouttes d'eau se comportent comme autant de petits prismes et décomposent la lumière blanche du soleil, formant un spectre continu de sept couleurs principales». A la page précédente, il est noté que le spectre de la lumière blanche, obtenu avec un prisme, «montre qu'elle est constituée d'une infinité de lumières simples (monochromatiques) variant du violet au rouge, sans discontinuité». Alors, qu'en est-il des couleurs de l'arc-en-ciel ? Sur un panneau d'affichage, situé bien en vue dans la classe, se trouve le document suivant extrait du livre : *Papa, dis-moi l'arc-en-ciel qu'est-ce que c'est ?*⁸

Non : Le plus raisonnable est de se dire que les couleurs de l'arc-en-ciel, avec une infinité de nuances, vont du rouge au violet, en passant par l'orange, le jaune, le vert et le bleu.

Et en tout, ça fait six (ou une infinité...) Mais en tout cas pas SEPT!

7

La lumière blanche est formée par la superposition d'une infinité de lumières (ou radiations) monochromatiques dont la couleur varie progressivement du rouge au violet en passant par l'orangé, le jaune, le vert et le bleu.

Ce document qui n'est vu que par quelques élèves n'ébranle pas leurs certitudes. Les expériences de décomposition de la lumière avec un prisme ou avec un spectroscope ne changent rien sur le fait que «l'arc-en-ciel a bien sept couleurs».

C'est lors de la mise en commun que l'enseignant demande de préciser ce qu'est «l'indigo». Alors pourquoi ne pas nommer d'autres couleurs telles que rouge foncé, vert émeraude, etc. ? *Y a-t-il 6 ou 7 couleurs ou... ?* Pourquoi 7 : parce que c'est un nombre "magique"! Il y a les sept merveilles du monde, les sept notes de la gamme, etc.

La succession de perturbations

Quelle est la température d'ébullition de l'eau ?

Certains élèves cherchent dans leur mémoire quelques souvenirs emmagasinés au cours de leur scolarité et affirment que cette température est de 100 degrés.

⁷ Avanzi (P.) et all, *Physique, sciences expérimentales*, Chimie, Lausanne, Editions LEP, 1992.

⁸ Maury (J.-P.), *Papa, dis-moi l'arc-en-ciel qu'est-ce que c'est ?*, Paris, Editions Ophrys, 1986.

Quelques uns consultent les documents et trouvent que l'eau bout à 100 degrés (à la pression normale), mais, oublient souvent cette condition particulière.

Parmi ceux qui réalisent une expérience en faisant bouillir de l'eau dans la classe, l'un d'eux considère le premier frémissement comme l'ébullition et obtient donc une température erronée qui est critiquée par ses pairs. D'autres estiment que leur thermomètre est défectueux parce qu'il s'arrête à 98 degrés à Genève.

Le débat provoqué face à ces différents résultats obtenus permet de préciser la température d'ébullition de l'eau et de parler de l'influence de la pression atmosphérique.

La question suivante introduit une autre perturbation.

***La température d'ébullition de l'eau est-elle :
la même, plus élevée ou plus faible
à la montagne qu'à Genève ?***

A la montagne, certains affirment qu'il y a plus d'oxygène puisqu'on respire mieux, (l'air est plus pur), donc «la température d'ébullition est plus élevée». Cette réponse est contredite par les élèves qui sont montés à haute altitude et qui savent par expérience que «plus on monte, plus on a de difficulté à respirer». Mais, qu'en est-il de cette température ?

Chacun va chercher dans ses souvenirs (expériences, émissions TV, informations familiales, discussions, etc.) Quelques uns proposent d'utiliser les documents à disposition, cherchent certaines ressources et trouvent la photo suivante indiquant le température d'ébullition de l'eau à 80 degrés, à 4482 mètres d'altitude, au bord du lac Yamdrok (Tibet).



Le questionnement continue.

***Quelle est la température de la vapeur d'eau dans les différents étages
d'une "marmite à vapeur"?***

L'enseignant apporte la marmite. On fait bouillir de l'eau et les paniers percés de petits trous laissent passer la vapeur; la marmite est ensuite coiffée d'un couvercle.

La plupart des apprenants répondent que la température est plus élevée dans les étages parce que l'air chaud monte. Quelques uns estiment qu'avec les pertes de chaleur sur la marmite, elle doit être plus faible. Quelques rares apprenants osent dire : «elle est la même».

This note dans son livre *Révélation gastronomiques* (1995) qu'une rumeur court : « dans les étages de cette marmite à vapeur, la température atteindrait 140 degrés! » Par acquis de conscience, il a procédé à des mesures et affirme que la température ne dépasse pas 100 degrés, température d'ébullition de l'eau. Nous supposons que ces mesures ont été prises au bord de la mer.

Qu'en est-il de la cocotte minute ou marmite à pression ?

Chacun affirme que les aliments cuisent plus vite dans la cocotte minute mais de là à penser que la température d'ébullition est plus élevée, ce lien n'est pas évident.

This écrit⁹ que cette cocotte minute est une "anti-montagne". Dans les cocottes actuelles, l'eau bout à 130 degrés environ (ceci est dû à l'augmentation de la pression) ce qui fait que la cuisson des légumes, par exemple, est bien plus rapide.

Lorsque toute ces étapes auront été franchies, discutées, on peut penser que tous les élèves auront compris qu'il y a un lien entre la température de changement d'état et la pression et qu'ils seront capables de mobiliser leurs connaissances, d'établir des liens face à de nouvelles situations. Pourtant, lorsque l'enseignant propose de faire bouillir de l'eau à la température ambiante (sous vide), il se trouve encore quelques élèves qui hésitent à toucher le récipient dans lequel ils ont vu bouillir de l'eau à 21 degrés, de peur de se brûler! Ceci montre combien les conceptions des apprenants sont encore imprégnées de l'idée qu'à l'ébullition la température est très élevée. Cette conception est très utile pour éviter de se brûler. Mais on peut constater que des élèves ont du mal à mobiliser leur imagination face à des situations originales.

Une autre relation enseigné-enseignant

L'attitude de l'enseignant est fondamentale pour permettre à l'apprenant d'élaborer ses processus d'apprentissage. APA est centré sur celui qui apprend : l'élève. Celui-ci est le principal acteur des leçons; de ce fait, l'enseignant descend de son piédestal, perd un peu de son pouvoir et laisse l'élève prendre ses responsabilités. Mais cela ne se fait pas sans contraintes strictes au niveau de la présence et de l'attitude en classe.

⁹ This (H.), *Les secrets de la casserole*, Paris, Editions Belin, 1993.

L'enseignant est celui qui provoque les événements, qui régule, qui gère. Sa curiosité est toujours en éveil. A l'écoute des élèves, il identifie les «erreurs» des apprenants comme des indicateurs du «chemin à parcourir». Cependant, il n'est pas non directif et explicite clairement les exigences nécessaires pour permettre à chacun de travailler.

Conclusion

De la créativité pour l'apprenant et pour l'enseignant

Face à une perturbation l'élève peut évoquer tous les éléments qu'il a mémorisés ou conceptualisés afin de les analyser. Cependant, la perturbation a été choisie par l'enseignant parce qu'elle est en opposition avec les conceptions de l'apprenant. C'est un conflit cognitif qui est créé et qui va susciter chez l'apprenant une démarche personnelle de changement. Notons qu'il ne suffit pas d'une expérience ou d'une contradiction pour amener l'élève à changer; diverses perturbations sont souvent nécessaires pour provoquer un véritable changement conceptuel.

Si la «perturbation conceptuelle» - question, expérience perturbatrice, etc. - permet une évolution des conceptions, elle n'est pas une recette pédagogique. Elle demande à l'enseignant de connaître les conceptions des apprenants - soit en faisant des enquêtes ou en utilisant les travaux de recherches - d'identifier les conceptions-obstacles et de laisser libre cours à sa créativité pour inventer des perturbations. Bien sûr, ces perturbations doivent être essayées, étudiées, analysées afin de pouvoir constituer un potentiel de perturbations possibles.

Lorsqu'il aura créé un certain nombre de ressources pédagogiques perturbatrices dans lesquelles il pourra puiser, l'enseignant, pour choisir la perturbation la plus adéquate, devra faire appel à «une intuition pédagogique structurée» qui nécessite de l'imagination.

Bibliographie

Avanzi (P.) et all, *Physique, sciences expérimentales*, Chimie, Lausanne, Editions LEP, 1992.

Garanderie (A. de la), *Critique de la raison pédagogique*, Paris, Nathan, 1997.

Giordan (A.) et De Vecchi (G.), *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1987.

Maury (J.-P.), *Papa, dis-moi l'arc-en-ciel qu'est-ce que c'est ?*, Paris, Editions Ophrys, 1986.

Raynal (F.) et Rieunier (A.), *Pédagogie: dictionnaire des concepts clés*, Paris, ESF, 1997.

Taurisson (A.), *Pensée mathématique et gestion mentale*, Paris, Bayard Editions, 1993.

This (H.), *Les secrets de la casserole*, Paris, Editions Belin, 1993.

This (H.), *Révélation gastronomiques*, Paris, Editions Belin, 1995.

Zimmermann-Asta (M.-L.), Concept de chaleur. Contribution à l'étude des conceptions d'élèves et de leurs utilisations dans un processus d'apprentissage, *Thèse N° 172*, Genève, FPSE, Université de Genève, 1990.

Zimmermann-Asta (M.-L.) *Sur les chemins de l'apprendre*, Genève, Les Editions du CEFRA, 1996.
Zimmermann-Asta (M.-L.), « Ce que la gestion mentale apporte à l'apprentissage des sciences par l'autonomie (APA) » ; in *Gestion mentale et recherche de sens* , Paris, Nathan, 1996.