

Un outil pour apprendre : l'expérience contre-intuitive

par **Richard-Emmanuel EASTES**

École normale supérieure - 75000 Paris

Emmanuel.Eastes@ens.fr

et **Francine PELLAUD**

Laboratoire de Didactique et Épistémologie des Sciences - Genève - Suisse

Francine.Pellaud@pse.unige.ch

RÉSUMÉ

Parmi les expériences spectaculaires utilisées aussi bien en vulgarisation que dans l'enseignement des sciences, l'expérience contre-intuitive présente un intérêt pédagogique formidable car elle permet à la fois d'émerveiller, de perturber les conceptions de l'élève et de le motiver à en savoir davantage. Pourtant, les résultats ne sont pas toujours à la hauteur des espérances que l'on peut y placer.

L'analyse des expériences contre-intuitives dans le cadre théorique du modèle allostérique de l'apprendre permet de rationaliser la notion de contre-intuitivité et de comprendre comment elle peut être utilisée par l'enseignant pour permettre à l'élève d'apprendre. Mais le modèle permet également de prévoir que, employées sans précautions, elles risquent de s'avérer totalement inutiles, voire néfastes pour l'élève.

C'est ce que confirme la recherche que nous avons conduite sur ce thème [1] et qui montre que pour être contre-intuitive sans être contre-productive, pour permettre d'atteindre les objectifs pour lesquels elle est imaginée, une expérience doit être inscrite dans un contexte qui présente certains critères indispensables. Ces derniers fournissent en retour un cadre pratique pour une utilisation efficace des expériences contre-intuitives.

EXPÉRIENCES SPECTACULAIRES, EXPÉRIENCES CONTRE-INTUITIVES

L'utilisation d'expériences *spectaculaires* pour mettre en scène la science n'est pas nouvelle. Depuis les « magiciens-scientifiques », bateleurs de foire de tous poils qui proposaient contre quelques pièces les expériences les plus étonnantes au *Siècle des Lumières*, en passant par Tom Tit (*alias* Arthur GOOD) qui, dans les années 1900, regroupa en plusieurs recueils des expériences ludiques et surprenantes [2], les expériences amusantes et spectaculaires ont été largement employées. On les retrouve dans les musées scientifiques et les animations culturelles - physique du quotidien, chimie des flammes et des couleurs, jeux de logique, etc. - mais également en classe, proposées par des enseignants désireux de rendre leurs cours plus attrayants.

Leurs objectifs sont multiples : distraire le public ou l'auditoire, l'émerveiller pour le mettre en « appétit de science », dramatiser la présentation d'un cours ou d'une conférence pour la rendre plus attractive, susciter l'esprit critique ou le questionnement et, si possible, perturber le savoir préétabli ou les idées préconçues de l'assistance. Ainsi, elles sont choisies pour leur esthétique, leur côté effrayant ou impressionnant, leur degré de technicité ou d'inventivité, à moins qu'elles ne soient simplement démonstratives d'un phénomène ou d'un savoir que l'on souhaite présenter.

Parmi elles, un type d'expérience est particulièrement efficace pour atteindre quasiment tous ces objectifs simultanément : l'expérience contre-intuitive. Elle constitue à ce titre un outil de prédilection pour la plupart des médiateurs scientifiques, qui en font un usage immodéré, aussi bien dans les musées que dans les animations-spectacles.

D'une façon générale, nous choisissons de nommer « expérience contre-intuitive » une expérience qui produit un résultat inverse ou très différent de celui auquel on s'attend, intuitivement, avant qu'elle ne soit mise en action, ou dont l'interprétation va à l'encontre de l'évidence ou du sens commun.

En chimie par exemple, la combustion du sodium⁽¹⁾ que déclenche son immersion dans l'eau est totalement contre-intuitive, qui plus est à double titre : il est en effet communément admis que d'une part « l'eau éteint le feu » et que d'autre part « les métaux ne brûlent pas ».

En physique, le phénomène de ségrégation (voir par exemple [3]) est également hautement contre-intuitif, à double titre encore : secouer un récipient contenant un mélange de grosses et de petites billes permet non seulement de les séparer au lieu de créer davantage de désordre, mais, contre toute attente, ce sont les grosses billes que l'on retrouve *in fine* sur le dessus.

La contre-intuitivité ne se limite d'ailleurs pas aux résultats des expériences : une photographie, un récit, un tableau d'ESCHER [4], une démonstration mathématique, une sensation physiologique peuvent être contre-intuitifs.

En témoigne par exemple cette carte postale dénichée il y a quelques années dans une boutique de la place Jemaa-el-Fna à Marrakech (cf. figure 1). D'autres exemples figurent sur le site des *Atomes Crochus* [5].



Figure 1 : Le feu a-t-il une ombre ? Exemple d'image contre-intuitive.

(1) La combustion du dihydrogène, libéré par la réduction de l'eau par le sodium, peut à son tour initier celle du métal, comme le prouvent la couleur jaune caractéristique de cette dernière (mauve lorsque l'on emploie le potassium) et la fumée blanche d'oxyde de sodium.

AU-DELÀ DU SPECTACULAIRE : DE LA VULGARISATION À L'ENSEIGNEMENT

Comme toute expérience présentant un caractère spectaculaire, l'expérience contre-intuitive constitue en premier lieu un procédé de choix pour susciter l'intérêt, les élèves étant sans nul doute plus motivés pour écouter l'explication d'un phénomène physico-chimique complexe après la présentation d'une telle expérience, même dans le cadre d'une présentation magistrale. Mais il serait dommage de s'arrêter là et de ne pas s'interroger sur la réelle portée de ce concept : par le caractère inattendu et paradoxal de ses résultats, l'expérience contre-intuitive n'est-elle pas susceptible d'offrir, en matière d'apprendre, des possibilités bien plus grandes que la simple expérience spectaculaire ?

C'est ce que la confrontation du concept de *contre-intuitivité* avec les résultats des recherches en didactique des sciences sur *l'apprendre* ⁽²⁾ permet de mettre en évidence. En effet, bien plus que de permettre l'émerveillement de l'assistance, il apparaît que l'expérience contre-intuitive constitue à elle seule un puissant outil pédagogique dont l'utilisation peut réellement faciliter *l'acte d'apprendre*. À

ce titre, alors que son usage demeure relativement limité au cercle des médiateurs scientifiques en quête de spectaculaire, elle mériterait d'être plus largement diffusée dans l'enseignement des sciences expérimentales, voire des autres disciplines comme en témoigne par exemple le ruban à une seule face de la figure 2.

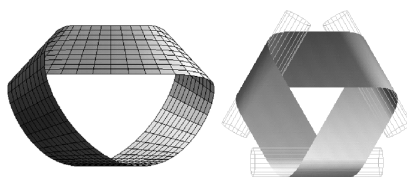


Figure 2 : Le ruban de Möbius et ses variantes : un exemple d'application de la contre-intuitivité aux mathématiques.

LES EXPÉRIENCES CONTRE-INTUITIVES : UN INTÉRÊT INDÉNIABLE, MAIS...

Pourtant, un regard critique porté sur l'utilisation de ce type d'expérience permet vite de réaliser que tout n'est pas si simple et il suffit de déambuler parmi les modules proposés par les musées ou les cités de sciences, qui en font parfois un usage immodéré, pour s'apercevoir de quelques limites très significatives.

C'est ainsi que l'on peut voir de jeunes enfants faire fonctionner ces modules sans être le moins du monde perturbés par ce qu'ils observent, l'enjeu ou les phénomènes illustrés les dépassant totalement. C'est par exemple le cas de ce dispositif, présent notamment au *Palais de la Découverte* [7], qui montre que deux balles lâchées simultanément sur un plan incliné et une cycloïde n'atteignent pas le sol en même temps et qu'en outre,

(2) Ce néologisme introduit par GIORDAN en 1998 [6] est particulièrement utile pour rendre compte de la richesse du processus, qui dépasse la simple acquisition de connaissances : *l'apprendre* se réfère aussi bien à comprendre, tisser des liens entre ses connaissances et en mémoriser de nouvelles, qu'à découvrir, acquérir de l'expérience ou mobiliser son savoir. Au lecteur non habitué à l'utilisation de ce néologisme, rappelons que bien d'autres substantifs sont dérivés de verbes et en premier lieu... le « savoir » !

la plus rapide est la seconde, c'est-à-dire celle qui doit paradoxalement parcourir le chemin le plus long. À supposer que la contre-intuitivité soit perçue par les visiteurs (ce qui n'est *a priori* même pas évident), livrés à eux-mêmes et faute d'un bagage théorique suffisant, ils ne peuvent guère en tirer profit. Le module d'exposition devient alors un objet banal, sur lequel on ne s'arrête que parce que l'on peut « toucher ».



Figure 3 : Expérience contre-intuitive illustrant l'effet Venturi.
(*Ebulliscience*, Vaulx-en-Velin, janvier 2001).

On verra également des visiteurs percevoir l'aspect paradoxal de telle expérience contre-intuitive mais en déduire des interprétations complètement farfelues... La célèbre expérience de la balle ou du ballon en apparente « lévitation » au-dessus du flux d'air d'une soufflerie, notamment mise en œuvre à l'*Explor@dome* [8] ou à *Ebulliscience* [9] (cf. figure 3), permet en l'occurrence des observations particulièrement édifiantes. Devant ce dispositif, on entendra par exemple tel parent expliquer à son fils que « les lignes de courant de l'air emprisonnent le ballon, un peu comme dans une cage, ce qui l'empêche de tomber »...

Bien pire, l'expérience contre-intuitive peut induire des idées encore plus fausses que celles véhiculées par l'intuition initiale. Lors d'un atelier expérimental des *Atomes Crochus* (voir [5]), nous avons proposé aux participants de comparer en la mesurant avec un thermomètre numérique sans décimales, la différence de température entre une chaussette de laine et une feuille d'aluminium froissée en boule, toutes deux accrochées au mur pour en éviter le réchauffement par leurs mains. Interrogés au préalable sur le résultat attendu, la plupart prévoyaient que la laine serait plus chaude que l'aluminium : « *La laine chauffe puisqu'on en met en hiver* »⁽³⁾. Ils pouvaient ensuite se rendre compte de leur méprise en réalisant la mesure. Mais l'entretien postérieur à la manipulation était encore plus intéressant pour analyser ce que notre public avait réellement retenu. C'est ainsi qu'un enfant, interrogé après l'expérience sur les raisons de l'égalité des deux températures, nous a annoncé qu'il était normal qu'il en soit ainsi puisque : « *La laine, c'est fait avec de l'aluminium* ».

Ainsi, si les expériences contre-intuitives peuvent être performantes pour perturber les idées préconçues des *apprenants*⁽⁴⁾, on leur octroie peut-être trop facilement la faculté d'être « auto-formatrices ». On suppose que leurs résultats inattendus sont suffisants pour permettre de découvrir les subtilités des phénomènes qu'elles sont sensées illustrer.

(3) Beaucoup d'enfants prévoyaient tout de même le résultat inverse, car « *Les pompiers mettent des couvertures en aluminium aux grands brûlés pour les protéger du froid* ».

(4) Dans toute la suite, nous utiliserons souvent ce terme pour désigner aussi bien l'élève que le participant à une activité de vulgarisation scientifique : conférence, atelier, spectacle, musée...

Qu'en est-il et qu'apporte réellement l'expérience contre-intuitive ? Cette dernière permet-elle réellement d'apprendre ? Le cas échéant, dans quelles conditions ? Mais au fait, qu'est-ce « qu'apprendre » ? C'est à ces questions que nous nous proposons de répondre, en replaçant le concept d'*expérience contre-intuitive* dans le cadre théorique du *modèle allostérique de l'apprendre*, après l'avoir défini.

PETIT DÉTOUR PAR LES THÉORIES DIDACTIQUES DE L'APPRENDRE

La notion de contre-intuitivité est relativement... intuitive et ne nécessite pas que l'on s'appesantisse sur sa définition. En revanche, les *origines* de la contre-intuitivité sont plus difficiles à identifier et avant de parler d'expérience « contre »-intuitive, il paraît nécessaire de tenter de comprendre ce qui conditionne « l'intuition ». Car contrairement aux idées reçues (que l'on pense par exemple à la célèbre « intuition féminine »), cette dernière n'est jamais innée !

En effet, l'intuition personnelle de chacun d'entre nous trouve son origine dans le cadre de pensée et d'interprétation du monde que nous nous sommes construit au cours de notre vécu et qui conditionne la manière dont nous recevons, analysons et stockons les informations nouvelles. Ce « cadre de références » interne est évidemment extrêmement dépendant du milieu familial et socio-culturel dans lequel nous avons grandi et il est étayé à la fois par nos expériences passées et par nos connaissances acquises.

À ces différents titres, la compréhension de la contre-intuitivité nécessite un détour par les modèles didactiques qui explicitent la manière dont nous nous construisons notre propre savoir, c'est-à-dire « la manière dont on apprend ».

Comme les modèles développés par les sciences dites « dures », le modèle didactique est une tentative d'explicitation simplifiée et idéalisée d'une réalité complexe, en l'occurrence les *mécanismes de l'apprendre*, dans le cadre d'un domaine d'application limité et bien déterminé. Jusqu'aux recherches les plus récentes en la matière, les processus d'élaboration de la pensée avaient été décrits par trois modèles principaux (voir [10]) : le « modèle empiriste », le « modèle behavioriste » et le « modèle constructiviste » ou « socio-constructiviste ».

Or, ces trois modèles s'avèrent souvent trop frustes car ils s'appuient sur des idées insuffisantes pour rendre compte de la complexité de l'acte d'apprendre. La première repose sur le postulat d'un développement intellectuel linéaire et « naturel » de l'enfant, caractérisé par la succession de « stades » successifs (PIAGET, 1964) ; la seconde stipule que l'acquisition des savoirs se fait, elle aussi, de manière linéaire, soit par imprégnation et conditionnement (empirisme et behaviorisme), soit par un processus analogue à la digestion des aliments : la succession des processus d'« assimilation » et d'« accommodation » (constructivisme).

En effet l'idée d'un *développement naturel* dépendant avant tout de facteurs biologiques est totalement contredite par les recherches en neurosciences [11] et les observa-

tions didactiques (recherches LDES de 1986 à 2004), qui montrent notamment qu'un individu ayant accédé au « stade » des opérations intellectuelles abstraites peut raisonner de manière très « enfantine » dans un domaine non familier.

Par ailleurs, considérer l'élève comme une quasi-machine à digérer les informations, quand bien même il s'y emploierait de façon active, revient à se priver totalement de tout ce qui n'est justement pas « mécanique » dans l'acte d'apprendre. Et en effet, comme le précise GIORDAN (2000), négliger les aspects affectifs et émotionnels conduit à une vision trop optimiste ou idéalisée : « *La sphère affectivo-émotionnelle, si elle n'est niée par personne, n'a [jamais été] prise en compte, faute de modèle explicitant les liens entre le cognitif et l'affectif. Pourtant les sentiments, les désirs, les passions éventuelles jouent un rôle stratégique dans l'acte d'apprendre* ».

Enfin, il est rare qu'en ce qui concerne les apprentissages de concepts ou de démarches, la nouvelle information proposée par l'enseignant s'inscrive d'emblée dans la ligne des savoirs maîtrisés par l'élève. Au contraire, ceux-ci constituent autant « d'obstacles » sur les plans cognitif et émotionnel, obstacles dont BACHELARD (1934, 1938) allait déjà jusqu'à préconiser la « destruction » et dont il est, en tout état de cause, nécessaire de tenir compte. C'est également l'idée que défend BARTH avec l'idée de « dynamique des savoirs » (1993) ou lorsqu'elle écrit : « *Le sens que nous avons donné au monde qui nous entoure, autrement dit notre savoir, [n'est pas] un absolu qui correspondrait à une réalité qu'il serait possible de figer, mais un savoir relatif à une certaine interprétation, qui tient compte d'une expérience donnée. C'est alors à la lumière de la perspective choisie qu'il faut évaluer la validité d'un savoir et non pas à partir d'un critère absolu* » [12].

Dans la mesure où l'expérience de chacun se construit dans un contexte particulier, une telle affirmation prend tout son sens si nous accordons à notre environnement une influence primordiale dans l'apprendre. C'est ce que fait BRUNNER [13] lorsqu'il place l'influence de l'histoire et de la culture au cœur de ce processus, à l'inverse des constructivistes qui isolent l'individu apprenant : en mettant l'accent sur les seules capacités cognitives, ils minimisent la place et le rôle du milieu culturel, qui contribue pourtant à donner du sens aux situations.

Il apparaît alors clairement que les modèles évoqués précédemment n'accordent pas suffisamment d'importance à la synergie des facteurs essentiels que sont :

- ◆ le rôle des aspects émotionnel et cognitif dans l'acte d'apprendre ;
- ◆ l'importance de l'idée de « déconstruction » des structures mentales préexistantes ;
- ◆ l'influence majeure de l'environnement dans lequel se déroule l'apprentissage.

LES APPORTS DU MODÈLE ALLOSTÉRIQUE DE L'APPRENDRE

Le modèle allostérique, développé par André GIORDAN & al. depuis 1987 ([10], [14] et [15]), prend en compte ces différents paramètres de manière simultanée [6]. Il propose tout d'abord une explicitation de la structure du savoir sous la forme d'un réseau complexe de « conceptions » [1] et [16], véritables « briques » élémentaires, mobilisatrices de la pensée.

Dans le cadre de ce modèle, l'acte d'apprendre se présente comme « *le passage d'un état de savoir à un autre* », qui s'effectue par un processus de transformation du réseau de conceptions sous l'influence de l'environnement de l'apprenant⁽⁵⁾. De plus, il introduit la notion de « stabilité du savoir », qui permet à la fois de rendre compte des difficultés liées au passage d'un état de savoir à un autre et de la persistance de certains états par rapport à d'autres.

Enfin, au-delà de sa dimension explicative, ce modèle possède une dimension prédictive, qui conduit en l'occurrence à des préceptes d'ordre pédagogique. Il propose un « environnement didactique » pour transformer les conceptions, approprié à la quasi-totalité des situations éducatives ou de médiation.

Conformément à la métaphore explicitée dans la note de bas de page n° 5, ce modèle assimile le savoir à une protéine *allostérique*, elle-même constituée de « conceptions-acides aminés » liées les unes aux autres par de multiples interactions, selon des arrangements qui ne sont pas sans rappeler les structures (primaire à quaternaire) des polypeptides. Le modèle allostérique s'apparente par suite fortement à la théorie de la réactivité chimique qui décrit les transformations de la matière, c'est-à-dire tout ce qui relève du « passage d'un état de la matière à un autre ». De même que le modèle explicite la structure du savoir, les processus qui régissent ses évolutions et la stabilité de ses états, celle-ci propose en effet une modélisation de la structure de la matière, des mécanismes qui régissent ses transformations et des critères qui permettent de comprendre les stabilités relatives des réactifs et produits d'une transformation chimique (notamment à travers l'atomistique, la cinétique et la thermodynamique).

APPRENDRE, C'EST TRANSFORMER SES CONCEPTIONS

Ce sont la multitude des informations dans lesquelles chaque personne baigne dès sa plus tendre enfance, véritable « cadre de références » externe pour l'ensemble de nos connaissances, qui vont modeler ce que nous nommons les « conceptions ». Par là, le modèle allostérique de l'apprendre propose une clef extrêmement performante pour la compréhension de l'acte d'apprendre⁽⁶⁾.

Ces informations - qui proviennent de nos environnements non seulement culturels et historiques propres, mais également géographiques, religieux, socio-économiques, politiques ou mêmes affectifs - influencent nos modes de raisonnements explicites (connaissances logicomathématiques) ou implicites (paradigmes sociaux, modèles, etc.), nos signi-

(5) L'importance accordée à l'environnement individuel se retrouve jusque dans la dénomination du modèle. En effet, cette appellation de modèle « allostérique » fait référence aux protéines du même nom, dont les potentialités exceptionnellement variées se développent ou non en fonction des stimulations qu'elles reçoivent de l'environnement dans lequel elles évoluent.

(6) Ces conceptions ne sont jamais évidentes et rarement exprimées de manière explicite. Telles l'iceberg repéré par la petite fraction qui affleure au-dessus de l'eau, elles ne sont révélées que par des gestes, des attitudes, l'expression de valeurs, de croyances ou de connaissances, au cours d'une interrogation en classe, d'une discussion, d'un dessin, etc.

fiant (linguistiques, iconiques, symboliques, etc.) et notre réseau de références (notions, concepts, valeurs, etc.), définissant ainsi un réseau sémantique, base de toute production de sens. Les « conceptions », résultat de l'ensemble de ces interactions, peuvent alors être définies comme « *notre manière intime et personnelle de donner du sens au monde qui nous entoure* » ; elles sont à la fois savoir en place et filtre pour les informations nouvelles.

Dans ce cadre, l'acte d'apprendre (c'est-à-dire « le passage d'un état de savoir à un autre ») s'identifie très naturellement à la *transformation du réseau des conceptions* [16], généralement sous l'influence d'un ensemble d'informations nouvelles. La figure 4 en propose une première modélisation ; elle montre que l'information peut alors, soit être filtrée et déformée par la conception, soit induire sa transformation en une conception plus opératoire.

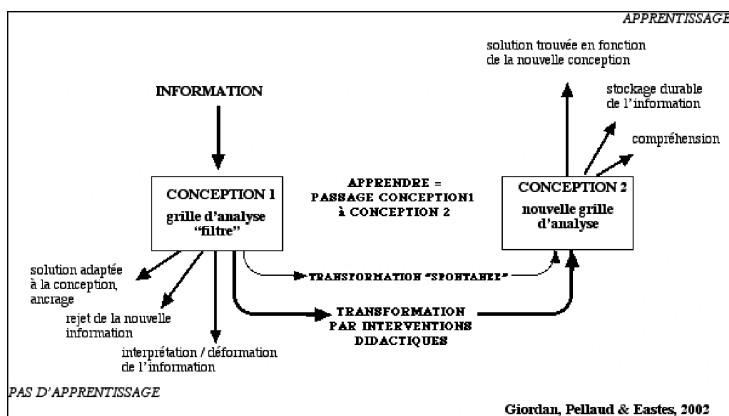


Figure 4 : Modélisation de la fonction des conceptions dans l'apprendre.

Mais si les conceptions jouent un rôle de « filtre » pour toute nouvelle information et si apprendre consiste en la transformation des conceptions, nous devons cependant accepter qu'elles sont en même temps les seuls éléments à la disposition de l'individu apprenant pour effectuer cette transformation ! Il ne lui est possible d'apprendre qu'à partir d'elles ; entre temps, le savoir antérieur, seul outil à sa disposition, lui a servi de cadre interprétatif.

Il est donc nécessaire de penser la transformation du savoir comme un processus simultané de « déconstruction-reconstruction » des conceptions, où l'ancien savoir serait transformé et ne céderait véritablement la place au nouveau que lorsqu'il apparaîtrait périmé. Dès lors, il importe de chercher à savoir quels peuvent être les paramètres susceptibles de permettre cette déconstruction-reconstruction du réseau de conceptions.

PERTURBER POUR DÉCONSTRUIRE, ACCOMPAGNER POUR RECONSTRUIRE

L'ancrage extrêmement fort des conceptions conduit à l'idée qu'elles peuvent être

des « obstacles » à l'apprendre ; c'est notamment la thèse de BACHELARD (1938) déjà évoquée plus haut. Toutefois, le modèle allostérique nuance cette position radicale. En effet, si BACHELARD préconise de « détruire » ce qu'il nomme « des connaissances mal faites », il constate tout de même que cette action est impossible car l'apprenant ne se laisse pas facilement déposséder de ses opinions et de ses croyances, qui se révèlent être autant de compétences qui lui servent de cadre interprétatif du monde. Par suite, il est évident que le processus de l'apprendre ne peut se passer sans difficulté, sans phase d'inquiétude, sans le franchissement d'une barrière cognitive parfois extrêmement élevée et le passage par un état de transition incertain, le temps de se réapproprier un autre savoir au moins aussi fiable que celui qui a été « lâché ».

Pour bien comprendre la nature de cette « barrière cognitive », remémorons-nous l'analogie développée plus haut entre le processus de l'apprendre et la réactivité chimique. La transformation d'une molécule en une autre ne relève-t-elle pas d'un processus similaire ? Ne passe-t-elle pas par une phase de déstabilisation qui nécessite le franchissement de ce que l'on nomme « barrière d'activation », dont l'existence se justifie par la nécessité de casser des liaisons chimiques avant de pouvoir en recréer de nouvelles ? Ne retrouve-t-on d'ailleurs pas ici l'idée de déconstruction-reconstruction, mais au niveau de la structure de la matière cette fois ?

Ainsi, l'acte d'apprendre semble « imiter » le processus de la transformation de la matière. Et par suite, la transformation des conceptions nécessiterait, elle aussi, le franchissement d'une barrière d'activation, qui ne serait possible que par le biais d'une « stimulation » de l'apprenant. Bien entendu, comme le montrait déjà la figure 4, cette stimulation devrait être suffisamment forte pour que la barrière soit effectivement franchie, faute de quoi il retomberait dans son niveau de savoir initial sans avoir transformé ses conceptions mais en ayant simplement adapté l'information perturbatrice à ces dernières.

La figure 5 tente de rendre compte de cette analogie en associant à l'acte d'apprendre un diagramme similaire à celui de l'évolution de l'énergie potentielle d'un système chimique en fonction de sa coordonnée réactionnelle.

Les observations didactiques (PELLAUD & EASTES, 2003) montrent que cette stimulation peut prendre deux formes distinctes. La première est liée à la motivation de l'élève. Nul doute que sa curiosité, son ardeur, sa soif de savoir, son désir de comprendre lui permettra de franchir plus aisément la barrière qui se dresse devant lui. Non qu'elle soit plus basse dans ce cas, mais elle est franchie avec plus de facilité. La seconde tient davantage de la « perturbation » de l'apprenant, qui l'amène brutalement dans un état de forte déstabilisation, duquel il ne peut évoluer qu'en passant à un nouvel état de savoir. C'est ce qu'illustre la figure 6, sur le modèle des réactions chimiques qui sont initiées par le passage d'un réactif dans un état excité, sous l'influence d'une stimulation extérieure (photochimique ou électrochimique par exemple).

Le « conflit cognitif » des constructivistes est une des catégories susceptibles de constituer une perturbation de l'apprenant. Or l'expérience contre-intuitive est susceptible de provoquer un conflit cognitif de choix, ce qui justifie *a posteriori* son efficacité pour obliger

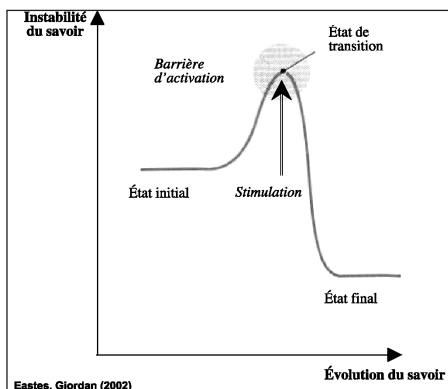


Figure 5 : Diagramme représentatif de l'acte d'apprendre.

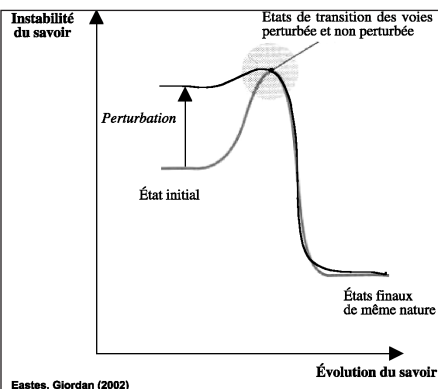


Figure 6 : Diagramme représentatif de l'acte d'apprendre dans le cas d'une perturbation de l'élève.

l'élève à remettre en question ses systèmes explicatifs. La pertinence de l'expérience contre-intuitive se trouve ainsi explicitée à travers le modèle allostérique de l'apprendre.

Bien entendu, comme dans le cas d'une réaction chimique, les conditions dans lesquelles la perturbation se déroule doivent être parfaitement contrôlées, sous peine de voir le système suivre, après le passage de l'état de transition, une voie totalement imprévue et éventuellement catastrophique au regard de l'objectif poursuivi. C'est ainsi que le modèle allostérique permet de prévoir qu'après toute perturbation de l'apprenant, il est nécessaire de l'accompagner dans la reconstruction de son savoir sous peine de le voir se forger des idées fausses, voire plus fausses que ses conceptions initiales. Ainsi, perturber pour faciliter la déconstruction est certes utile, mais accompagner pour aider à la reconstruction constitue à notre sens, l'un des rôles fondamentaux de l'enseignant.

Enfin, remarquons que bien des élèves effectuent un retour en arrière après avoir « appris », leur savoir regagnant ainsi l'état antérieur à la perturbation. Car en effet, l'efficacité de l'expérience contre-intuitive ne préjuge en rien de sa capacité à modifier de façon durable le savoir de l'apprenant ! De même qu'après son excitation, une molécule peut très bien se transformer temporairement avant de retourner dans son état initial.

La grandeur qui conditionne la permanence d'un état par rapport à un autre peut être définie par le concept de « stabilité du savoir ». Mais celle-ci n'est pas synonyme de justesse ! Au contraire, l'observation montre qu'elle s'apparente bien davantage au degré de confiance que le savoir en question inspire à l'élève ou en d'autres termes, à sa fiabilité. Cette dernière possède en outre deux origines : le caractère opératoire du savoir et la validation dont il fait l'objet par la communauté à laquelle appartient l'élève (amis, parents, enseignants, etc.). Contrairement à la stabilité des systèmes chimiques, celle d'un état particulier du savoir peut cependant évoluer au cours du temps, en fonction de la confirmation ou non de son caractère opératoire par l'apprenant et en fonction de l'écho qu'il en perçoit de la part des personnes qui l'influencent.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail de ces idées mais leur seule évocation permet de réaliser combien, après la perturbation et l'accompagnement de l'élève, cette dimension devra probablement elle aussi être prise en compte lors de la mise en œuvre d'une expérience contre-intuitive.

DE LA MODÉLISATION DIDACTIQUE À LA « RECHERCHE-ACTION »

Cette modélisation des mécanismes de l'apprendre nous permet de prévoir les paramètres qui vont ou non offrir à l'élève les meilleures chances de transformer ses conceptions. Le modèle allostérique et l'environnement didactique qui en découle constituent donc des cadres théoriques à travers lesquels il est possible d'analyser les expériences contre-intuitives et de situer leurs conditions de mise en œuvre, c'est-à-dire d'en prévoir les écueils potentiels et les limites.

Mais seule une recherche de terrain est susceptible de valider ces prévisions. En consultant l'annexe de cet article sur le site de l'UdPPC (<http://www.udppc.asso.fr/>), le lecteur pourra accéder à la recherche que nous avons entreprise sur le sujet. Les résultats les plus pertinents pour permettre une utilisation rationnelle de ce type d'expériences y sont présentés et de fait, ils valident et prolongent les prévisions du modèle allostérique. Notre recherche permet par suite la définition d'un cadre pratique pour un emploi optimal des expériences contre-intuitives dans l'enseignement des sciences.

CONCLUSION

Le modèle allostérique de l'apprendre nous a permis de prévoir les écueils et les limites de l'expérience contre-intuitive tout en nous guidant vers les pistes les plus judicieuses pour tirer le meilleur profit de ses potentialités. Parallèlement, notre recherche nous a permis de corroborer à maintes reprises la pertinence des paramètres proposés par l'environnement didactique en matière de transformation des conceptions.

Au-delà de ces résultats, nous restons attentifs au fait qu'en matière d'enseignement ou de médiation, la panacée n'existe pas et que l'expérience contre-intuitive ne saurait fonder un enseignement ; elle ne peut très certainement jamais remplacer les démonstrations traditionnelles et, à notre sens, ne peut venir qu'en appui de ces dernières, voire en amont avec beaucoup de précautions, pour interpeller, motiver, concerner sur un phénomène. Mais dans la mesure où l'un des éléments les plus difficiles à mettre en place au sein de l'environnement didactique relève du « sens » que l'élève peut trouver au savoir abordé, l'expérience contre-intuitive reste tout à fait pertinente, et nous aurions certainement tort de la négliger !

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] LDES : <http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/>
- [2] TIT T. (A. GOOD). *La science amusante – 100 expériences*. Paris : Larousse, 1906.

- [3] GUYON E. et TROADEC J.-P. *Du sac de billes au tas de sable*. Paris : Odile Jacob, 1994.
- [4] ESCHER M. C. *The Graphic Work*. Editions Taschen, 1992.
- [5] Atomes Crochus (association loi 1901 ; Animations de vulgarisation scientifique et expériences spectaculaires, ENS, Paris) : <http://atomes.crochus.free.fr>
- [6] GIORDAN A. *Apprendre ! Débat*, Éditions Belin, 1998.
- [7] Palais de la Découverte : <http://www.palais-decouverte.fr>
- [8] Explor@dome : <http://www.exploradome.com>
- [9] Ébulliscience : <http://www.ebulliscience.com>
- [10] PELLAUD F., EASTES R.-E. et GIORDAN A. *Des modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique*, in Gymnasium Helveticum, mai 2004.
- [11] GARDNER H. *Les formes de l'intelligence*. Paris : Éditions Odile Jacob, 1983-1997.
- [12] BARTH B.-M. *Le savoir en construction*. Éditions Retz, 1993.
- [13] BRUNNER J. *Car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Éditions Eshel, 1991.
- [14] GIORDAN A. et DE VECCHI G. *Les origines du savoir*. Delachaux et Niestlé, 1987.
- [15] GIORDAN A. et DE VECCHI G. *L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche » ?* Nice : Z'éditions, 1994.
- [16] GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLÉMENT P. *Conceptions et connaissance*. Peter Lang, 1994.



Richard-Emmanuel EASTES

*Professeur agrégé de sciences physiques
École normale supérieure (Paris)
Président de l'Association Les Atomes Crochus*



Francine PELLAUD

*Docteur en Sciences de l'éducation
Laboratoire de didactique et épistémologie des sciences (LDES)
Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation à Genève (Suisse)*

Cet article comporte un complément nommé :

◆ *08661197Annexe.pdf*

Il est disponible sur le site de l'UdPPC sous la forme d'un fichier zippé : 08661197.zip

UN OUTIL POUR APPRENDRE : L'EXPERIENCE CONTRE-INTUITIVE

Richard-Emmanuel EASTES,
Ecole normale supérieure (Paris)
Emmanuel.Eastes@ens.fr

Francine PELLAUD,
Laboratoire de Didactique et Epistémologie des Sciences (Genève)
Francine.Pellaud@pse.unige.ch

RESUME

Parmi les expériences spectaculaires utilisées aussi bien en vulgarisation que dans l'enseignement des sciences, *l'expérience contre-intuitive* présente un intérêt pédagogique formidable car elle permet à la fois d'émerveiller, de perturber les *conceptions* de l'élève et de le motiver à en savoir davantage. Pourtant, les résultats ne sont pas toujours à la hauteur des espérances que l'on peut y placer.

L'analyse des expériences contre-intuitives dans le cadre théorique du *modèle allostérique de l'apprendre* permet de rationaliser la notion de *contre-intuitivité* et de comprendre comment elle peut être utilisée par l'enseignant pour permettre à l'élève d'apprendre. Mais le modèle permet également de prévoir que, employées sans précautions, elles risquent de s'avérer totalement inutiles, voire néfastes pour l'élève.

C'est ce que confirme la recherche que nous avons conduite sur ce thème [1] et qui montre que pour être contre-intuitive sans être contre-productive, pour permettre d'atteindre les objectifs pour lesquels elle est imaginée, une expérience doit être inscrite dans un contexte qui présente certains critères indispensables. Ces derniers fournissent en retour un cadre pratique pour une utilisation efficace des expériences contre-intuitives.

Mots-clefs : Expérience contre-intuitive, conceptions, modèle allostérique de l'apprendre, perturbation et accompagnement de l'élève.

DEFINITION, RAPPEL

D'une façon générale, nous choisissons de nommer « expérience contre-intuitive » une expérience qui produit un résultat inverse ou très différent de celui auquel on s'attend, intuitivement, avant qu'elle ne soit mise en action, ou dont l'interprétation va à l'encontre de l'évidence ou du sens commun.

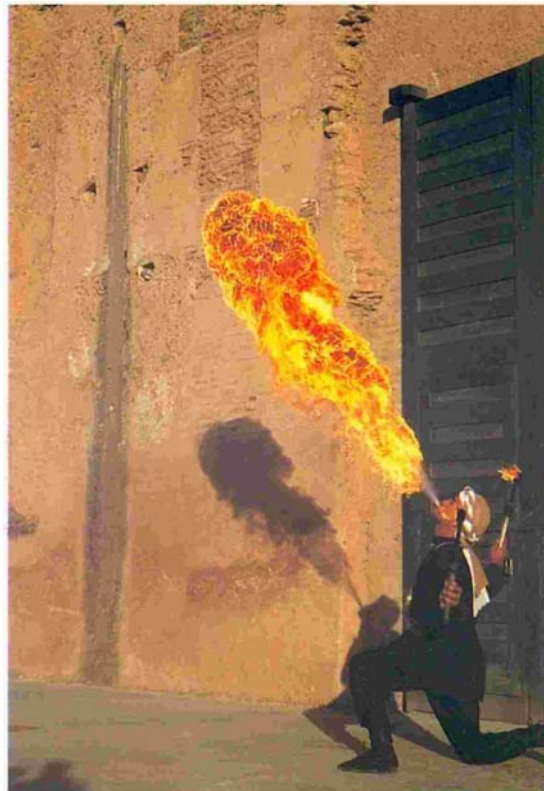
En chimie par exemple, la combustion du sodium¹ que déclenche son immersion dans l'eau est totalement contre-intuitive, qui plus est à double titre : il est en effet communément admis que d'une part « l'eau éteint le feu » et que d'autre part « les métaux ne brûlent pas ».

¹ La combustion du dihydrogène, libéré par la réduction de l'eau par le sodium, peut à son tour initier celle du métal, comme le prouvent la couleur jaune caractéristique de cette dernière (mauve lorsque l'on emploie le potassium) et la fumée blanche d'oxyde de sodium.

En physique, le phénomène de *ségrégation* est également hautement contre-intuitif, à double titre encore : secouer un récipient contenant un mélange de grosses et de petites billes permet non seulement de les séparer au lieu de créer davantage de désordre, mais contre toute attente, ce sont les grosses billes que l'on retrouve *in fine* sur le dessus.

La contre-intuitivité ne se limite d'ailleurs pas aux résultats des expériences : une photographie, un récit, un tableau d'Escher [6], une démonstration mathématique, une sensation physiologique peuvent être contre-intuitifs. En témoigne par exemple cette carte postale dénichée il y a quelques années dans une boutique de la place Jemaa-el-Fna à Marrakech (figure 1)².

Figure 1 : Le feu a-t-il une ombre ?
Exemple d'image contre-intuitive.



DES VERTUS CONTRASTEES

Bien plus que de permettre l'émerveillement de l'assistance, il apparaît que l'expérience contre-intuitive constitue à elle seule un puissant outil pédagogique dont l'utilisation peut réellement faciliter *l'acte d'apprendre*. A ce titre, alors que son usage demeure relativement limité au cercle des médiateurs scientifiques en quête de spectaculaire, elle mériterait d'être plus largement diffusée dans l'enseignement des sciences expérimentales, voire des autres disciplines comme en témoigne par exemple la figure 2.

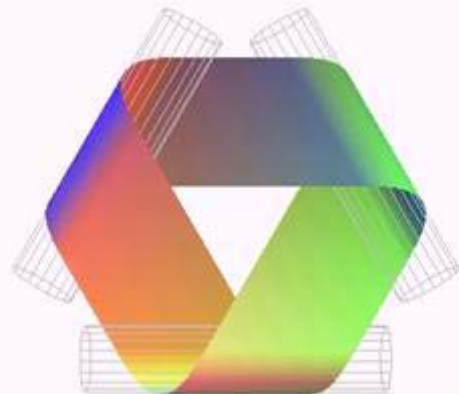
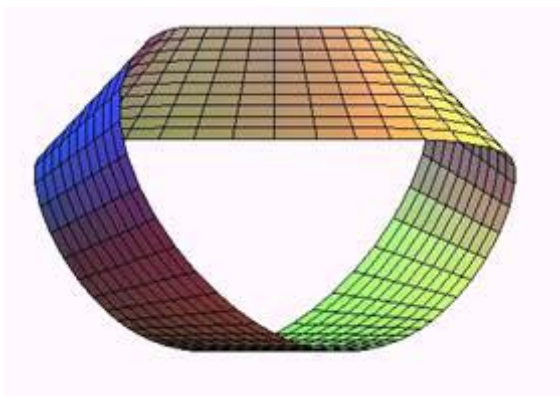


Figure 2 : Des rubans à une seule face !

Le ruban de Möbius : un exemple d'utilisation de la contre-intuitivité en mathématiques³.

Pourtant, un regard critique porté sur l'utilisation de ce type d'expérience permet vite de réaliser que tout n'est pas si simple et il suffit de déambuler parmi les modules proposés par les musées ou les cités de sciences, qui en font parfois un usage immodéré, pour s'apercevoir de quelques limites très significatives.

² Voir également les animations des *Atomes Crochus* (atelier, conférence, animation expérimentale) sur le thème de la contre-intuitivité et dont font partie les exemples cités ici.

³ Voir également l'œuvre de M. C. Escher : *Moebius Band II*.

DE LA MODELISATION DIDACTIQUE A LA « RECHERCHE-ACTION »

La modélisation des mécanismes de l'apprendre nous permet de prévoir les paramètres qui vont ou non offrir à l'élève les meilleures chances de transformer ses conceptions. Présentés en partant du point de vue de l'élève, ils peuvent être rassemblés et résumés dans le schéma de la figure 3.

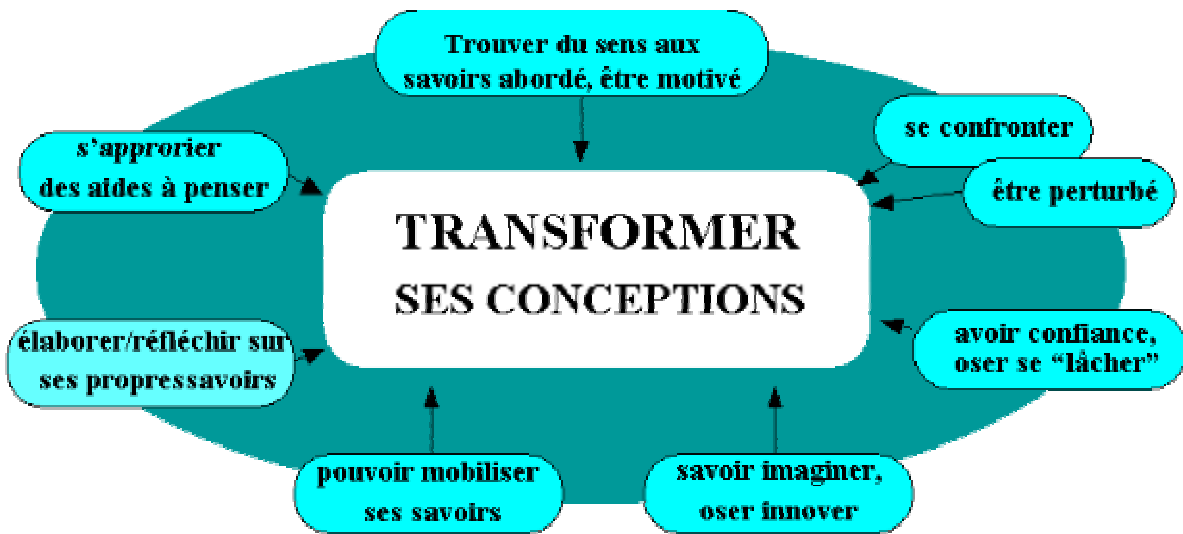


Figure 3 : Environnement didactique nécessaire à la transformation des conceptions.

Le modèle allostérique et l'environnement didactique qui en découle constituent donc des cadres théoriques à travers lesquels il est possible d'analyser les expériences contre-intuitives et de situer leurs conditions de mise en œuvre, c'est-à-dire d'en prévoir les écueils potentiels et les limites.

Mais seule une recherche de terrain est susceptible de valider ces prévisions. Notre travail d'analyse a donc pris la forme de quelques hypothèses et questions de recherche sur les conditions que doit remplir une expérience contre-intuitive, d'une part pour l'être réellement et ne pas introduire d'idées fausses et d'autre part, pour être susceptible de transformer de façon durable le savoir des élèves auxquels elle est proposée.

Quatre expériences contre-intuitives (brièvement présentées dans l'encadré suivant) nous ont permis de récolter près de cent témoignages à travers une enquête menée par entretiens semi-directifs et de rassembler des informations significatives, d'une part auprès d'élèves de 6^{ème} et d'autre part auprès du public (1000 personnes sur une semaine) ayant assisté à *L'atelier des expériences impossibles* des Atomes Crochus, lors de la Fête de la Science 2002 sur le stand du CNRS à la *Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette* (Paris). Les résultats présentés ci-dessous, non exhaustifs, sont ceux qui nous semblent les plus pertinents pour une utilisation rationnelle de ce type d'expériences dans le cadre de l'enseignement des sciences.

QUATRE EXPERIENCE CONTRE-INTUITIVES POUR UNE RECHERCHE EXPERIMENTALE

Effet Venturi : un sèche-cheveux dont l'embouchure est ajustée sur un disque de carton évidé est présenté à l'élève. Le défi consiste à soulever un disque de papier cartonné de même taille (mais non percé) sans le toucher avec les mains. En utilisant l'effet Venturi, il suffit de poser l'embouchure du sèche-cheveux sur le papier cartonné en superposant les deux disques, pour le soulever.

Chaleur ou température : cette expérience a été décrite au début de l'article. Dans ce défi, la question consiste à déterminer à l'aide du thermomètre lequel des deux objets (boule d'aluminium et chaussette de laine) possède la température la plus élevée.

Compressibilité des gaz et poussée d'Archimède : un « ludion » (objet tubulaire creux et ouvert dans sa partie inférieure, généralement lesté) est placé dans une bouteille en plastique transparente. Il affleure, juste sous le bouchon fermé. Le défi consiste à trouver le moyen de le faire « couler » jusqu'au fond de la bouteille sans l'ouvrir ni la retourner.

Chute des corps : une boule de pétanque et une balle de tennis sont lâchées en même temps, d'une hauteur de 2 m environ dans un air immobile. Quelle est celle qui atteindra le sol la première ?⁴

⁴ Cette expérience, qui n'est pas sans rappeler une récente polémique entre Claude Allègre et quelques collègues physiciens, est réalisée dans les conditions que peut rencontrer un enfant qui, debout sur un tabouret, laisserait tomber les

LE ROLE DU CADRE DE REFERENCES

Première hypothèse de recherche corroborée : *Les expériences contre-intuitives le sont rarement dans l'absolu et « par nature ». Pour qu'elles le deviennent, elles doivent avant tout être adaptées au cadre de références de l'élève et nécessitent donc de sa part un niveau de connaissances adéquat.*

- L'adaptation au cadre de référence commence avec le matériel utilisé. Dans la mesure du possible, celui-ci doit pouvoir être facilement identifié. Par exemple, dans les expériences illustrant l'effet Venturi, l'utilisation d'un sèche-cheveux plutôt que d'une trompe à eau est préférable, cette dernière risquant d'être perçue comme une « boîte noire » spécialement conçue pour l'expérience⁵, ce qui justifierait alors tout phénomène inexplicable.
- La précaution est d'autant plus importante que, pour pouvoir donner une explication rationnelle à un phénomène observé, les élèves sont déjà prêts à affubler d'attributs tout à fait étonnants les objets les plus courants. Ainsi, observant l'aspiration d'une feuille par effet Venturi, bien des élèves n'hésitent pas à dire que « *C'est normal puisque le sèche-cheveux aspire* »... explication qui, non seulement ne remet pas en question leurs conceptions, mais enlève à l'expérience toute contre-intuitivité !
- Mais bien d'autres exemples mettent en évidence l'importance d'un niveau de connaissances minimal de la part de l'apprenant. Dans l'expérience de la réaction du sodium avec l'eau (illustrée par la figure 8), il faut d'une part que l'assistance sache ce qu'est un métal et puisse identifier cet élément comme tel – ce qui n'a rien d'évident, tant pour un public d'adultes que d'enfants – et d'autre part qu'elle ait connaissance du fait que les métaux ne brûlent pas dans les conditions habituelles.



Figure 4 : Expérience de réaction du sodium avec l'eau dans un spectacle des *Atomes Crochus* (Nuit de la Science, Genève, 2002).

A ce sujet, nous avons eu l'occasion de remarquer que peu de personnes, même adultes, savent faire la distinction entre la *combustion* d'un métal et sa *fusion*.

deux balles sur un oreiller posé par terre. Comme dans toutes les expériences évoquées, nous n'attendions pas de réponse particulière mais simplement une justification de la réponse donnée, quelle qu'elle soit. En l'occurrence, les enfants pensent toujours que l'une des deux balles va toucher le sol en premier (beaucoup pensent d'ailleurs que c'est la balle de tennis) et dans ce cas, nous leur demandons où sera la seconde lorsque la première touchera le sol. Les écarts prévus sont bien supérieurs à ce que l'on peut observer ! C'est là que se trouve la contre-intuitivité. Mais si les adultes veulent invoquer la résistance de l'air, les états de surface, libre à eux ! La seule chose qui fera foi de toute façon, c'est ce qu'ils observeront une fois l'expérience réalisée. Car ce qui compte avant tout, ce n'est pas le résultat (très anecdotique) mais ce que l'expérience permet de remettre en question au niveau des conceptions des gens.

⁵ Notons à cette occasion qu'un produit chimique « exotique » peut très bien être perçu comme une boîte noire et ne pas étonner le public en dépit de propriétés extraordinaires.

L'IMPORTANCE DU QUESTIONNEMENT PREALABLE

Deuxième hypothèse de recherche corroborée : *Pour qu'une expérience devienne vraiment contre-intuitive pour un élève, il faut que celui-ci ait eu l'occasion de faire appel à son intuition et/ou à ses connaissances avant de la mettre en oeuvre, c'est-à-dire qu'il ait pu identifier sans équivoque le problème posé et qu'il ait eu la possibilité d'anticiper le résultat. En l'absence de questionnement préalable, le résultat est facilement accepté, sans susciter ni intérêt, ni interrogations particulières.*

- La validation de cette hypothèse est aisée. Sans questionnement préalable, la mesure des températures identiques à l'intérieur des boules de laine et d'aluminium apparaît par exemple tout à fait « normale »... même si aucune explication ne peut par ailleurs être donnée. Pour conserver l'aspect spectaculaire de l'expérience, il convient donc d'offrir à l'apprenant la possibilité d'anticiper son résultat, de se positionner par rapport à elle, de questionner ses propres conceptions.
- Mais les résultats obtenus nous permettent également de montrer que même si une bonne adéquation de l'expérience au cadre de référence de l'apprenant et un questionnement préalable lui offrant la possibilité de formuler une réponse spontanée au problème posé sont nécessaires à la contre-intuitivité, ils ne sont pas pour autant suffisants pour lui permettre de dépasser ses conceptions et de donner une interprétation correcte du phénomène observé. Ce dont découle la première de nos questions de recherche, ci-dessous.

En effet, bien d'autres points sont à prendre à compte, sur lesquels nous continuons à travailler. Repérer les différents écueils rencontrés lors d'animations fondées sur l'utilisation d'expériences contre-intuitives permet notamment de déterminer les conditions d'un « bon » usage pédagogique ou médiatique de ces dernières.

LES ECUEILS DE L'EXPERIENCE CONTRE-INTUITIVE

Première question de recherche : *Dans le cas où la contre-intuitivité s'exprime mais où le phénomène mis en oeuvre n'est pas compris par l'élève, ce type d'expérience n'est-il pas susceptible en outre, de participer au renforcement des conceptions initiales, à la création de nouvelles conceptions erronées, voire à la destruction de conceptions initialement correctes ?*

- Cette question est fondamentale, car si la perturbation est un facteur reconnu comme favorable à l'apprendre dans la mesure où elle permet à l'apprenant de cerner les limites de son système explicatif, il faut néanmoins l'utiliser avec modération. En effet, nous avons pu constater que si la perturbation remet trop en question les conceptions de l'élève, elle peut être plus destructrice que formatrice : on s'expose alors davantage au constat d'échec (« *Alors là, je n'y comprends plus rien du tout...* ») qu'à l'illumination soudaine. Sans oublier qu'il n'abandonnera sa conception initiale que lorsqu'il en aura réellement perçu les limites opérationnelles ! C'est pourquoi, même une expérience contre-intuitive peut être analysée par l'élève de manière à conforter ses conceptions initiales : il est alors capable de donner une explication non rationnelle du point de vue scientifique, mais qui l'est tout à fait du point de vue de ses propres conceptions, comme nous l'avons déjà mentionné avec l'expérience relative à l'effet Venturi.
- Pour illustrer cette observation, prenons l'exemple de l'expérience qui fait référence aux notions de chaleur et de température. La mesure d'une température identique dans les deux éléments par les élèves, contraire à leur conception initiale évoquée au début de l'article, conduit à de véritables « explications » n'ayant comme but que de la confirmer : « *C'est parce qu'on ne peut pas laisser le thermomètre assez longtemps, la laine n'a pas le temps de le chauffer* », ou encore « *La laine chauffe, mais l'aluminium aussi : il capte mieux la chaleur des lampes* ». Livrés à eux-mêmes, ils passent à l'expérience suivante en ayant l'impression d'avoir « compris »...

Ces exemples montrent bien qu'une conception ne se transforme pas facilement et qu'une seule expérience n'apporte souvent pas les effets souhaités. Ils montrent en outre combien est important le processus « d'accompagnement » après la perturbation de l'expérience contre-intuitive, comme nous l'avons prévu lors de la description du modèle allostérique.

VERS UNE BONNE PRATIQUE DE L'EXPERIENCE CONTRE-INTUITIVE

Deuxième question de recherche : *Au-delà de l'adéquation au cadre de référence et d'un questionnement pertinent préalable à l'expérience destinés à la rendre systématiquement contre-intuitive, quels sont les paramètres nécessaires pour que l'information perturbatrice ne soit pas éludée, ne conduise ni à un ancrage, ni à la création de conceptions fausses, et qu'elle participe ainsi d'un réel apprentissage ?*

Plusieurs pistes permettent de contourner ses effets pervers sans perdre la forte motivation qu'elle permet d'induire :

- La première est de donner à l'expérience un contexte qui favorise ce questionnement. Ce contexte, qui va également donner un sens au savoir abordé, peut très bien être introduit par la réalisation d'une expérience préliminaire. Celle-ci sera destinée à offrir à l'élève la possibilité de prendre conscience du phénomène « normal », conforme à son intuition, de manière à ce que l'expérience suivante devienne alors très contre-intuitive. Dans l'expérience relative à l'effet Venturi, il suffit, par exemple, de faire voltiger le papier cartonné au-dessus du flux d'air avant de proposer le défi.
- La seconde (et la plus efficace) consiste à offrir aux élèves la possibilité de faire émerger leurs conceptions pour mieux les remettre en question. Remarquons que l'expérience contre-intuitive est tout à fait favorable à l'expression des conceptions, avant la manipulation comme après... pour autant qu'un climat de confiance règne dans la classe, tant entre les élèves que dans leur relation avec l'enseignant. Désinhibé, ils laisseront alors fleurir les idées reçues les plus étonnantes, les interprétations les plus farfelues et les raisonnements les plus approximatifs. Autant de pistes à utiliser pour identifier leurs conceptions et ainsi mieux cibler les véritables obstacles à l'apprendre en vue de « faire avec pour aller contre » [18]. En suscitant ainsi le questionnement, l'enseignant favorise le développement de l'esprit critique et force chaque élève à adopter une attitude active face à l'élaboration de son propre savoir.
- Outre celui de « metteur en scène » évoqué précédemment, le rôle de l'enseignant consiste également à prévoir des expériences qui, bien que pouvant apparaître éloignées les unes des autres, font appel au même phénomène. Cette « diversité dans la redondance » va permettre à l'élève de tisser des liens entre ces situations différentes, de mobiliser ses connaissances en les réinvestissant à bon escient, tout en lui offrant des points d'ancrages sous forme « d'aides à penser ». Car, ce n'est que dans la multiplication des confrontations qu'il acceptera de revoir sa logique explicative... sans toutefois oublier que, comme le rappelle très justement Giordan, « *Seul l'apprenant peut apprendre, et personne ne peut le faire à sa place* » !

D'une manière tout à fait générale, il convient donc d'insister sur l'importance que revêt l'accompagnement proposé par l'enseignant ou le vulgarisateur. Qu'il s'agisse de la manière dont il contextualise l'expérience, du questionnement qu'il parvient à susciter, des diverses confrontations qu'il propose, de la mobilisation des savoirs antérieurs qu'il suggère, de l'appel à l'imaginaire et à la créativité qu'il initie, l'accompagnateur est indispensable pour que l'expérience contre-intuitive prenne tout son sens.

CONCLUSION

Le modèle allostérique de l'apprendre nous a permis de prévoir les écueils et les limites de l'expérience contre-intuitive tout en nous guidant vers les pistes les plus judicieuses pour tirer le meilleur profit de ses potentialités. Parallèlement, notre recherche nous a permis de corroborer à maintes reprises la pertinence des paramètres proposés par l'environnement didactique en matière de transformation des conceptions.

Au-delà de ces résultats, nous restons attentifs au fait qu'en matière d'enseignement ou de médiation, la panacée n'existe pas et que l'expérience contre-intuitive ne saurait fonder un enseignement ; elle ne peut très certainement jamais remplacer les démonstrations traditionnelles et à notre sens, ne peut venir qu'en appui de ces dernières, voire en amont avec beaucoup de précautions, pour interpeller, motiver, concerner sur un phénomène.

Mais dans la mesure où l'un des éléments les plus difficiles à mettre en place au sein de l'environnement didactique relève du « sens » que l'élève peut trouver au savoir abordé, l'expérience contre-intuitive reste tout à fait pertinente, et nous aurions certainement tort de la négliger !

BIBLIOGRAPHIE COMPLETE

Autour des modèles de l'apprendre :

PELLAUD F., EASTES R.-E. et GIORDAN A. *Des modèles pour comprendre l'apprendre : de l'empirisme au modèle allostérique*, in *Gymnasium Helveticum*, mai 2004.

PELLAUD F. et EASTES R.-E. Surprendre. *Cahiers pédagogiques*, décembre 2002, n° 409.

GIORDAN A. et DE VECCHI G. *Les origines du savoir*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 1987.

GIORDAN A. *An allosteric learning model*. Actes IUBS-CBE, Sydney meeting, 1988.

GIORDAN A. et DE VECCHI G. *L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche » ?* Nice : Z'édicions, 1994.

GIORDAN A., GIRAULT Y. et CLEMENT P. *Conceptions et connaissance*. Peter Lang, 1994.

GIORDAN A. *Apprendre !* Débat, Editions Belin, 1998.

PIAGET J. *Six études de psychologie*. Paris : Editions Denoël / Gonthier, 1964.

BRUNNER J. *Car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Editions Eshel, 1991.

BARTH B.-M. *Le savoir en construction*, Editions Retz, 1993.

GARDNER H. *Les formes de l'intelligence*. Paris : Editions Odile Jacob, 1983-1997.

Autour des expériences :

TIT T. (A. GOOD). *La science amusante – 100 expériences*. Paris : Larousse, 1906.

Sur la ségrégation :

GUYON E. et TROADEC J.-P. *Du sac de billes au tas de sable*. Paris : Odile Jacob, 1994.

DURAN J. La Physique du tas de sable. *Revue du Palais de la Découverte*, janvier 1995.

GUYON E. et HULIN J.-P. *Granites et fumées*. Editions Odile Jacob, 1997.

Sur les œuvres d'Escher :

ESCHER M. C. *The Graphic Work*. Editions Taschen, 1992.

Sur l'effet Venturi :

Dépression sous la coque, *Pour la Science*, mars 2002, N°293.

NETOGRAPHIE

LDES : <http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/>

Page du LDES sur les conceptions :

<http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/infos/publi/articles/concep.html>

Page du LDES sur le modèle allostérique :

<http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/rech/allostr/allos.html>

Page du LDES sur les expériences contre-intuitives :

<http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/rech/experim/exp.contrint.html>

Les Atomes Crochus (association loi 1901 ; Animations de vulgarisation scientifique et expériences spectaculaires, ENS, Paris) : <http://atomes.crochus.free.fr>

Page des Atomes Crochus sur les animations contre-intuitives :

<http://atomes.crochus.free.fr/bilandescriptif/actions.htm>

Palais de la Découverte : <http://www.palais-decouverte.fr>

Explor@dôme : <http://www.exploradome.com>

Ebulliscience : <http://www.ebulliscience.fr>



Francine PELLAUD,

Docteur en Sciences de l'éducation au Laboratoire de Didactique et Epistémologie des Sciences (LDES) de la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation (Genève)



Richard-Emmanuel EASTES,

Professeur agrégé de Sciences physiques à l'Ecole normale supérieure (Paris)
Président de l'Association Les Atomes Crochus