

TRAVAILLER LES OBSTACLES POUR ASSIMILER LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Guy Rumelhard

Traditionnellement l'enseignement scientifique se propose immédiatement d'introduire au savoir actuel. La prise en compte des obstacles n'a de sens que si l'on se propose le passage de la pensée commune à la pensée scientifique de façon à caractériser une fonction polémique : le rejet des croyances. Mais on peut rester dans la représentation, ou bien nier l'idée d'obstacle de nombreuses façons. Pour travailler les obstacles il faut réunir un certain nombre de conditions qui rendent possible la mise au point de procédés. Pouvoir décomposer les avancées conceptuelles en étapes à franchir successivement. Analyser le polymorphisme des obstacles et leur réapparition dans diverses étapes de la démarche. Être attentif aux révolutions inaperçues par familiarité, ou par le caractère infinitésimal du changement apporté. Le cas Galilée permet d'analyser l'articulation entre les différentes étapes d'une démarche.

l'objectif
d'un enseignement
scientifique :
passer de la
pensée commune
à la pensée
scientifique

analyser
les conditions
de possibilité
de ce travail

Si l'on se fixe comme but d'enseigner et de faire assimiler les connaissances scientifiques comme un ensemble de résultats socialement utiles, la prise en compte des représentations des apprenants et des enseignants n'est pas indispensable. L'utilité du savoir scientifique se suffit à elle-même par la médiation de son efficacité opératoire pratique.

Le fonctionnement d'obstacles ou d'aides à l'assimilation du savoir ne joue un rôle que si l'on se fixe comme objectif d'enseignement le passage de la pensée commune qui apporte des réponses rassurantes aux questions de la vie, à la pensée scientifique objective qui apporte un savoir vrai. Le rôle des obstacles apparaît également lors de la réinsertion sociale de ce savoir, non pas tant au niveau de ses applications pratiques qu'à celui plus large de la constitution d'une culture scientifique contemporaine.

Il ne s'agit pas dans cet article de décrire des procédés nécessairement variables, contradictoires et toujours révisables pour travailler les obstacles, mais plutôt de préciser certaines conditions de possibilité de ce travail.

1. LE PASSAGE DE LA PENSÉE COMMUNE AU SAVOIR SCIENTIFIQUE

Comment comprendre que le concept d'obstacle épistémologique énoncé en 1938 par Gaston Bachelard un physicien-enseignant devenu épistémologue ait mis tant de temps à

s'imposer. Il faut supposer des résistances internes à l'enseignement extrêmement fortes. Nous en examinerons trois.

Tout d'abord rappelons que traditionnellement l'enseignement scientifique ne se propose pas le passage de la pensée commune à la pensée scientifique. Cet enseignement s'installe directement dans le savoir le plus actuel, sans se préoccuper de l'existence possible d'autres types de connaissances se proposant, dans l'esprit de l'élève, comme réponse visant plus à rassurer ou à donner du sens qu'une véritable explication.

Mais faute de vigilance et de fermeté conceptuelle, ou bien sous l'influence d'une demande des élèves, l'enseignement scientifique peut lui-même demeurer, à son insu, dans la pensée commune. Certains pédagogues penseront ainsi susciter l'intérêt ou se faire mieux comprendre.

Enfin, sans adhérer aux stratégies du soupçon systématique, on peut cependant supposer qu'il existe de nombreuses façons de nier le concept d'obstacle dans son rôle didactique, même sous couvert de le prendre en compte.

1.1. S'installer dans la rupture avec la pensée commune

le savoir scientifique a une fonction polémique

Le savoir scientifique n'a pas pour seule fonction de répondre à des questions qui seraient restées sans réponse et comme "en attente", ménageant par avance une place à occuper. Il a une fonction polémique car il évince des croyances métaphysiques, morales, religieuses, politiques qui se présentaient comme des explications vraies. La vulgarisation de la pensée de Karl Marx a rendu très commune la notion d'idéologie. Marx dénonce les idéologies morales, religieuses, politiques, métaphysiques au nom de la science. Il ne cite donc pas la science au nombre des idéologies. Mais pour lui l'axe de la lutte se situe dans l'abolition des rapports de classe. Quand ceux-ci seront abolis, la fonction d'illusion idéologique prendra fin, laissant place à la science économique.

D'une certaine façon, une attitude analogue de déplacement du point central d'action existe chez les scientifiques. Le savoir scientifique remplace et rend caduques de nombreuses croyances, mais cela se fait sans lutte ni combat. Les mathématiciens ne font aucune place dans leur enseignement aux propriétés magiques ou mystiques des nombres ou figures géométriques, les astronomes n'évoquent pas l'astrologie, fut-ce pour la réfuter, les chimistes ne font plus allusion à l'alchimie. Pour les enseignants la formalisation mathématique ou l'invention technique permettent de s'installer immédiatement dans le savoir scientifique qui est toujours en rupture totale avec ces pseudo-explications. Ces croyances occupent, de bonne foi peut-être, mais de manière indue, une place qui n'est pas la leur.

les croyances
sont éliminées
par un simple
calcul...

Si ces croyances sont évoquées en classe par les élèves, il suffit de peu de travail pour les balayer avec un calcul ou la description d'un objet technique.

- Si l'on dit que "c'est Dieu qui donne les garçons", il suffit de montrer, nombres à l'appui, que c'est un processus aléatoire correspondant à deux événements équiprobables (sauf cas particuliers de familles à filles et familles à garçons). Le modèle mathématique est une explication suffisante pour la majorité des cas. Il réfute par avance toute autre pseudo-explication.

... ou la description
d'une technique

- L'orage, le tonnerre, les éclairs sont des phénomènes propres à créer des peurs qui ont nécessité des pseudo-explications variées. On connaît la remarque de Marx : quand le paratonnerre est inventé, il n'est plus possible d'attribuer la foudre à une intervention divine. Un objet technique aurait chassé par lui-même les dieux vengeurs terrifiants, sans plus d'explication (1).

On peut se demander si "un fait brut", des nombres, des actions techniques de transformation peuvent modifier des représentations qui ont par ailleurs une fonction rassurante plus que réellement opératoire. Il faudrait encore admettre que la pensée naît directement des nombres, des objets, des actions et non par rectification de représentations.

Il faudrait encore croire que les instruments ou les techniques expérimentales qui les utilisent sont d'eux-mêmes des pensées. Or, bien évidemment, un instrument peut servir à explorer, mais n'est d'aucun secours pour questionner. Sauf de manière métaphorique, il n'y a pas de "dialogue avec les objets" à moins d'admettre une pensée non verbale.

De plus, si, en mathématiques, astronomie, physique, chimie, géologie la formalisation et/ou les actions de transformation sont souvent réalisables, de nombreux domaines de biologie ne le permettent pas aussi aisément. Séparer par exemple chez l'homme sexualité et fécondation, étroitement liées pour des raisons religieuses, démontrer l'autonomie de l'ovulation et la possibilité d'intervenir pour l'empêcher ou la faciliter ont demandé beaucoup plus de travail et soulèvent encore de nombreuses résistances (2).

C'est également une illusion de croire que les ruptures instaurées par quelques grands scientifiques ont été uniques, totales, définitives. Il faut savoir reconnaître des ruptures partielles, des ruptures successives et admettre par exemple que Galilée est resté prisonnier pour la trajectoire des planètes d'une forme rassurante et chargée de résonances idéologiques : celle du cercle.

À propos de la molécule d'ADN demandons-nous ce qui est le plus important et ce qui est le plus fascinant : le fait

(1) MARX K. (1857). *Introduction à l'économie politique*. Paris, Éditions sociales, p. 174.

(2) CANTOR M. (1994). *Pouchet, savant et vulgarisateur*. Nice, Z'Éditions.

qu'elle est double, le fait qu'elle est en hélice, le fait qu'elle tourne à droite ?

1.2. Rester dans la représentation ou y revenir

Dans un livre de vulgarisation il est fréquent, lorsque l'on veut présenter le problème moderne de l'immunité, d'évoquer Mithridate, roi du Pont comme inventeur de l'immunisation. Simple clin d'œil ou recherche de continuités visant à effacer la véritable nouveauté de la science immunologique ? Dire que les savants contemporains ont réalisé les vieux rêves des alchimistes est-ce une simple boutade qui ne trompe personne ?

Dans un précédent travail nous avons analysé la fausse continuité entre la première et la deuxième "loi de Mendel" (3). La première relevant d'un simple constat empirique généralisé, mais pas tout à fait général, la seconde relevant d'une modélisation de la séparation des allèles d'un gène au moment de la formation des gamètes. Méconnaissance du travail théorique indispensable pour analyser les résultats expérimentaux, volonté de maintenir la représentation commune du travail scientifique qui donne la priorité et le dernier mot à l'observation des faits ? Désormais la séparation des allèles des gènes "s'observe" dans les figures de méiose et les "lois de Mendel" ont disparu de l'enseignement ; la volonté pédagogique de réaliser des expériences de croisement entre animaux de variétés différentes (*Drosophiles*) avant d'en expliquer les résultats ne peut que renforcer cette représentation empirique de la méthode scientifique, accompagnée d'un formalisme plaqué sur les résultats. Nous ne pouvons ici que nous limiter à une allusion à cet exemple développé plus longuement ailleurs.

En éthologie et dans les explications concernant l'évolution des êtres vivants les expressions finalistes et anthropomorphiques sont en principe vivement critiqués et on apprend, difficilement il est vrai, à ne pas les employer : les animaux ne sont ni utiles ni nuisibles, il ne faut pas leur prêter trop facilement nos sentiments, les mutations ne sont pas guidées par une intention. On peut cependant aisément retrouver jusque dans un sujet de l'examen du baccalauréat le texte suivant :

« Selon la théorie que je soutiens, l'événement décisif est l'ouverture de la Rift Valley, qui divise l'Afrique en deux, il y a 8 millions d'années. L'ouest reste essentiellement forestier tandis que l'est évolue vers la savane. Selon moi, cette transformation écologique a été le facteur déterminant de l'homini- sation, parce que les populations "passées à l'est" ont dû s'adapter à des conditions radicalement nouvelles. La plupart

maintenir
la représentation
empirique
du travail
scientifique

l'appel fréquent
au finalisme

(3) RUMELHARD G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne, Peter Lang.

des espèces animales apparaissent ainsi par suite de l'isolement d'une population dans un milieu très différent du milieu d'origine... » Au cours d'un entretien avec un journaliste le professeur Yves Coppens utilise des expressions finalistes, mais peut-être est-ce indispensable pour donner de l'attrait à la vulgarisation, quitte à retrouver la pensée commune.

Commencer pédagogiquement par la connaissance commune peut correspondre à la volonté de commencer par ce que les élèves croient savoir par familiarité ou semblent admettre aisément sinon intuitivement. Le choc de boules de billard a donné la racine même de la doctrine de la causalité. L'image a l'apparence d'une leçon naïve alors que, en réalité, elle est fort complexe et implique des concepts difficiles. Mais on peut surtout se demander, avec Bachelard, si elle est réellement dépassable. Citant Cuvier, il nous rappelle que, « *une fois sortis des phénomènes de choc, nous n'avons plus d'idées nettes des rapports de cause et d'effet* » (4). Dès lors deux solutions se présentent : ramener de nombreuses explications causales à l'image suggérée par le choc, ou bien abandonner la notion de cause pour décrire les relations qui ne correspondent pas à cette image simple.

le manuel répète
la représentation
commune

Mais on n'abandonne pas une image aussi forte à si peu de frais ! Ainsi, en chimie, en mettant en présence du zinc et de l'acide chlorhydrique certains manuels scolaires disent, au choix, que l'acide attaque le zinc, ou que le zinc décompose l'acide. L'un est l'agent, l'autre le patient. L'un est actif, l'autre passif. Il y a une antériorité au moins dans l'initiative. L'image de la lutte est présente. Les protagonistes sont pensés en fonctions de "propriétés" supposées et non pas dans leurs relations. Le même vocabulaire se retrouve aisément en biochimie : action d'une hormone et d'un récepteur, d'un antigène et d'un anticorps. Cette fois l'explication nous maintient ou nous réduit à la représentation (5).

Que ce soit au niveau des observations, des méthodes expérimentales, des principes de causalité, des modèles, le pédagogue peut commencer par la pensée commune exprimée initialement par les élèves. Mais sans travail sur les représentations il risque de ne pas parvenir à dépasser la pensée commune, ou d'y revenir.

1.3. Nier les obstacles sous couvert de les étudier

Dans la mesure où les obstacles étudiés correspondent à des résistances profondes, il est dans leur nature d'être niés par les enseignants eux-mêmes, de manière volontaire ou inconsciente, même si, en apparence, ils les prennent en compte et les étudient.

(4) BACHELARD G. (1951). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris, PUF, pp. 83-84.

(5) MÉHEUT M. (1996). Exposé au séminaire de didactique de l'INRP.

l'obstacle remplit
une fonction
dans une relation

Le terme d'obstacle désigne une fonction dans une relation d'apprentissage, et non pas une "chose" ou une propriété "en soi". Le terme de représentation peut désigner la même notion mais il a l'inconvénient d'insister sur ce qui se donne à voir "objectivement", de manière répétable si les conditions sont analogues. Il s'agit d'un dessin, d'une phrase, d'une expression, d'une action. Et bien évidemment, au nom de la positivité de l'observation on peut en rester là, ou bien progresser un peu plus, mais s'arrêter à l'une des étapes : repérer une erreur que l'on considère sans signification (insignifiante) ; ou bien lui donner une signification sans montrer sa fonction d'obstacle ; se contenter d'une interprétation limitée de son origine, sans proposer de procédé de modification ; ou bien tenter de modifier ce qui fait obstacle sans analyser la fonction, etc.

se limiter à ce que
dit objectivement
la représentation

Les études didactiques sur les conceptions des étudiants à propos de la lumière (6) font apparaître, parmi les représentations, le fait que certains dessinent un rayon qui part de l'œil vers l'objet. On peut objectiver cette observation en montrant son caractère répétable et une certaine permanence à travers les années d'étude, même si la proportion d'étudiants qui ont cette conception diminue avec l'âge. L'analyse positive risque de s'arrêter là. Que peut-on dire de plus sans basculer dans l'interprétation, donc dans l'incertain ? Première remarque qui peut conduire à affiner l'observation. Le verbe "tirer" a selon F. Dolto un sens masculin et un sens féminin. Le garçon tire en projetant (comme avec un fusil), la fille tire à soi. Le sens de la flèche portée sur le rayon lumineux diffère-t-il selon les garçons et les filles ? Absurde ? Mais la signification de cette direction du rayon lumineux ne serait-elle pas la modalité de relation au milieu ? Agir ou recevoir, ce qui ne signifie pas nécessairement une opposition entre actif et passif. Le rayon lumineux n'est pas, *a priori* et avant tout enseignement, la représentation d'un concept de la physique. Il représente donc autre chose qu'il faut interpréter.

Si l'on arrête l'analyse à "ce qui se donne à voir", le catalogue des erreurs, le sottisier n'est pas loin et son usage ironique non plus !

multiplier à l'infini
les grilles
de lecture

Autre manière de nier les obstacles, on peut multiplier "à l'infini" les "grilles de lecture" d'une représentation. Toutes sont possibles, donc aucune n'est certaine. Et si l'on ne peut pas désigner avec assurance le mode de fonctionnement, on ne peut pas agir. À moins aussi de préférer systématiquement les interprétations qui ne heurtent pas. Croire que la représentation qu'ont les élèves de la fourrure relève de quelque chose de maternel (la fourrure crée de la chaleur et

(6) FAWAZ A. et VIENNOT L. (1986). "Image optique et vision". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, pp. 686, 1125-1146.
KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse Université Paris 7.

est plus efficace qu'une simple feuille métallisée qui est froide) est assez facile à admettre et dicte aisément une action didactique. Penser que certaines représentations des métamorphoses ont quelque chose à voir avec l'interdit de l'anthropophagie laisse perplexe et ne dit pas de manière évidente quoi faire en classe. Nous avons développé cette idée ailleurs (7).

Nous évoquions précédemment la possibilité de s'installer directement dans la rupture en traitant les représentations par l'indifférence. Reprenons l'exemple de l'étude du fonctionnement du cœur par W. Harvey au début du XVII^{ème} siècle. Pour supposer la circulation sanguine il a dû surmonter l'obstacle constitué par l'image de l'irrigation des cultures. On dit toujours d'ailleurs que le sang irrigue un organe ! L'analogie avec l'irrigation induit à penser que le sang, comme l'eau, se perd dans les organes. Il faut donc chercher une source permettant le renouvellement continu. Pour abandonner cette pseudo-explication il a suffi de mesurer le volume sanguin contenu dans un ventricule cardiaque et de faire un calcul de débit par jour en fonction du nombre de battements. On peut s'appuyer sur l'affirmation péremptoire "la science commence avec la mesure" pour apporter l'explication de la circulation sans aborder de front l'obstacle de l'irrigation et détruire cette analogie agricole. C'est oublier plusieurs aspects des obstacles. Le vocabulaire enregistre de manière durable l'obstacle lui donnant une perpétuelle actualité. L'image de l'irrigation et la fausse explication qu'elle véhicule seraient réactivées inconsciemment. Mais on peut au contraire admettre que le mot a perdu tout sens originel, même métaphorique. Il ne constitue donc plus un obstacle, ni sa trace. L'image de l'irrigation apparaît dans d'autres domaines de la physiologie, celui du système nerveux et de l'innervation par exemple. Le travail pour lever l'obstacle est alors à refaire pour concevoir des "circuits" nerveux. Dernière remarque, les obstacles sont bien souvent doubles. Il ne suffit pas de mesurer pour lever un obstacle car on est immédiatement pris entre deux difficultés : l'impossibilité de concevoir qu'une mesure de volume est ici indispensable constitue un obstacle, mais trop de précision risque aussi d'égarer. Mesurer n'est pas "en soi" l'assurance d'un progrès de connaissance. Mesurer n'autorise pas à ignorer l'obstacle de l'irrigation.

De manière inverse on peut proposer que tout devienne obstacle. Les chiffres sont des obstacles au calcul ! Les mots sont des obstacles pour exprimer sa pensée. Faisons l'éloge des communications non verbales, des actes, des gestes. Les connaissances acquises sont des obstacles à l'assimilation d'un savoir nouveau. Faisons l'éloge de l'ignorance.

le vocabulaire
garde la trace
des obstacles

(7) RUMELHARD G. (1995). "Permanence, métamorphose, transformation". *Biologie-Géologie* (APBG) 2, pp. 333-345.

1.4. Représentation ne signifie pas obstacle chez Piaget

représentation
ne signifie pas
toujours obstacle

Reste la délicate question de la prise en compte des obstacles chez Piaget. Plusieurs auteurs soutiennent que Piaget, comme Bachelard (1938) et bien avant lui, fait usage du concept d'obstacle à travers le terme de représentation. Dès 1927 il décrit des "*représentations du monde chez l'enfant*". Mais s'il s'agit de décrire des conceptions erronées on peut sans difficulté remonter à Descartes. Prenons l'exemple de la *Genèse de l'idée de hasard chez l'enfant* publié en 1951. Dans l'introduction il s'interroge sur l'existence d'une "intuition" des probabilités. Afin de caractériser une "*mentalité préscientifique*" qui pourrait être celle de l'enfant il interroge non pas tant les états psychopathologiques que la "mentalité primitive" décrite par L. Lévy-Bruhl (8). Pour ce dernier la notion de hasard est absente chez les populations qu'il nommait "primitives", car même dans les cas où l'ingéniosité technique semble intervenir à l'état pur comme dans la fabrication d'armes par exemple, elle est en fait neutralisée par la pensée magique. « *Les armes dont on se sert à la guerre sont fabriquées avec tout le soin dont les indigènes sont capables : elles témoignent souvent d'une grande ingéniosité qui les rend redoutables et meurtrières. Mais leur efficacité ne tient pas seulement, ni surtout, à leurs qualités visibles et matérielles. Elle dépend essentiellement de la vertu mystique qui leur aura été conférée par des médecins ou par des opérations magiques... ce que les Mélanésiens veulent et ce qu'ils obtiennent – du moins ils en sont persuadés – c'est une flèche qui aura, pour blesser, un pouvoir surnaturel (mana)...* » Autrement dit ce que nous appelons un effet physique est au yeux des Mélanésiens un effet magique.

la pensée "primitive"
recherche un sens

On peut objecter que parler de pensée magique ou de superstition ne donne pas le moyen de comprendre. Cette pensée n'est pas "pré-rationnelle" car elle souhaite trouver de l'ordre et du sens dans le monde, donc réduire l'incompréhensible. Sa manière de fonctionner est essentiellement globale. Elle embrasse le monde comme une totalité non décomposable. L'attitude scientifique sépare des plans, elle décompose c'est-à-dire analyse (au sens étymologique du mot) et vide la nature de tout sens préexistant. Par la suite, en biologie, elle tente de refaire la synthèse et de redonner un sens en évitant les pièges du finalisme.

Piaget citant Lévy-Bruhl, formule cette demande surprenante (9) : « *Nous aimerions être renseignés sur la manière dont se conduit un Arunta ou un Bororo lorsque, visant une cible, il se voit aux prises à la fois avec les lois cinématiques*

(8) LÉVY-BRUHL L. (1922). *La mentalité primitive*. Paris, PUF, pp. 383-392.

(9) PIAGET J. (1951). *La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*. Paris, PUF, pp. 7-12.

une pratique
technique
opératoire
n'élimine pas
la représentation

qui règlent le mouvement de ses flèches et avec la dispersion fortuite des corps autour du point visé. » Piaget postule donc que la réalité physique peut être distinguée de la réalité magique dans ce type de situation très épurée, dans laquelle n'interviennent, selon lui, que les lois cinématiques et probabilistes. Tout se passe comme si la pratique technique "pure" élimine d'elle-même la représentation magique, ou du moins contraint "en acte", sinon en paroles à agir en conformité avec les lois physiques et mathématiques.

D'une certaine façon, vis-à-vis des enfants, son attitude est la même. Si la situation physique ou mathématique est bien choisie, on peut non seulement oublier son "milieu social", mais également cette prodigieuse perméabilité à tout ce qui est mythes, légendes, contes de fées, cette facilité à se laisser envahir par les récits (10). En apparence, il existe pour Piaget un accès direct, uniquement sensori-moteur, éventuellement non verbal, à la connaissance scientifique analytique et opératoire.

Nous postulerons donc que l'étude des représentations à fonction d'obstacle ne prend son sens plein que si l'on se propose le passage des représentations rassurantes et signifiantes aux concepts scientifiques construits (et non pas seulement aux faits observés empiriquement), en recherchant à établir un savoir-vrai, au prix d'un détour, et en ne se contentant pas d'une réponse immédiatement efficace.

La thèse pédagogique qui propose de commencer l'enseignement par des situations concrètes et des pratiques de la vie courante de façon à donner de l'intérêt et du sens aux connaissances scientifiques renforce cette exigence de travailler le passage, à moins de rester dans une représentation commode, utile ou rassurante et un savoir pragmatique.

2. QUELQUES CONDITIONS DE POSSIBILITÉ DU TRAVAIL DES OBSTACLES

2.1. Décomposer en étapes

Les avancées conceptuelles ou méthodologiques, le recul des représentations, leur déplacement ou leur conversion se font par étapes qu'il est donc indispensable de pouvoir analyser.

- Le principe réductionniste appliqué à la biologie énonce en particulier que la physique et la chimie doivent étendre leurs lois actuelles, et leurs lois à venir, aux phénomènes organiques, et ceci sans restriction. Il implique donc aussi un recul du vitalisme. Notons rapidement quatre étapes.

(10) LACAN J. (1954). *Séminaire I*. Paris, Seuil, p. 60.

l'ascendant
progressif
des sciences
physico-chimiques

- Une première étape marquée par un principe de séparation entre le domaine de la physiologie humaine scientifique et celui de la médecine. Le travail du médecin commence quand l'explication physico-chimique s'arrête. Ce dernier prend en compte ce que la science ignore ou met entre parenthèses : l'individuel et le subjectif.

- Deuxième étape : reconnaître une influence des agents physico-chimiques sur la vie, mais comme un ensemble d'événements extérieurs au vivant.

- La troisième étape admet que la vie est manifestée dans des phénomènes physico-chimiques.

- L'étape ultime admet que les phénomènes vitaux sont fondés sur des phénomènes physico-chimiques.

On peut suivre ainsi le dépassement d'un obstacle certain, reconnaître l'ascendant progressif des sciences physico-chimiques sur la recherche en physiologie et sur les explications. Dans le domaine de la recherche ces sciences proposent des instruments de détection, de mesure, des appareils complexes et des modèles théoriques. La suite des mots : séparation, influence, manifestation, fondation, marque bien ce progrès conceptuel et ce recul d'un vitalisme qui prétend préserver la vie en l'isolant.

• Le rôle des mathématiques en biologie peut être appréhendé par étapes successives : simple langage commode pour décrire un phénomène ou communiquer un résultat ; calcul efficace car il permet de prévoir la dynamique d'une population par exemple ; procédé (statistique par exemple) qui permet d'organiser des plans expérimentaux, puis de décider de la validité de résultats de leur comparaison ; outil de décision pour analyser l'efficacité d'un traitement ; modèle qui explique réellement la nature du phénomène, la répartition aléatoire des gènes et leur recombinaison.

Historiquement ces étapes peuvent apparaître successivement chez des auteurs différents, ou simultanément chez Mendel par exemple. Les mathématiques ne sont pas un langage, un moyen de communication ou de prédiction, mais une expression essentielle de "la raison" qui tente d'expliquer. Voilà l'extension et la profondeur réelle de ces rôles.

Et l'on peut toujours à nouveau le nier. Ainsi Claude Allègre (11) se demande si les nouvelles particules découvertes par la physique « sont des êtres réels ou des êtres purement mathématiques. Va-t-on vers la physique virtuelle ? » Visiblement il ne conçoit pas "le pouvoir créateur des mathématiques" (12).

• Évolution vers le système immunitaire. De simple événement circonstanciel (vaccination spontanée) ou expérimental

les mathématiques :
langage, outil,
modèle

(11) ALLÈGRE C. (1996). "Vers la physique virtuelle". *Le Point* n° 1232.

(12) BOUTOT A. (1989). "Le pouvoir créateur des mathématiques". *La Recherche* 215, vol 20, pp. 1340-1348.

réaction
immunitaire,
science
immunologique,
système
immunitaire

prouver
par accumulation
ou par réfutation

le paradigme
de la lutte

tal, l'immunité devient une propriété de certains organismes. Elle prend ensuite le statut de fonction physiologique générale à côté et en relation avec les autres grandes fonctions. L'immunité est alors conçue comme un système, puis un système à deux fonctions antagonistes (protéger ou détruire), intégré aux autres systèmes et aux interactions psychosomatiques. Concept isolé, il devient champ conceptuel, intégré dans un réseau, et un programme de recherches à venir. Événement, propriété, fonction, système, voilà des étapes qui impliquent aussi le recul d'une représentation de l'organisme agressé et qui s'adapte au milieu.

- Les étapes conduisant à la conception et à la formulation d'un problème, les étapes conduisant à la validation d'un résultat scientifique pourraient également donner lieu au même type d'analyse : accumulation d'observations empiriques censées se suffire à elles-mêmes, preuve par accumulation de résultats expérimentaux qui "confirment" l'hypothèse, recherche d'autres hypothèses ou d'objections, preuve par contre-épreuve, par réfutation, etc.

2.2. Analyser l'extension et le polymorphisme d'un obstacle

- L'extension, la profondeur, les multiples facettes, les masques d'une représentation qui fait obstacle peuvent également s'analyser par étapes. C'est par exemple le cas des représentations en attaque/défense, d'une lutte entre antagonistes.

- Selon Bichat, en 1802 la vie c'est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort. On ne s'éloigne pas beaucoup de la représentation commune qui imagine une lutte entre la vie et la mort, et surtout qui personnifie ces deux entités.

- Claude Bernard combine deux propositions contrastées : la vie c'est la création, et, la vie c'est la mort. La mort garde une fonction négative, mais la vie n'est pas uniquement arc-boutée à résister, à s'opposer.

- On peut retrouver la même opposition entre le vivant et son milieu chez Lamarck. Il y a une relation d'extériorité et le vivant doit s'adapter sous l'influence (la contrainte) des fonctions du milieu. L'idée de lutte est présente, et plus précisément dans certaines relations alimentaires du type prédateur/proie, l'idée apparente d'attaque et de défense ou de ruse pour échapper. C'est Darwin qui introduira une autre conception des relations des êtres vivants entre eux et avec le milieu, mais le terme mal choisi de "sélection" et l'expression inexacte de "lutte pour la vie" entretiendront pour longtemps cette représentation commune et spectaculaire de la lutte.

- L'immunologie telle qu'elle a été popularisée par les premiers vaccins offre également l'idée d'un antagonisme (anticorps) entre un agresseur extérieur et des défenseurs intérieurs. Il faudrait ici un long développement pour expli-

quer la conception moderne qui nous éloigne totalement de cette image. Dans les trois cas évoqués les notions d'intérieur et d'extérieur doivent être repensées.

- On pourrait encore retrouver cette interférence de l'image de la lutte avec une explication biologique au sein du concept de réflexe myotatique sur lequel vient se superposer l'image des muscles antagonistes.

- Dans le domaine de la méthode scientifique, le choix entre deux théories scientifiques est supposé se faire sur le mode de la lutte à mort : l'une des deux doit avoir le dessus et l'autre être réfutée définitivement, sans laisser aucune trace. La querelle entre Pasteur et Pouchet à propos de la génération spontanée en serait l'archétype. Mais on peut montrer que les situations sont souvent plus complexes. La discussion relève plus de la négociation que de l'exclusion. De plus il est impossible de concevoir, par exemple en médecine au XIX^{ème} siècle, la production d'un savoir comme le savoir bactériologique, qui ne devrait rien à la contagion des théories médicales qu'il a contribué à reléguer parmi les idéologies.

D'autres exemples viennent aisément à l'esprit. Il faut s'attendre à une très grande extension de cette représentation d'une relation d'extériorité, d'antagonisme et de conflit car elle est soutenue par de réels conflits psychologiques, sociologiques, politiques, ou des conflits simulés au niveau du sport et du spectacle. Peut-on ainsi parler, au niveau pédagogique, de "conflit cognitif" dans l'apprentissage ? Ce concept psycho-pédagogique ne relève-t-il pas de la même représentation ?

• Analyser l'extension progressive d'une découverte qui constitue un progrès est une autre façon d'analyser le recul par étapes de représentations. Le problème de l'hérédité est "pointé" de façon très ancienne, mais mal formulé car mêlé à des questions d'héritage, de justification de domination ou de subordination de classes sociales, de sexe, de lignées "pures". Le travail de Mendel perçu actuellement comme "fondateur", peut aussi être compris par les élèves comme anecdotique ou insignifiant. Au mieux il a établi une propriété exacte mais particulière à certains végétaux. On peut faire admettre qu'il ouvre une discipline nouvelle et un champ de recherches coordonnées pour de nombreuses années, riche en découvertes imprévues. La question génétique est désormais, dans le prolongement des travaux initiaux, l'un des grands piliers de tout problème biologique à côté et en relation étroite avec les questions de structure, de fonction, de milieu et de développement historique.

• La profondeur des liens qui relient certaines représentations biologiques avec des angoisses humaines ou des idéologies oscille entre l'acceptation évidente et le refus interrogatif. Dire que l'angoisse de la mort affleure à propos de certains concepts de biologie médicale semble une banalité, ce qui ne veut pas dire qu'elle est nécessairement prise

négocié
un compromis
entre deux théories

la génétique :
événement
insignifiant,
discipline,
champ
de recherches

en compte pédagogiquement. Il est demandé explicitement dans le programme de génétique de montrer que les théories racistes ne peuvent s'appuyer sur les concepts de cette discipline. Par contre l'idéologie politique du progrès social par le progrès scientifique est loin d'avoir été expurgée de l'enseignement. Et si l'on tente de soutenir que certaines représentations du savoir biologique ont "quelque chose à voir" avec les fantasmes sexuels, l'interdit de l'inceste ou l'interdit de l'anthropophagie, beaucoup d'enseignants restent "interdits", ou simplement perplexes.

2.3. Les révolutions conceptuelles inaperçues

Nous ferons une mention spéciale pour les distinctions conceptuelles qui ne prennent de sens qu'une fois l'obstacle analysé, compris et admis. Il faut ici, bien souvent, faire un travail considérable pour faire comprendre à quel point la distinction d'apparence insignifiante constitue une révolution de pensée par rapport à un obstacle important et inaperçu.

équilibre ne signifie pas régulation

- Dire par exemple que les concepts d'équilibre et de régulation doivent être nettement distingués se heurte au fait que l'on parle de régulation du pH sanguin en confondant les deux types de mécanismes qui interviennent. L'intervention des systèmes tampon par déplacement de l'équilibre des carbonates et bicarbonates aboutit à prévenir un changement de pH sanguin. Par contre les modifications du rythme respiratoire et de l'élimination rénale impliquent l'existence d'un écart, sa détection et la mise en route d'un (ou plusieurs) mécanismes compensateurs ayant pour "but" de revenir à l'état initial. Le "but" est ici une "consigne" inscrite dans la structure de l'organisme.

De même, en géologie, il est abusif de parler de "régulation" du taux de dioxyde de carbone atmosphérique, même en supposant qu'il est, à l'échelle des temps géologiques, en équilibre avec les carbonates des milieux aquatiques et avec les masses calcaires qui constituent certaines roches (13). Régulation implique la détection d'un écart et la mise en place d'un mécanisme correcteur. La réversibilité n'est pas assurée.

- Pour détecter l'existence d'une action hormonale on décrit, quand c'est possible, une expérience de greffe de glande après son ablation. Les greffes et transplantation d'organes étant devenues banales au niveau médical, les deux termes, employés l'un pour l'autre même si les sens en sont différents, ne semblent pas poser de problème de compréhension ni soulever d'obstacle. Ici aussi il faut un travail pour

(13) GOHAU G. (1994). "En contrepoint de la régulation : les équilibres en physique et chimie". In *La Régulation en biologie. Approche didactique*. Paris, INRP, pp. 67-74.

LARCHER C. (1994). "Point de vue à propos des équilibres chimiques". *Aster* 18, pp. 57-62.

la greffe trouve
un obstacle dans
la représentation
des machines

comprendre à quel point l'attitude médicale et l'attitude scientifique sont différentes, et à quel point cette dernière soulève de résistances. Greffer pour soigner consiste à rétablir autant que faire se peut l'état initial, c'est-à-dire toutes les connexions d'origine à la place d'origine. Greffer pour démontrer consiste à ne rétablir que certaines connexions pour montrer qu'elles suffisent à rétablir l'une des fonctions supprimée et que l'on étudie. Ainsi on peut déplacer l'organe à greffer et ne pas le remettre à sa place initiale. Créer un animal dans un but démonstratif, et, de plus, créer un animal qui n'existe pas et ne pourra pas vivre hors du laboratoire est difficile à admettre. Et cela se heurte à une représentation de l'organisme qui prend la machine comme analogie. Un organe agit à sa place, par ses connexions, et non pas par ses relations fonctionnelles. Le même mot de greffé masque la profonde différence des significations et des intentions.

3. EST-IL POSSIBLE DE DONNER DES CONSIGNES DE TRAVAIL AUX ÉLÈVES ?

Le vocabulaire qui tente de dire comment s'y prendre pour travailler les représentations à fonction d'obstacle utilise des métaphores de type sportif (contourner, surmonter, passer à travers), plus rarement celui de l'effort et de la souffrance, encore plus rarement celui de l'épreuve affective, du renoncement et du deuil, pratiquement jamais celui de la lutte idéologique. Ces métaphores sont inopérantes par elles-mêmes.

Il est bien délicat de donner ici une liste de consignes de travail dont l'effet puisse être assuré au regard d'un obstacle donné. Nous analyserons deux directions de travail.

3.1. Travailler le vocabulaire

la thèse
réductionniste
est aussi
linguistique

En science la thèse réductionniste est aussi linguistique. Le savant, et donc l'enseignant, utilise (ou crée) un langage clair, cohérent, sans équivoque. Et pourtant de nombreux termes en biologie disent le contraire du concept qu'ils désignent, tel "reproduction", ou maintiennent une ambiguïté, tel "développement, évolution, métamorphose", et beaucoup d'autres. L'enseignant n'a pas ici la possibilité de changer de lui-même des termes d'emploi aussi unanime ! On peut utiliser les consignes suivantes : ajouter une phrase qui nie son sens immédiat, ou seulement un adjectif qui le disqualifie systématiquement ; être attentif à donner des définitions les plus univoques possibles, mais peut-on tout définir ? et un concept peut-il s'enfermer dans quelques phrases ? s'interdire et interdire aux élèves certains termes, mais les manuels ne font pas de même, ni les ouvrages de vulgarisation. La recherche de mots "neutres" risque d'être naïve ou

illusoire. Et bien évidemment, les obstacles étant doubles, il faut aussi établir la thèse inverse qui veut que, dans certains cas, la science progresse grâce à une certaine polysémie. Mais il n'y a pas de critère énonçable *a priori* pour dire si c'est la monosémie ou la polysémie qui est opérante selon le cas étudié.

3.2. Les subversions infinitésimales

quelques mots
pour modifier
profondément
la fonction
d'une définition

Parfois quelques mots suffisent pour changer totalement une signification. Nous avons analysé quelques "révolutions inaperçues". Précisons encore. Si on définit le mot mutation de la façon suivante : "une mutation c'est une modification observable chez certains animaux ou végétaux qui est brusque, c'est-à-dire qui intervient par sauts, qui est peu fréquente, immédiatement héréditaire, c'est-à-dire transmise à la descendance", ce n'est pas faux. Mais on oublie que le mot est un concept c'est-à-dire un outil qui vise ici à créer une distinction ("parmi les modifications observables et dont certaines sont dues aux facteurs du milieu, nous isolerons un certain type de modifications qui..."). On oublie également que ce concept a un champ de validité ("ce qui est phénotypiquement observable") et qu'il est donc ouvert à des rectifications qui risquent de l'annuler en le complétant, ou le contredire. Au niveau des nucléotides certaines modifications sont silencieuses, ou létales, donc non visibles phénotypiquement. Certaines modifications portent sur les cellules somatiques et ne sont pas héréditaires au niveau de la population.

On peut, dans certains cas, donner une simple consigne opératoire. Par exemple, pour détecter certaines formes d'anthropomorphisme on peut donner à l'élève la consigne suivante : "tu raisonnes comme si tu étais toi-même dans la situation de l'animal, de l'organe, de la molécule, et tu leur prêtes tes idées et tes intentions". Mais on peut cependant douter du fait qu'une telle consigne, même répétée suffise. Le polymorphisme de l'obstacle implique une pluralité d'actions à inventer dans chaque situation (14).

La plupart du temps la consigne que l'on peut donner risque d'être inopérante par elle-même. Il faut la traduire dans la situation. Soit la consigne suivante : "pour poser un problème il faut se rendre étrangers les objets et les situations familières". Oui mais comment ? De la même façon les catégorisations de représentations peuvent servir d'aide-mémoire pour l'enseignant : nominalisme, obstacle verbal, unification abusive, pandéterminisme, utilité, etc, mais rarement de consigne de repérage en classe.

(14) RUMELHARD G. (1996). "Représentation et travail résistant". *Biologie-Géologie (APBG)* 4, pp. 753-766.

4. LA FAMILIARITÉ FAIT CROIRE QUE CERTAINS OBSTACLES SONT DÉPASSÉS

les obstacles
deviennent
invisibles

Les obstacles deviennent invisibles à force d'être rendus familiers par des objets, des instruments, des gestes, des institutions. Le retour aux sources permet de les faire apparaître avec toute leur force au moment de leur dépassement. L'appel à l'histoire des sciences ne vise pas à un quelconque rapprochement entre l'élève et le savant du passé, selon une réactualisation de la théorie réfutée de la récapitulation. Il s'agit au contraire de montrer que le mouvement même du développement scientifique inclut un effacement progressif des obstacles et une remise en continuité des ruptures. Voici une nouvelle condition pour travailler les obstacles : s'apercevoir qu'ils ne sont pas dépassés, mais effacés.

Au XVII^{ème} siècle les travaux des physiciens font apparaître de manière condensée et exemplaire tous les obstacles à dépasser pour constituer une science – mieux que les travaux de Harvey en physiologie, ceux de Galilée sont représentatifs. Si les historiens des sciences le considèrent comme l'inventeur de la science moderne, il n'a bien évidemment pas tout inventé dans un vide de connaissances. Il invente une nouvelle lunette astronomique, mais de nombreuses observations ont été faites avant lui, ainsi que de nombreux calculs. Paul Feyerabend a pu montrer qu'il avait tenté de triompher grâce à la ruse, et Mario Bagnioli a pu décrire les splendeurs et misères d'un Galilée parfait courtisan (15), mais l'essentiel ne se situe pas là. Il réside dans le fait de faire converger de manière tout à fait nouvelle trois disciplines : les mathématiques, l'astronomie et la physique. Il unifie la mécanique céleste et la mécanique terrestre.

démarche signifie
enchaînement
coordonné
et cheminement

Ce que l'on nomme, d'une manière devenue tellement habituelle que l'on en oublie la signification, une "démarche scientifique", implique un enchaînement coordonné d'actes et de pratiques de recherche, autrement dit un cheminement, ce que souligne l'étymologie du mot méthode. L'essentiel ne réside donc pas tant dans la compréhension de telle ou telle étape prise isolément (manipulation des instruments et appareils, mesures, calculs, observations,...) mais dans l'articulation, non déterminée par avance, mais nullement fortuite *a posteriori*, entre les différents actes du travail.

(15) FEYERABEND P. (1979). *Contre la méthode*. Paris, Seuil.
BAGLIOLI M. (1993). *Galileo Courtier*. The University of Chicago Press.

4.1. Huit points fondamentaux des travaux de Galilée

Les travaux sur Galilée sont nombreux et très documentés. Il n'est pas possible de les présenter ici et nous les supposons connus, nous limitant donc à souligner huit points fondamentaux (16).

les mathématiques
sont une clef
pour connaître

- Contre Aristote, Galilée pense que les mathématiques peuvent être une clef pour la connaissance scientifique réelle de la nature, et il invente le premier invariant scientifique d'expression mathématique que les élèves connaissent actuellement comme "loi de la chute des corps".
- Son invention technique, le télescope, devient non seulement un outil d'observation, mais un instrument de connaissance – au sens fort du terme – c'est-à-dire un outil à destination théorique (et non pas empirique) qui permet des observations jouant le rôle de preuve confirmant ou réfutant les prévisions théoriques.
- Une étude abstraite des conditions de possibilité du mouvement lui permet d'énoncer des principes (ou des concepts) : "le mouvement est un état de chose qui se conserve indéfiniment". Ce principe permet une première formulation du concept de conservation de la quantité de mouvement, et une première formulation du concept d'inertie (qui seront affinés par la suite). Il énonce également un principe de relativité des observations selon le repère adopté.
- Ceci le conduit à transformer une conception de la causalité-propriété en une causalité-relation. Contre Aristote qui recherche l'origine du mouvement et pense que le haut et le bas sont des références absolues, Galilée souligne la relativité des mouvements et se limite à rechercher "les causes de variations" autrement dit les paramètres qui interviennent. Le travail expérimental et mathématique permet d'établir des "lois". Le mathématicien ambitionne d'informer étroitement l'expérience, et il dialogue avec l'expérimentateur qui est, lui, pourvu d'instruments précis.
- Pour Galilée l'essentiel du travail scientifique n'est pas seulement de fournir des explications sur la nature des mouvements, ou des hypothèses "purement" mathéma-

-
- (16) KOYRÉ A. (1940). *Études galiléennes*. Paris, Hermann.
 KOYRÉ A. (1973). *Études d'histoire de la pensée scientifique*. Paris, Gallimard.
 YAKIRA E. (1994). *La causalité de Galilée à Kant*. Paris, PUF.
 BALIBARD F. (1984). *Galilée, Newton lus par Einstein*. Paris, PUF.
 ACLOQUE P. (1982). "Histoire des expériences pour la mise en évidence du mouvement de la terre". *Cahiers d'Histoire et de philosophie des sciences*.
 CANGUILHEM G. (1968). "Galilée : la signification de l'œuvre, et la leçon de l'homme". In *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris, Vrin, pp. 37-50.

tiques, ou des formules permettant des calculs à utilité pratique (trajectoire des projectiles). Il est de fournir des preuves de la vérité et de la réalité de ce qu'il avance.

- Mais il a également conscience que les preuves qu'il ne peut apporter à son époque résident dans un avenir de la science, dans le développement de la science nouvelle. Cette nouvelle science de la nature est progressive et en ce sens, la science de Newton accomplit c'est-à-dire confirme et justifie ce qu'avait commencé et préparé Galilée.

- La révolution introduite par Copernic en 1543 a pu être assez aisément acceptée comme simple hypothèse mathématique commode, sans soulever d'opposition religieuse. Galilée s'est par contre fixé pour mission d'établir que l'héliocentrisme est vrai d'une vérité physique. Ainsi la mécanique terrestre doit fournir un modèle de la mécanique céleste. Et l'on sait que Galilée n'a pas pu réaliser d'expérience convaincante, en particulier la déviation vers l'ouest d'un corps tombant en chute libre.

- Ce faisant il faisait éclater toute la culture et toute la mentalité que le Cosmos figurait : un monde clos, centré, des références absolues, des causes formelles, des propriétés intrinsèques, des essences.

Voici articulés les éléments de la science moderne, les éléments qui ont ouvert un enchaînement des recherches, qui ont ouvert une tâche infinie de mesures et de coordination d'expériences. Infinie au sens de non encore finie, dans la mesure où, par exemple, la mise au point de l'avion Concorde a permis au commandant Turcat de nouvelles observations sur les mouvements de la Terre.

4.2. Huit obstacles devenus invisibles, mais qui ne sont pas dépassés

Reprenons maintenant chacun de ces huit points pour situer et articuler les obstacles actuels.

- Qui pourrait, actuellement, penser que les mathématiques ne jouent pas un rôle déterminant non pas seulement pour décrire les résultats, mais dans la constitution même des connaissances en physique, chimie, biologie, géologie ? Les lois exprimées sous forme de formules mathématiques sont omniprésentes en physique. Les statistiques et les formules sont nombreuses en écologie, physiologie, génétique et dynamique des populations.

Comment comprendre que Galilée a ouvert une nouvelle voie ? Comment pensait-on avant lui ? Pour s'en faire une idée il faut se faire naïf, ou observer de jeunes élèves, ou enseigner à des adultes qui ne possèdent pas le savoir mathématique. Mais les adultes sont familiarisés au moins avec le fait que les études statistiques permettent de connaître les opinions et de prévoir certaines évolutions. Il faut donc se faire savant d'un savoir aboli et dépassé, mais

l'héliocentrisme est vrai d'une vérité physique

l'ouverture d'une tâche infinie de recherches

se faire savant d'un savoir aboli et dépassé

accepté collectivement à l'époque de Galilée pour apercevoir où se situe l'obstacle. Cet obstacle aurait-il finalement disparu à cause de cette familiarisation vécue dans la vie sociale ? Une mathématisation peut être insuffisante, elle peut également être excessive ou trop réductrice. On peut chercher en biologie l'expression de résistances qui ne sont pas nécessairement la manifestation d'une pensée archaïque. La physiologie humaine et la médecine ont perpétuellement rappelé la singularité de chaque cas, tandis que l'approche scientifique tend à les mettre, au moins provisoirement, entre parenthèses au profit de l'étude de populations et de "moyennes". Quant au fait que la pensée soit "calculable", la confrontation entre un joueur d'échec et un ordinateur a réactivé récemment les termes du débat.

Il y a donc ici un ensemble d'obstacles concernant les rapports entre mathématiques et sciences, dont on peut penser qu'ils sont inaperçus ou négligés sous prétexte de familiarisation avec la culture contemporaine.

- Qui actuellement pourrait penser que la science ne progresse pas grâce à l'utilisation d'instruments d'observation, de détection et de mesure ? Il est même fréquent de penser que c'est la seule source de progrès et qu'il en a toujours été ainsi. Pour des parents attentifs qui pèsent régulièrement leur enfant afin de suivre sa croissance en la comparant à des tableaux ou des courbes décrivant la "normale" et ses "écarts", il faut un travail de dépaysement pour admettre que, au Moyen Âge, la balance n'est qu'un instrument d'orfèvre, de banquier ou de commerçant. À cette époque personne n'a l'idée que peser puisse préparer à connaître. La vie des hommes n'est pas matière à mesure ou à calculs. Les instruments tels que les loupes, les lentilles, les horloges servent à la vie pratique mais pas au travail scientifique.

Ici encore une évidence, liée à la familiarité et soutenue par les nombreux appareils utilisés en particulier dans le domaine médical, risque de faire négliger un concept à construire et quelques obstacles à surmonter. La loi de la chute des corps est "vérifiée" avec une précision très grande dans n'importe quel lycée grâce au banc à coussin d'air, aux capteurs électroniques et à l'enregistrement des données par ordinateur. Cette précision peut faire apparaître par elle-même, sans avoir à la conceptualiser, l'influence de la poussée d'Archimède si la mesure est faite dans l'air et non pas dans le vide.

faire une place
aux concepts

- Les concepts d'inertie et de quantité de mouvement, par contre, posent encore de nombreux problèmes de compréhension lors de l'enseignement. L'effort initial des travaux de didactique de la physique s'est précisément porté sur ces concepts (17). Ce premier succès historique majeur de la

(17) VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.

les concepts font
exister des objets
techniques

mécanique trouve un obstacle dans le fait que, pour un être vivant, l'inertie c'est l'inactivité et l'indifférence. Et cette inactivité est immédiatement conçue comme le repos ou la mort. D'une certaine façon le concept de tonus musculaire rencontrera le même obstacle. Comment concevoir une activité en l'absence de mouvement apparent. Vivre c'est être actif, choisir, préférer ou repousser, être en mouvement. L'inertie n'est pas le repos, ni même la résistance à la mise en mouvement. Pour concevoir le concept physique d'inertie il faut soustraire le mouvement de la matière au pouvoir d'intervention des êtres vivants.

On pourrait objecter qu'il est possible de cheminer d'une observation au concept. Les concepts font exister des objets, des appareils et donc des observations qui ne l'auraient pas été sans eux. Le pendule de Foucault, le gyroscope, la centrale à inertie des fusées "rendent visibles" les concepts concernés. En supposant la Terre enveloppée d'une épaisse couche de nuages permanents empêchant l'observation du Soleil, de la Lune et des étoiles, combien d'élèves pourraient cependant concevoir les mouvements de translation et de rotation de la Terre par l'observation des objets cités ? Pourrait-on le concevoir en mesurant avec précision, comme c'est actuellement possible, la déviation de la chute d'un corps sur une très grande hauteur ?

De plus ce concept d'inertie n'est pas sorti entièrement et définitivement achevé du cerveau de Galilée. Descartes et Newton ont grandement contribué à son élaboration. Le chemin est long jusqu'à la distinction de la masse inertielle et de la masse gravitationnelle, jusqu'au concept de référentiel inertiel, et aux travaux d'Einstein.

Dernière remarque pédagogique, la maîtrise du concept d'inertie n'est pas indispensable à la résolution de la plupart des problèmes de physique scolaire tels qu'on les propose en général. De la vie pratique non plus. Il ne reste alors qu'une découverte expérimentale et empirique de la chute des corps permettant de "vérifier" une formule mathématique qui se présente comme un donné de l'expérience. L'enseignement "refuse" l'obstacle, comme certains chevaux !

- La recherche des causes de la chute des corps au sens finaliste et ontologique, c'est-à-dire la recherche de la "nature" de cette chute et "son but" sont actuellement considérés comme en dehors du domaine de la physique. Mais l'attitude pédagogique est ici bien souvent dogmatique, c'est-à-dire que toute proposition d'élève allant dans ce sens sera "interdite" comme métaphysique, plutôt que déconstruite.

La science recherche des lois ou des modèles à forme mathématique, et en biologie des mécanismes. En ce sens expérimenter consiste à faire varier des paramètres et à mesurer avec la plus grande précision possible les résultats. La recherche biologique se présente souvent différemment. Les domaines formalisables sont peu nombreux, et les orga-

nismes entiers ne sont pas entièrement analysables par décomposition en paramètres. Les questions de l'origine et du but doivent être débarrassées de leurs aspects mythiques, mais ne peuvent être éliminées. Elles sont donc à déconstruire et reconstruire.

le savoir scientifique
est un savoir-vrai

- Le savoir scientifique est un savoir-vrai. Le scientifique prend le soin de "prouver" ce qu'il dit. Sinon il se tait ou dit simplement "on ne sait pas". Dans une société où dissimuler et falsifier sont fréquents, cette représentation du scientifique comme symbole d'honnêteté et de désintéressement est largement utilisée au niveau publicitaire et politique. Rappelons que, inversement, toutes les tentatives pour constituer une science inféodée à la politique ont échoué (affaire Lyssenko, sociobiologie, évolutionnisme,...). Mais la familiarité de cette image du savant n'entraîne pas immédiatement le fait qu'un élève soit en mesure de dire ce que signifie "prouver", ni qu'il puisse énoncer des critères de scientificité. La référence à des "expériences" faites au "laboratoire" semble se suffire à elle-même.

Les récents procès vis-à-vis des falsifications alimentaires ou médicales ont souligné cette idée de "vérité scientifique" imparable. Mais ces notions ne sont prises en compte qu'à travers leur utilité sociale. Le savoir-vrai reste en toile de fond et c'est bien le caractère utile du savoir qui est mis au premier plan. Le travail du scientifique est la recherche d'une vérité utile, voilà la représentation dominante. L'utilité sociale du savoir est bien souvent source de motivation pédagogique. C'est toujours une impasse théorique.

un développement
continu
de la science

- L'idée d'un progrès des connaissances est fortement ancrée depuis le milieu du XIX^{ème} siècle. La prophétie des découvertes à venir est largement utilisée au niveau médical en particulier. Elle est soutenue par l'invention d'instruments nouveaux plus précis, plus rapides, plus efficaces pour observer, détecter, mesurer les éléments d'une pathologie. L'idée inverse d'une détérioration des conditions de vie à proportion du progrès scientifique touche progressivement la chimie et la physique nucléaire. Elle n'atteint que peu le domaine médical. L'idée d'un progrès social est, par contre, de plus en plus critiquée. Ce concept d'un développement de la science, à travers des découvertes qui se succèdent et surtout s'enchaînent de manière coordonnée, est donc à construire car il risque de plus en plus d'être nié dans sa spécificité en subissant l'effet en retour des applications sociales néfastes.

le concept
de modèle
est double

- La notion de modèle reste profondément ambiguë comme l'ont montré les récentes recherches didactiques sur la modélisation. La distinction claire entre modèle pour expliquer, modèle à copier, modèle pour décider, analogies heuristiques, simulation, imitation est à construire.

- Dès 1543 la cosmologie devient positive en renonçant au Cosmos, c'est-à-dire à une Terre maternelle, un monde fini et clos, une mythologie du cercle protecteur, roc de stabilité

et de sécurité, repère et refuge après tous les écarts. Nicolas Copernic renverse les fondements chimériques de l'astrologie, et aucun enseignant ne pense actuellement indispensable d'évoquer l'astrologie, fut-ce pour démontrer son inanité. Il reste que des adultes y croient, ou font semblant d'y croire. Admettent-ils réellement que le statut de vérité et la fonction sociale de ce type de croyance n'est pas de même nature que celle des explications scientifiques ?

Renoncer à l'anthropocentrisme serait moins difficile à l'ère des satellites artificiels ? Cela reste à argumenter. Mais en biologie c'est à l'anthropomorphisme qu'il faut renoncer et la difficulté est beaucoup plus ancrée. Si le Cosmos n'est plus un refuge, la terre reste chaude, vivante, nourricière et protectrice. L'anthropomorphisme imprègne même la géologie, et donc, *a fortiori* les molécules, les végétaux, les animaux et l'homme selon un gradient croissant.

On voit ainsi se dessiner un réseau de liaisons non nécessaires entre des obstacles qui se soutiennent éventuellement l'un l'autre. Des mathématiques réduites à l'état d'outil de description ou de communication, réduites à une pure forme qui reçoit, soutiennent la découverte empirique d'une loi de chute des corps établie grâce à des instruments de mesure précis et qui n'implique aucun concept. Tout ceci n'a rien à voir avec le Cosmos et un changement de représentation, etc. À chaque fois les actes du travail scientifique sont isolés les uns des autres.

ne pas séparer
les étapes
d'une démarche

CONCLUSION

Pour conclure on peut proposer de revenir sur nos pas, ce qui est le propre de l'enseignement. Parcourir un chemin, mais aussi savoir lequel on a parcouru. Nous avons évoqué des obstacles au concept didactique d'obstacle, des obstacles aux divers actes scientifiques qui forment un réseau plus ou moins lâche, des obstacles à l'enchaînement coordonné de ces actes. Peut-on hiérarchiser ces obstacles ou désigner un point de plus grande résistance ? Un mot à lui seul condense toutes les ambiguïtés, celui de "savoir". Utilisé comme substantif il implique un processus de transmission d'informations, il implique une représentation d'un savoir-chose, objet, trésor que l'on possède, bagage découplable en morceaux indépendants les uns des autres, collection disparate. Utilisé comme verbe il désigne un ensemble d'actions visant à connaître. Il implique qu'il y a quelque chose à comprendre. Il faut chercher des raisons, des lois, des mécanismes et des processus de validation de ce que l'on conçoit. Des couples de mots peuvent préciser cette ambivalence : objet ou objectivation, modèle ou modélisation, information ou formation. Et bien évidemment, comme les obstacles sont doubles, la tentation inverse d'identifier savoir à méthode pour découvrir, inventer et prouver existe.

le mot savoir :
substantif
ou verbe

Enseigner une méthodologie suffirait alors. À travers cette petite différence (le même mot considéré comme substantif ou comme verbe d'action) c'est l'objectif même d'un enseignement scientifique qui est en jeu. Subversion infinitésimale et donc bien souvent inaperçue, point nodal du travail sur le réseau lâche des obstacles au cours de l'enseignement-apprentissage.

Guy RUMELHARD,
Lycée Condorcet, Paris
Équipe de didactique des sciences
expérimentales, INRP.