

ENSEIGNER ET APPRENDRE PAR PROBLÈMES SCIENTIFIQUES DANS LES SCIENCES DE LA VIE ÉTAT DE LA QUESTION

Philippe Brunet

Ce texte, qui a été rédigé pour un mémoire de DEA, présente un état actuel de la réflexion sur l'enseignement et l'apprentissage par problèmes scientifiques. Il distingue les données épistémologiques (démarche expérimentale et obstacles), les données psychocognitivistes (socio-constructivisme, traitement de l'information, la résolution de problèmes), et l'outil didactique dénommé situation-problème. Il présente une bibliographie très développée sur la question.

une investigation
à partir de
problèmes
scientifiques

Depuis la réforme des lycées et la mise en place des nouvelles séries du baccalauréat de l'enseignement secondaire, l'enseignement par problèmes scientifiques guidant les activités expérimentales des élèves est devenu la seule méthode pédagogique prônée par l'Inspection Générale. D'ailleurs, il est possible de lire dans les principes généraux de ces nouveaux programmes : *"L'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre s'appuie largement sur des activités pratiques et expérimentales, sur une référence constante au concret, sur l'appel à des thèmes d'actualité. Fondé sur une investigation à partir de problèmes scientifiques, il favorise le développement chez l'élève d'une attitude rationnelle, condition d'une autonomie indispensable à un choix raisonnable."* (1)

formuler des
problèmes

Bien que présent, dans l'enseignement des sciences naturelles, comme alternative à d'autres méthodes pédagogiques, dès la fin des années soixante, c'est vraiment, avec les changements de programme de 1987, que l'enseignement par problèmes scientifiques fait son entrée officielle dans la conduite de l'enseignement. On peut en effet lire dans les instructions officielles de 1987 : *"Dans le cadre des méthodes actives associant les élèves à l'organisation des connaissances autant qu'il est possible de le faire, la valeur éducative des actions pédagogiques tient aux démarches explicatives que conditionne la problématique scientifique. Les sujets doivent permettre à partir du concret et des acquisitions antérieures des élèves de formuler les problèmes scientifiques, étapes conduisant par le raisonnement à l'organisation d'un savoir explicatif."*

Alors qu'en 1987, il était explicitement fait référence à une pratique pédagogique, celle des méthodes actives, une évolution est perceptible dès 1992, avec les rajustements transitoires des programmes de 1987 où là, il est fait référé-

(1) Ministère de l'éducation nationale (1992). Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées. *B.O.E.N.*, (numéro hors série du 24 septembre 1992). Paris, CNDP.

rence à un enseignement par problèmes scientifiques prenant en compte les capacités des élèves (2). Bien que non explicitement indiquée, la pédagogie par objectifs est sous-jacente à l'élaboration de ces nouvelles indications méthodologiques.

Finalement, toute référence à une quelconque pratique pédagogique disparaît dans les derniers programmes. Comment interpréter ce retrait progressif de toute indication d'ordre pédagogique quant à la mise en place d'un enseignement par problèmes scientifiques? Nous supposons, alors, la prise de conscience du fait que l'enseignement des sciences est au moins sous l'influence de deux types de contraintes (Host, 1982, 1985) : *"Les unes tiennent aux finalités de l'éducation, les autres aux exigences spécifiques de la pensée scientifique."* (Host, 1982). Un enseignement par problèmes scientifiques se trouve donc à la rencontre d'une double approche : l'approche psychocognitive et l'approche épistémologique.

Pendant, l'étude des problèmes proposés par les concepteurs de manuels (3) (Tavernier, Lizeaux, 1993; Demounem, Gourlaouen, Périlleux, 1993), outre la diversité syntaxique de l'énonciation de ces derniers (voix affirmative ou voix interrogative), fait apparaître une méconnaissance du type de savoir à construire, lors de la résolution du problème. Il semble donc nécessaire de trier et de qualifier, les différents types de savoir auxquels est confronté tout enseignement des sciences, de façon à déterminer ceux qui seront construits de façon privilégiée, lors d'une pédagogie par "résolution de problèmes".

De plus, les instructions officielles indiquent que l'enseignement doit se mettre en place à partir des acquis supposés des élèves, construits dans les classes précédentes. Or, le plus souvent, ce dernier possède *"des conceptions pré-scientifiques qui font partie de son bagage intellectuel d'apprenant, c'est à travers elles qu'il comprend... Elles sont à la base de la connaissance, en constituant une sorte de substrat au savoir."* (Giordan, De Vecchi, 1990). Ces conceptions initiales des apprenants sont à l'origine d'obstacles à la compréhension et à l'acquisition d'une connaissance scientifique, *"c'est en effet,*

les conceptions
des apprenants

(2) *"Avec les moyens traditionnels ou grâce aux technologies nouvelles, on poursuivra la recherche des conditions de développement d'un enseignement par problèmes scientifiques et des capacités des élèves à élaborer des hypothèses, concevoir et mettre en œuvre des protocoles expérimentaux, dans le cadre d'activités de laboratoire autonomes, individuelles et d'équipe."*

Ministère de l'éducation nationale (1992). Aménagement des programmes en classe de seconde générale et technologique (année scolaire 1992-1993); Biologie-géologie. B.O.E.N. n° 23/4 juin 1992, page 1579. Paris, CNDP.

(3) *"1-Comment évaluer les dépenses énergétiques de l'animal ou de l'homme, et comment étudier expérimentalement l'influence de différents facteurs, internes et externes, sur les dépenses énergétiques ?*

2-Par quels mécanismes les cellules libèrent-elles l'énergie chimique des nutriments ? Quelles substances cellulaires interviennent dans ces processus libérateurs d'énergie ?"

Tavernier, R., Lizeaux, C. (1993). *Sciences de la vie et de la terre, première S.* Paris : Bordas.

Ou encore, *"Les problèmes scientifiques à résoudre :*

1- La diversité ou l'identité des modalités de conversion d'énergie chez les êtres vivants.

2- L'influence de divers facteurs sur la consommation d'énergie d'un organisme.

3- Les mécanismes des conversions d'énergie à l'échelle de la cellule."

Demounem, R., Gourlaouen, J., Périlleux, E. (1993). *Sciences de la vie et de la Terre, première S.* Paris : Nathan.

en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique" (Bachelard, 1938). Ces données, qu'il sera nécessaire de prendre en compte dans l'enseignement des sciences, interfèrent alors avec les deux approches définies précédemment.

trois types de
contraintes

La reconnaissance de ces trois types de contraintes, à savoir celles liées aux mécanismes d'apprentissage lors de la résolution de problèmes, celles liées aux exigences de la pensée scientifique et celles liées à l'existence de conceptions pré-scientifiques chez les apprenants, a amené les chercheurs en didactique des sciences à construire progressivement un ensemble d'outils permettant un enseignement plus efficace des savoirs scientifiques.

La connaissance des conceptions-obstacles, n'est, en effet, utile que si elle permet véritablement l'acquisition d'un savoir scientifique, il est en effet nécessaire de rendre ce concept opérationnel. Le concept d'objectif-obstacle (Martinand, 1986) semble pouvoir l'opérationnaliser.

l'impossibilité
de résoudre
le problème
sans apprendre

La situation-problème se trouve elle à la réunion de la pratique de résolution de problèmes et du concept d'obstacle opérationnalisé par celui d'objectif-obstacle. Elle peut donc paraître comme étant un outil efficace de l'apprentissage. *"Tout l'effort de la pédagogie des situations-problèmes est d'organiser précisément l'interaction pour que, dans la résolution du problème, l'apprentissage s'effectue. Cela suppose que l'on s'assure, à la fois de l'existence d'un problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre."* (Meirieu, 1987). Il est ainsi également posé la question de la pertinence et du sens pour l'apprenant du problème qui lui est donné à résoudre.

Afin de préciser les caractéristiques d'un "enseignement par problèmes scientifiques", nous envisagerons donc dans un premier temps les deux domaines auxquels fait référence cette pratique pédagogique : l'épistémologie des sciences et les théories d'apprentissage liées à la psychologie cognitive. Nous terminerons alors cet exposé par la caractérisation d'un outil didactique utilisable dans ce type d'enseignement, à savoir la situation-problème.

1. LES DONNÉES ÉPISTÉMOLOGIQUES D'UN ENSEIGNEMENT PAR PROBLÈMES SCIENTIFIQUES

Dans le domaine de la recherche sur la "résolution de problèmes", outre le courant psychocognitivist, il existe un courant basé sur l'histoire, la philosophie et l'épistémologie des sciences (Furió Mas, Iturbe Barrenetxea, Reyes Martín, 1994). C'est effectivement la pratique du chercheur scienti-

fique qui tend à servir de référence dans l'enseignement des sciences. Il apparaît donc nécessaire d'étudier et de caractériser les mécanismes de l'élaboration scientifique. Trois éléments majeurs seront ici, envisagés dans le développement de la connaissance scientifique :

- le problème en tant qu'instrument de création de savoir scientifique,
- la démarche expérimentale fonctionnant sur un mode de pensée hypothético-déductif,
- le concept d'obstacle épistémologique, développé dans un cadre d'étude historique.

1.1. Le problème, moteur de l'activité scientifique

une
problématisation
excessive

Bien qu'on puisse remettre en cause une "problématisation" excessive des sciences, en liaison avec un idéal méthodologique (Andler, 1987), il n'en demeure pas moins, qu'en partie, le problème est au cœur de l'activité scientifique, il apparaît comme étant le moteur de sa progression (Popper, 1959, 1963; Laudan, 1977; Chalmers, 1991). *"La science ne commence que s'il y a problème. Ceux-ci surgissent avant tout lorsque nos attentes se trouvent déçues ou que nos théories nous conduisent à des difficultés, à des contradictions,"* (Popper 1985). Plus généralement, Popper (1978), fera de tout être vivant un *problem-solver* et fondera l'existence d'un "monde-3", création humaine, *"peuplée des produits objectifs de l'activité cognitive : théories, problèmes, conjectures, doctrines et options philosophiques, interprétations, etc."* (Andler 1987)

Ces problèmes, moteurs de la découverte scientifique, apparaissent lorsque les théories scientifiques n'expliquent plus totalement ce qui est observé par le chercheur. Ils permettent alors, l'élaboration d'hypothèses qui se trouvant "réfutéés", autorisent l'élaboration de nouvelles théories et de nouveaux problèmes selon le schéma :

$$"P \rightarrow TC \rightarrow EE \rightarrow P"$$

P = Problème initial (plongé dans un contexte),

TC = Théorie Conjecturale (tentative theory) proposée dans l'espoir de résoudre *P*,

EE = phase d'Élimination des Erreurs,

P' = un nouveau Problème (ou contexte problématique) issu du processus." (Andler, 1987)

C'est le plus souvent en ayant recours à l'expérimentation que l'élimination des erreurs s'établira. En fait, contrairement à un cadre "falsificationniste" poppérien naïf (Chalmers, 1976), il est rare que l'expérience débouche sur le rejet de la théorie ou son acceptation provisoire (*"l'expérience cruciale"*). Selon Lakatos (1985), le plus souvent, on aboutit à des aménagements provisoires de secteurs de la théorie.

science normale
et révolutions
scientifiques

Parallèlement, son étude de *“La révolution copernicienne”* (1957) permet à Kuhn de dégager le concept de *“révolution scientifique”* (1962). Il distingue alors :

“- *Des périodes où les scientifiques sont d'accord sur la façon dont il faut voir le monde et partagent le même paradigme. Il parle alors de science normale.*

- *Des périodes, plus courtes et relativement peu fréquentes, de science extraordinaire où une révolution scientifique conduit à un changement de paradigme.*” (Orange C., Orange D. 1993b)

Ce concept de paradigme élaboré par Kuhn, bien que ce dernier le rejetât (Latour, 1996), permet entre autres, d'introduire dans l'activité scientifique une composante sociale (Latour, Woolgar, 1988 ; Latour 1996). Ce concept pourra d'ailleurs, orienter une pratique de classe par la mise en place d'un débat scientifique dans la classe (Johsua, 1989). En effet, *“le paradigme va beaucoup plus loin que l'idée de théorie construisant les faits, il est équipé d'instruments, alourdi de procédures institutionnalisées. Il est social, politique, humain en même temps que conceptuel et technique.”* (Latour, 1996). Il sera alors possible de distinguer deux types de problèmes scientifiques. Ceux qui permettent une amélioration du paradigme dans lequel ils sont élaborés et ceux qui par absence de résolution, conduiront à une crise, on distinguera alors des *“problèmes normaux”* et des *“problèmes de rupture”* (Orange C., Orange D., 1993b).

Laudan, rejoignant les travaux de Kuhn, affine la définition du problème scientifique. En effet, il considère qu'il existe deux types de problèmes :

- les problèmes empiriques ou problèmes d'ordre premier (Laudan, 1977) qui *“correspondent à ce qui, dans la nature, perçue au travers d'un certain contexte de recherche ou de certaines idées préconçues, demande une explication”* (Orange C., 1993) ; on pourra les rapprocher des problèmes normaux *“kuhniens”* ;

- les problèmes conceptuels, proches eux des problèmes de rupture. Il s'agit *“soit de problèmes de plausibilité ou de cohérence d'une théorie, soit de conflits entre deux théories”* (Orange, 1993).

construire les
problèmes avant
de les résoudre

Il faut également insister sur le fait que pour Laudan, les problèmes résultent d'un processus d'élaboration théorique. Il rejoint de ce fait Bachelard pour qui la maîtrise d'un problème scientifique ne se limite pas à sa résolution, mais également à sa construction, à sa formulation (Orange, 1993).

Popper, Laudan, Bachelard et Kuhn amènent alors Orange (1993) à préciser *“trois points importants dans les relations problèmes/connaissances :*

- *Des interactions fortes existent entre problèmes et connaissances au point que l'un ne peut exister sans l'autre dans l'activité scientifique.*

- *Les problèmes sont des constructions intellectuelles. Ils ne sont pas donnés, mais résultent d'un processus de problématisation.*

- *Les problèmes n'ont pas tous le même statut épistémologique ; certains sont liés à des ruptures théoriques, d'autres à de simple développement de paradigmes."*

En partant de l'hypothèse que ces remarques sont transposables à des situations d'apprentissage s'appuyant sur la construction et la résolution de problèmes, il est alors possible de distinguer en situation de classe, dans une pratique pédagogique guidée par l'épistémologie des sciences, des problèmes normaux et des problèmes de rupture (ou fondamentaux). Orientés également par des données historiques, on distinguera des savoirs-clés quant à la construction de la connaissance scientifique et des savoirs plus secondaires qui n'interviendront que dans la stabilisation des concepts majeurs (savoirs-clés) (Orange C., Orange D., 1993b ; Johsua, 1989). Tout comme dans le domaine scientifique où on assiste à des changements nets de connaissance, lors de période de révolution scientifique, les problèmes de rupture permettront donc aux apprenants de réaliser un apprentissage en changeant leur propre paradigme. Alors que des problèmes normaux pourront être utilisés au cours d'un autre type d'apprentissage qui lui, visera davantage l'approfondissement d'une connaissance, d'une théorie (Orange C., Orange D., 1993b). Cependant, *"qu'ils soient fondamentaux ou normaux, les problèmes sont à construire et c'est dans la construction que réside l'essentiel du travail intellectuel, donc l'essentiel de l'apprentissage attendu."*

l'essentiel est
dans la
construction

1.2. La démarche expérimentale

En sciences expérimentales et notamment en biologie, c'est par la mise en place d'expérimentation que les théories, explications momentanées à un problème vont être mises à l'épreuve : on tentera de les "falsifier" (Popper, 1959). Ces expérimentations prennent souvent la forme d'une "démarche expérimentale" caractérisée par une approche intellectuelle hypothético-déductive.

La "démarche expérimentale" trouve son origine dans le positivisme classique qui dans l'activité scientifique donnait un rôle fondamental à l'observation (Comte, 1832). Cette attitude positiviste est particulièrement illustrée par Claude Bernard (1865) dans la mise en place de la "méthode expérimentale" (Develay, 1989) que l'on peut résumer par : *"Observation naturelle → expérience (mesures) → mise en évidence de faits → formulation d'hypothèses → déductions et prévisions → mise au point de nouvelles expériences fondées sur ces hypothèses et ces prévisions → confirmation ou rejet des hypothèses au vu du résultat de ces expériences."* (Johsua, Dupin, 1993)

le cadre
théorique prime

Il apparaît cependant que Claude Bernard, lui-même, n'utilisait pas cette méthode dans ses recherches et qu'elle ne représentait qu'une technique d'exposition de ses travaux (Canguilhem, 1968 ; Grmek, 1973). En effet, un ensemble d'études historiques a démontré que le cadre théorique dans lequel se posait le problème primait sur l'observation et que ce dernier était le filtre à travers lequel le monde physique ou biologique pouvait être interrogé (Giordan (dir.), 1987). *"La science part donc de problèmes et non pas d'observations, même si celles-ci peuvent faire apparaître un problème, en particulier lorsqu'elles sont imprévues."* (Popper, 1985). Dans la science moderne, même si *"le caractère principal de l'élaboration scientifique apparaît de nature hypothético-déductive, c'est l'hypothèse, enserrée dans un cadre théorique, qui dirige les calculs mais aussi les observations, et donc les conclusions à confronter éventuellement avec les données expérimentales"* (Johsua, Dupin, 1993).

Un décalage semble cependant exister entre la reconnaissance d'une procédure de recherche scientifique non enclenchée par l'observation et les pratiques pédagogiques. Il apparaît, en effet que l'enseignement des sciences expérimentales, et particulièrement celui de la biologie, reste très largement imprégné par une approche empiriste dans un cadre positiviste. *"L'observation joue le rôle d'activité première, la démarche inductiviste étant le processus obligatoire pour accéder à la conceptualisation."* (Grosbois, Ricco, Sirota, 1992). L'enseignement de la biologie passe par celui de la "méthode" expérimentale, modèle unique hérité de Claude Bernard et schématisé par OHERIC :

Observation → Hypothèse → Expérience → Résultat →
Interprétation → Conclusion (Giordan, 1978).

Il peut être éventuellement déguisé sous la forme OPHERIC, P pour problème, mais le cadre empirique donnant la primauté à l'observation, lui, ne change pas, malgré l'apparition du P.

Il apparaît que de manière récurrente, cette méthode linéaire destinée à ne mettre en valeur et à ne délivrer que la solution unique au problème déjà connue de l'enseignant est employée majoritairement par ces derniers (Orlandi, 1991). Ceci pourrait être relié à une "épistémologie spontanée des enseignants" où coexistent une attitude descriptive héritée du XIX^e siècle et une absence de connaissances en histoire des sciences (Rumelhard, 1997). La décontextualisation de contenus et de pratiques enseignés hors de tout lien avec leur sphère de production *"semble déplacer sans transition et irréversiblement les formulations employées par des enseignants de biologie d'un registre scientifique à un registre dogmatique"* (Grosbois, Ricco, Sirota, 1992 ; Favre, Rancoule, 1993).

De plus, selon Rumelhard (1997), la position prédominante de l'observation, dans la pratique de classe des enseignants de biologie semble s'accompagner de *"résistances très fortes,*

obstacle à la
notion de
problème

d'obstacles à la notion de problème (le mot problème contenant l'idée d'obstacle jeté devant et l'idée de résistance, de défenses à emporter de force)". Outre les obstacles liés à l'épistémologie spontanée des enseignants, il y discerne également des obstacles d'ordres psychologique et pédagogique : l'instinct conservatif privilégiant les réponses aux questions, le désir de régression, de fusion-confusion au sein de la Nature que peut entraîner le choix de certains thèmes de l'écologie et de l'éducation à l'environnement, et le choix de certaines méthodes d'enseignement qui réactivent (d'après Dolto, 1967) l'attitude digestive de la relation à l'autre. Dans un autre registre, l'évolution même du savoir scientifique qui par sa complexité et ses intégrations successives fait disparaître la question initiale constituera également un obstacle à la notion de problème (Rumelhard, 1997).

1.3. L'obstacle épistémologique

problèmes
pratiques

Lorsque John Dewey, l'un des fondateurs du mouvement pragmatique américain, préconise un enseignement par problèmes, permettant "*à l'enfant en les "expérimantant" de discipliner ses impulsions, le savoir lui étant donné par surcroît*" (Deledalle, 1995), il pense plutôt à des problèmes d'ordre pratique. Cependant, "*Résoudre un problème, trouver une solution efficace à un problème précis n'implique pas nécessairement de développer une problématique et d'entreprendre un programme de recherche. Une véritable activité scientifique vise à objectiver une question en proposant un détour, un recul, un déplacement, un changement de point de vue.*" Ce détour présente une rupture avec la pensée commune (Rumelhard, 1997).

On rejoint ici, l'idée de l'*expérience première* développée par Bachelard (1938). "*La première expérience ou, pour parler plus exactement, l'observation première est toujours un premier obstacle pour la culture scientifique.*" (Bachelard, 1938). Pour lui, cette observation première tirée le plus souvent de la pensée commune est "*séduisante et colorée*" et fait croire un peu trop rapidement, que l'on a compris. Elle crée alors un obstacle à la construction d'un réel savoir scientifique. Pour dépasser cet obstacle, il est alors nécessaire de quitter cet empirisme immédiat. Ceci ne peut alors se faire que par la construction, la formulation d'un problème et c'est au cours de ce processus que s'élaborera le savoir.

les problèmes ne
se posent pas
d'eux-mêmes

"Et quoi qu'on en dise dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit." (Bachelard, 1938). Cette construction se fait contre le savoir existant, contre l'expérience première, en renversant les obstacles qu'elle a pu faire

apparaître. La construction d'un savoir scientifique doit donc commencer par une *"catharsis intellectuelle et affective"*.

Bachelard développe sa théorie par l'étude de la pensée scientifique dans le monde occidental, et notamment par des études historiques dans les domaines de la physique et de la chimie. Se pose alors le problème de savoir dans quelles mesures l'histoire des sciences peut être utilisée dans l'enseignement scientifique aujourd'hui? En effet, de nombreux obstacles épistémologiques rencontrés dans l'histoire de la pensée scientifique apparaissent également comme étant des obstacles à la construction du savoir chez les apprenants (Raichvarg, 1987; Kerlan, 1993). Si l'histoire des sciences semble d'un apport fructueux pour le didacticien et l'enseignant (Rosmorduc, 1987, 1993; Gaudillière, 1994), elle ne semble l'être que sous certaines conditions (Martinand, 1993). Elle peut servir à détecter des obstacles persistants qui nécessitent des réorganisations conceptuelles importantes lors de leur franchissement. Mais en aucun cas, les méthodes qui serviront à surmonter ces obstacles ne pourront être identiques en raison des contextes matériels et culturels différents (Giordan, 1989b, Martinand 1993). Elle peut également aider à la construction des contenus (par exemple, le concept d'élément chimique enseigné sans modèle moléculaire et qui à travers les considérations de Mendéléïev a pu être envisagé comme étant ce qui se conserve lors de la réaction chimique) (Martinand, 1993). Mais il apparaît que dans la conception actuelle de l'enseignement où les résultats scientifiques demeurent plus importants que leurs constructions, cette dernière ne semble pas avoir sa place. En effet, il apparaîtrait nécessaire de réorganiser les buts même de l'éducation scientifique. *"Le problème fondamental doit sans doute être formulé ainsi : Quelles sont les conditions d'articulations entre une approche du sens historique et une initiation aux connaissances opératoires?"* (Martinand, 1993).

la redécouverte
est dogmatique

Il en ressort alors que la "méthode de la redécouverte", méthode pédagogique qui cherche à recréer les conditions historiques d'une découverte scientifique (Brunold, 1948), ne peut dans ces conditions que conduire à une pratique dogmatique déjà existante (sous une autre forme), dans l'enseignement scientifique (Gohau, 1987). Elle implique de plus, une vision linéaire de l'histoire des sciences et oublie les tâtonnements, les erreurs et les impasses pour ne considérer que les résultats. Ces derniers étant eux-mêmes reconstruits postérieurement par le chercheur, dans un souci de présentation claire et rationnelle (Gohau, 1987; Raichvarg, 1987; Serres, 1989).

En conclusion, il apparaît donc que le problème est le véritable moteur de l'activité scientifique. Il permet la production de savoirs, de connaissances, de théories scientifiques. C'est le plus souvent, par une démarche expérimentale de type

hypothético-déductif que ces savoirs seront testés, falsifiés, permettant ainsi la production de connaissances explicatives nouvelles encore plus performantes. La construction des savoirs scientifiques passe par une réelle remise en question des observations premières, initiales, et c'est par la problématisation, la construction et la formulation même des problèmes que s'élaborera la connaissance scientifique. Ces données d'ordre épistémologique constituent à la fois, des outils mais aussi des contraintes pour un enseignement qui se veut réellement scientifique. C'est en les reconnaissant, en les considérant qu'un apprentissage par construction et résolution de problèmes pourra être réellement efficace.

2. L'APPROCHE PSYCHOCOGNITIVISTE DE L'APPRENTISSAGE PAR PROBLÈMES SCIENTIFIQUES

"learning
by doing"

À la lecture des orientations méthodologiques fournies par les instructions officielles, il apparaît que ces dernières s'insèrent plus ou moins dans le cadre d'une théorie d'apprentissage. En 1987, c'est celui des méthodes actives, prolongeant ainsi l'important mouvement des "écoles nouvelles" des années 1970. Elles trouvent une origine dans l'école pragmatique nord-américaine (James, Peirce, Dewey), "*Learning by doing*" (Dewey, 1907). Ces méthodes actives prônent une activité d'investigation des élèves en situation d'autonomie conduisant ainsi à l'apprentissage d'un savoir (Decroly, Freinet). Acceptable à l'école élémentaire, dans le cadre d'apprentissages fondamentaux, elles deviennent difficilement applicable, au lycée, dans le cadre d'un enseignement scientifique. Ceci étant à rapporter à la nature intrinsèque du savoir scientifique.

À la fin des années soixante, un important courant pédagogique se met en place dans l'enseignement des sciences : la *pédagogie par objectifs* (De Landsheere G., De Landsheere V., 1976 ; D'Hainaut, 1977), en liaison avec l'apprentissage hiérarchique de capacités (4) (Gagné, 1970). Ce courant a depuis été abandonné pour deux raisons essentielles : le nombre des objectifs considérés rendant impossible une orientation objective d'une pratique de classe, de plus, désigner un objectif ne veut pas dire l'atteindre. Les derniers programmes, s'inscrivant dans une pédagogie du problème (*problem-based learning* (Pochet, 1995)), confèrent délibérément à l'enseignement des sciences de la vie et de la terre un cadre socio-constructiviste ("*...l'élève construit activement son savoir..., mise en commun et confrontation des résul-*

(4) "... développement d'un enseignement par problèmes scientifiques et des capacités des élèves..." Ministère de l'éducation nationale (1989). *Sciences naturelles, classe de seconde, première et terminale*. Paris : CNDP. (Collection : horaires, objectifs, programmes, instructions). (Première édition, 1987).

tats..”) (5). C’est la raison pour laquelle nous précisons dans un premier temps les principales caractéristiques de ce cadre socio-constructiviste. Nous envisagerons ensuite le concept de “résolution de problèmes” dans son approche psychologique et son contexte de la théorie du traitement de l’information. Nous terminerons en considérant son application dans les différentes disciplines scientifiques, mathématiques et physique d’une part, biologie d’autre part.

2.1. Un cadre général socio-constructiviste

Le constructivisme se constitue essentiellement au XX^e siècle (on peut citer cette pensée de Paul Valéry (1871-1945) : “*Entre l’être et le connaître, le faire*” (6)), notamment à partir des travaux de Piaget (Perraudau, 1996). “*L’intelligence (et donc l’action de connaître) ne débute ainsi ni par la connaissance du moi, ni par celle des choses, mais par celle de leur interaction. C’est en s’orientant simultanément vers les deux pôles de cette interaction qu’elle organise le monde en s’organisant elle-même.*” (Piaget, 1977). C’est donc par l’interaction entre les informations, les stimuli de l’environnement et les images mentales que s’en crée l’apprenant en état d’activité, qu’un processus d’apprentissage se déroule, que du savoir se construit. Ce dernier se constitue sur la base des connaissances précédentes.

interaction entre
les stimuli de
l’environnement
et les images
mentales

Parallèlement Vygotsky (1934) a introduit dans les processus d’apprentissage une dimension sociale. Il s’oppose ainsi à Piaget en prétendant qu’un apprentissage est d’abord une activité sociale, collective qui progressivement s’intériorisera. “*Chaque fonction psychique supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l’enfant : d’abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois, comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l’enfant, comme fonction intrapsychique.*” (Vygotsky, 1935)

Ces idées sont à l’origine des “trois axiomes” du constructivisme didactique qui, bien qu’incomplètement cerné, n’en constitue pas moins une base nouvelle pour l’enseignement (Arca, Caravita, 1993 ; Loudon, Wallace, 1994) :

- *l’enfant est l’artisan de ses propres connaissances,*
- *toute connaissance se construit sur la base de connaissances précédentes,*
- *la connaissance se construit grâce aux conflits”* (Arca, Cavarita, 1993).

(5) “*Des groupes d’élèves peuvent réaliser simultanément des activités différentes et complémentaires dès lors qu’elles sont clairement situées dans une démarche d’investigation bien identifiée, qu’elles préparent une mise en commun et une confrontation des résultats et qu’elles alimentent la compréhension d’un même phénomène.*” Ministère de l’éducation nationale (1992). Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées. B.O.E.N. (numéro hors série du 24 septembre 1992). Paris : CNDP.

(6) Valéry, P. (1979). *Cahiers (1884-1945)*. Paris : Gallimard, Coll. La Pléiade.

De cette double approche (Piaget et Vygotsky) peut alors résulter une pratique pédagogique originale, permettant un échange entre apprenants pour la construction de leurs savoirs, au cours des séquences expérimentales. C'est celle du "débat scientifique" dans la classe (Johsua, Dupin, 1989, 1991). Elle fait de plus, référence au débat réel existant au sein d'une communauté scientifique lors de la production des savoirs. Ce transfert de comportement de la communauté scientifique à la classe permet alors l'établissement du concept de "pratique sociale de référence" (Martinand, 1986). En effet, l'activité de débat se déroulant en classe pour produire un savoir, ici scolaire, reproduit celle de chercheurs dans un laboratoire. Ce conflit socio-cognitif, "passage d'un conflit interpersonnel (le conflit de moi avec autrui) à un conflit intrapersonnel (le conflit de moi avec moi)" (Develay, 1996), conduisant à des décentrations est le moteur des apprentissages (Doise, Mugny, 1981). Il faut cependant noter que ce "débat entre pairs" ne peut constituer l'essentiel de l'activité pédagogique dans la construction du savoir. L'avis de l'expert (en l'occurrence, l'enseignant), représentant de ce savoir constitué apparaît à un moment nécessaire pour apporter, notamment, l'information nécessaire à la résolution du problème. Cependant, cette pratique semble un atout non négligeable dans la construction d'un savoir complexe (Johsua, Dupin, 1989, 1991 ; Legrand, 1988 ; Mourier, 1996).

2.2. Un cadre théorique : la théorie du traitement de l'information

En liaison avec le développement de l'informatique, les psychologues cognitivistes, par analogie avec le fonctionnement de la mémoire d'un ordinateur, ont émis l'hypothèse de la structuration des connaissances en différentes "zones-mémoires". Ceci les a conduits à identifier deux types de connaissances : "Les connaissances déclaratives concernent le "savoir quoi" : c'est un savoir sur les états et les lois du monde (ou d'un domaine de connaissance donné). On les oppose aux connaissances procédurales qui concernent le "savoir-faire" ou le "savoir comment"." (Nguyen-Xuan, 1995). On retrouve chez d'autres auteurs des dénominations similaires du type savoir/savoir-faire ou savoirs théoriques/savoirs d'action (Barbier, 1996).

La connaissance déclarative la plus fondamentale est celle concernant les concepts. Un concept permet à un individu de percevoir, d'organiser, de se représenter et de comprendre le monde qui l'entoure. Il est nécessaire de distinguer deux types de concepts.

• Les concepts catégoriels

"C'est un symbole qui représente une classe d'objets (concrets ou abstraits) qui possèdent des propriétés communes." (Nguyen-Xuan, 1995). Ils correspondent à une mise en ordre du réel et s'appuient sur les catégories du langage. À partir

de cette définition, originellement produite en psychologie, il a été nécessaire de la rendre opérationnelle, dans le cadre de son application pédagogique.

Ce type de concept présente alors trois caractéristiques :

- une étiquette, la dénomination du concept,
- des attributs précisant les différents critères communs (définition en compréhension) à une liste,
- des exemples (définition en extension), (Barth, 1987 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

• Les concepts problématiques

Plus spécifiques de l'activité scientifique, *"ils sont le plus souvent présumés et c'est en les postulant qu'on rend possible une nouvelle vision des phénomènes naturels dont on renouvelle ainsi la compréhension"* (Cassirer, 1910).

un concept
scientifique
opérateur

Un concept scientifique remplit donc une fonction opératoire dans l'interprétation de certaines observations ou expériences. C'est un outil permettant d'appréhender efficacement la réalité. Il fonctionne toujours en relation avec d'autres concepts scientifiques. C'est un nœud dans un réseau cohérent et organisé de relations (Rumelhard, 1986). L'acquisition d'un concept semble initialement procéder par induction, de cas particuliers, on passe progressivement à une idée générale, *"par distinction des attributs essentiels constitutifs du concept de ce qui n'est qu'accessoire (attributs non essentiels)"* (De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

Mais le concept ne sera définitivement assimilé que dans un cadre déductiviste, il faudra alors le réinvestir dans un ensemble de situations qui devront être de plus en plus décontextualisées par rapport à la situation d'apprentissage (Barth, 1987 ; Astolfi, 1992 ; Pierrard, 1993 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

2.3. Apprentissages et résolution de problèmes

Bien que dans un cadre béhavioriste Gagné (1970) place la résolution de problèmes au sommet de la hiérarchie des capacités que doit acquérir un apprenant, c'est dans le cadre plus interactionniste de la psychologie cognitive que s'est développé ce paradigme, avec Newell et Simon (*Human problem solving*, 1972) puis Polya (1975).

Dans ce cadre-là, *"un problème est défini par trois catégories d'éléments : la situation initiale, la situation terminale ou but à atteindre, les transformations (matérielles ou symboliques) permises pour y parvenir"* (Richard, 1984, 1995 ; Richard, Zamani, 1996).

l'espace du
problème

Ces trois éléments définissent l'espace du problème, c'est-à-dire *"l'espace des transformations à l'intérieur duquel le sujet explore pour parvenir à la solution"* (Richard, 1984). Nguyen-Xuan (1984) considère qu'une *"situation d'apprentissage est dite "apprentissage en résolvant des problèmes" si le sujet ne connaît pas d'avance le cheminement optimal l'amenant de l'état initial à l'état final, et si des essais successifs lui per-*

mettent de tendre vers le chemin optimal pour résoudre un problème (ou une classe de problèmes) donné. C'est par une mise en relation des données du problème avec les connaissances du sujet, stockées essentiellement dans sa mémoire à long terme, que s'établit une représentation mentale du problème propre au sujet et qu'une résolution pourra alors être envisagée. Lors de la résolution du problème, des rajustements des représentations du sujet, relatives à l'espace du problème, s'opèrent, conduisant alors parallèlement à un apprentissage (Hoc, 1984 ; Richard, 1984, 1995, 1996 ; Nguyen-Xuan, 1984).

Les connaissances initiales du sujet conditionnent la réussite du problème, elles peuvent être déclaratives et/ou procédurales. Ce sont :

- des situations de référence, des solutions à des problèmes qu'on a déjà su résoudre et dont on transfère les procédures de résolution (apprentissage par analogie, Nguyen-Xuan, 1995) ; cependant, le plus souvent il est nécessaire d'adapter la procédure employée ;
- des procédures connues pour résoudre une classe de problèmes ;
- des connaissances particulières au domaine concerné par le problème (Caillot, 1984 ; Caillot, Mathieu, 1985 ; Dumas-Carré, 1987 ; Dumas-Carré, Gil, Goffard, 1992).

Ces connaissances initiales, leur structuration au sein du réseau général des savoirs du sujet, des savoirs concernant le domaine du problème et leurs mises en relation sont les facteurs qui déterminent le succès dans la résolution de ce dernier. Ces éléments permettront de distinguer l'expert du novice. Ceci est particulièrement notable dans l'élaboration de la représentation initiale du problème (Caillot, 1984 ; Richard, 1984, 1995, 1996).

L'expert, par une approche déductive, en liaison avec ses connaissances du domaine du problème, établit un ensemble de relations pertinentes et de déductions appropriées qui lui permettront d'arriver de façon optimale à une formulation correcte du problème. Cette dernière lui en permettra alors une résolution rapide, correspondant à un cheminement minimal dans l'espace problème. Sa stratégie est progressive.

Au contraire le novice, lui, a une démarche générale, régressive, par tâtonnement, procédant d'une heuristique générale non spécifique du domaine concerné. Elle peut le plus souvent conduire à un échec dans la résolution du problème (Richard, 1984, 1995 ; Caillot, 1984 ; Caillot, Mathieu, 1985 ; Bastien, 1984 ; Nguyen-Xuan, 1984, 1995 ; Dumas-Carré, 1987 ; Dumas-Carré, Goffard, Gil, 1992).

Cette question des connaissances préalables pose également la difficulté de la reconnaissance du problème en tant que tel par le sujet (Garett, 1987 ; Bar Haïm, 1988 ; Drevillon, 1988). *"Une situation tout à fait étrangère à l'"Umwelt" de l'élève n'est pas un problème. Une situation très familière ne l'est pas*

distinguer l'expert
et le novice

reconnaissance
du problème
en tant que tel

davantage : elle suscite tout au plus des procédures précur­sives." (Dré­villon, 1988). On rejoint ici le concept psychologique de *zone proximale*, défini par Vytgosky (1934, 1935) ainsi que le concept pédagogique de *niveau de formulation*, adapté à l'apprenant, dans un champ de validité donné. La question du sens du problème pour l'apprenant et corrélativement sa motivation pour l'exercice proposé (De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996), sa créativité et son originalité (Garett, 1987) sont également des facteurs à prendre en considération. Un apprentissage, lors d'une résolution de problème, est donc lié à un ensemble de contraintes liées "à la situation, au fonctionnement psychologique du sujet, au contenu de la tâche" (Léonard, 1988).

La psychologie cognitive apporte un ensemble important d'informations quant à la résolution de problèmes et à l'apprentissage concomitant qui peut en résulter. Cependant, il est nécessaire de noter que le cadre fourni par cette dernière impose une définition du problème où la solution est déjà incluse dans l'espace cognitif de l'apprenant, l'accent étant mis sur les processus de transformation partant d'une situation initiale vers une situation finale unique, préalablement située dans un ensemble de situations finales accessibles à la pensée de l'apprenant. Dans sa définition du problème, elle évacue donc les problèmes sans solutions apparentes, voire sans solution du tout, qui sont eux, présents dans le domaine de la recherche scientifique. Remarquons également que les processus de problématisation, de construction et de formulation du problème sont sous-estimés dans cette théorie. Pour finir, rappelons qu'il existe, outre le cadre de la résolution de problèmes comme moyen d'acquisition de savoirs, d'autres théories d'apprentissage (Host, 1982, 1985; Not, 1979).

évacuer
les problèmes
sans solution

2.4. La résolution de problèmes en physique

C'est dans les années soixante-dix, dans le domaine de la didactique des mathématiques que s'est initialement développée une pédagogie par résolution de problèmes (Gillis, Guillaume, 1995). C'est initialement "*le décalage entre les compétences calculatoires des élèves et le recours adapté à celles-ci dans des tâches relevant de la résolution de problèmes*" qui a intéressé les chercheurs en didactique des mathématiques (Escarabajal, 1984).

C'est ensuite dans le domaine de l'enseignement de la physique où l'activité de résolution de problèmes, de type papier/crayon, tient également une grande place que se sont développées les recherches didactiques. Suite au constat qu'"*après avoir passé autant de temps à résoudre des problèmes, on pourrait s'attendre à ce que les élèves soient de bons solveurs. Or, il n'en est rien et, à tous les niveaux, lycée aussi bien qu'université, on reconnaît que, en définitive, une très faible proportion d'élèves est capable de performances satisfaisantes, dès lors que le problème à résoudre s'éloigne,*

les problèmes
de type
papier/crayon

si peu que ce soit, de la simple répétition d'un exercice déjà vu." (Dumas-Carré et al., 1989)

Une nouvelle conception de l'activité de résolution de problèmes (de style crayon/papier, essentiellement) est alors élaborée (Dumas-Carré, 1987 ; Caillot, Dumas-Carré, 1987 ; Dumas-Carré, Caillot, Martinez-Torregrossa, Gil, 1989 ; Dumas-Carré, Goffard, Gil, 1992 ; Dumas-Carré, Goffard, 1993a, 1993b ; Goffard, 1994). Elle passe par :

- la reconnaissance de l'existence d'un problème ;
- la compréhension-représentation qualitative du problème en interaction avec la simplification et la modélisation de la solution ;
- le choix d'hypothèses ;
- les choix, les chemins de résolution alternatifs ;
- la résolution littérale, la résolution numérique ;
- l'analyse critique du résultat, les vérifications." (Dumas-Carré, et al., 1989)

Par rapport à la définition du concept de problème utilisé en psychologie cognitive, il apparaît ici une conception beaucoup plus ouverte de la notion de résolution de problème : *"ceci implique que l'individu concerné ait conscience d'un but à atteindre, même si ce but est très vague et, à cet instant très mal formulé."* (Dumas-Carré et al., 1989). En effet, il apparaît pour certains auteurs, que lors de l'étude de situations complexes, une part importante de l'activité d'apprentissage va non seulement se retrouver dans la résolution du problème, mais surtout dans sa formulation, dans la problématisation (Johsua, Dupin, 1989 ; Casonato, 1992 ; Fabre, 1993). Le cheminement intellectuel est alors du type "formulation initiale du problème, essai de résolution, reformulation du problème...", la formulation finale du problème contenant en elle, la solution à ce dernier. *"Une question ne paraît jamais bien posée qu'au moment où elle reçoit une solution, c'est-à-dire au moment où elle s'évanouit comme question."* (Canguilhem, 1968). C'est au cours de ces étapes de problématisation que pourront s'exprimer au mieux, la créativité, l'originalité et l'imagination de l'apprenant (Garrett, 1987), caractéristiques de l'activité scientifique... et artistique. *"Pour apporter une observation de quelque valeur, il faut déjà, au départ, avoir une idée de ce qu'il y a à observer. Il faut avoir décidé ce qui est possible, grâce à une certaine idée de ce que peut bien être la réalité, grâce à l'invention d'un monde possible."* (F. Jacob, 1989)

la formulation
finale contient
la solution

inventer un
monde possible

Dans la construction d'un savoir complexe, la problématisation représente donc une phase active propre à chaque individu, à chaque apprenant où une part importante de créativité et d'originalité doit s'exprimer. Cette conception de la construction de son savoir par chaque apprenant va alors à l'encontre des pédagogies de la redécouverte présentées par Brunold (1948) qui, utilisant l'histoire des sciences, considérait que le cheminement intellectuel de l'élève était comparable au cheminement de l'humanité dans l'acquisi-

tion de sa pensée scientifique et technique. Ce type de pédagogie peut alors être considéré comme "l'ennemi de l'imagination scientifique en classe! C'est elle qui oblige maîtres et élèves à d'impossibles contorsions pour faire semblant d'établir empiriquement... ce qui est un résultat obligé souvent déjà connu. Gohau (1983) la qualifiait de *crypto-dogmatique*, et elle n'est peut-être finalement que *procédé rhétorique*." (Astolfi, 1996)

2.5. Procédures d'apprentissage et problèmes en biologie

En sciences de la vie, il apparaît que "*l'enseignement scientifique doit être centré sur les concepts*" (Rumelhard, 1986). Ces concepts doivent être progressivement structurés et reliés au sein d'un réseau aux autres concepts du champ d'étude du domaine biologique considéré. La complexité de l'apprentissage et la complexité des concepts utilisés en biologie semblent en contradiction avec une simple activité de résolution de problèmes qui "*ne peut déboucher que sur des acquis ponctuels et non sur des notions générales*" (Astolfi, 1980).

les théories de
l'apprentissage

Cette idée se développa en liaison avec la théorie d'apprentissage d'Ausubel (1968) et de Novak (1977) qui l'adapta à la biologie. "*L'une des idées essentielles est que le facteur majeur qui détermine un apprentissage nouveau, c'est l'état antérieur de la structure cognitive du sujet. En effet, un apprentissage signifiant, à la différence d'une mémorisation mécanique, constitue un processus dynamique qui associe selon le schéma suivant, information nouvelle et structure cognitive :*

$$A+a \rightarrow A'a'$$

A : concept existant dans la structure cognitive.

a : nouvelle information s'y rapportant.

A'a' : concept modifié dans la structure cognitive." (Astolfi, Demounem, 1996)

D'après ce modèle, ce qui est mis en avant lors d'un apprentissage, ce sont les aspects dynamiques, les liens fonctionnels que vont établir entre eux les concepts ("*les ponts cognitifs*" d'Ausubel), plus que les concepts eux-mêmes. On peut alors justement reprocher à la résolution de problèmes, telle qu'elle est envisagée dans le cadre de la psychologie cognitive, de ne permettre que la construction des concepts eux-mêmes, laissant alors au second plan l'élaboration des liens qui permettront de les faire fonctionner entre eux.

En biologie, la complexité des structures offertes à l'expérience de l'apprenant est importante. Pour appréhender des systèmes aussi complexes qu'un écosystème ou la régulation de la pression artérielle, il lui faudra le plus souvent construire une modélisation des phénomènes rencontrés,

dépasser
l'émiettement
des problèmes

mais surtout il devra combiner, associer, faire fonctionner conjointement tout un ensemble de concepts. En fait, même si l'activité de résolution de problèmes est utilisée pour construire un concept, *"l'appropriation du savoir scientifique nécessite le dépassement des moments de structuration liés à la résolution d'un problème précis"* (Giordan et al., 1983). Des généralisations par extension, remodelage, emboîtement (Astolfi, 1980, 1985 ; Giordan et al., 1983) seront ultérieurement nécessaires pour structurer et faire fonctionner les concepts entre eux de façon à accéder à l'appropriation totale du savoir scientifique.

les problèmes au
baccalauréat

Les problèmes traditionnellement utilisés en biologie entrent-ils dans le cadre que l'on vient de déterminer, permettent-ils un apprentissage effectif? C'est au milieu des années soixante-dix que l'examen du baccalauréat prend la forme en sciences naturelles de "problème à résoudre". La génétique est proposée comme archétype de cette forme d'évaluation, à l'imitation des problèmes de physique et de mathématique (Rumelhard, 1997). Dans la situation la meilleure, où un ensemble de documents retraçant le déroulement d'une expérience est donné à l'apprenant, on lui demandera au mieux, par l'intermédiaire de questions, de retrouver et de reformuler le problème et les hypothèses de recherche qui ont été à l'origine de l'expérimentation. Cependant le plus souvent ces documents ne constituent que des aides-mémoires permettant une restitution de connaissances, *"la description de la méthode a été simplifiée au point, non seulement de dénaturer la signification de l'expérience mais de lui retirer toute signification, et le sujet apparemment expérimental est en fait un sujet de pure mémoire"* (Gribenski, 1979). En écho à l'épreuve du baccalauréat, les problèmes, moins utilisés en biologie qu'en physique, constituent dans la pratique des enseignants un des outils de l'évaluation sommative. Cependant tels qu'ils sont le plus souvent construits actuellement, *"ils ne permettent pas d'évaluer plus l'intelligence que la mémoire des élèves"* (Gueye, 1989). Dans l'état actuel des choses, tel qu'il est construit, le problème en biologie favorise plus la restitution des connaissances que la réflexion. Ce dernier, de ce fait, ne paraît donc pas comme étant un outil permettant la construction non seulement de concepts, mais également de liens fonctionnels entre ces concepts.

efficacité
différente
suivant
les disciplines

En conclusion, les données fournies par la psychologie cognitive font apparaître qu'un processus de résolution de problèmes peut être producteur de savoirs pour un apprenant. Dans le cadre de l'enseignement des mathématiques et des sciences, la résolution de problèmes semble particulièrement efficace dans le domaine des mathématiques et dans une certaine mesure, de la physique, jusqu'à en faire *"un nouveau savoir scolaire"* (Gilis, Guillaume, 1995). Dans le domaine de la biologie, en liaison avec la complexité des concepts abordés et surtout des connexions qu'il est en per-

manence nécessaire d'établir entre eux, cette méthode ne semble pas à elle seule suffisante. De ce fait, pour améliorer l'efficacité de cette pratique pédagogique dans le domaine de l'enseignement des sciences, il semble nécessaire de porter l'attention sur deux points essentiels :

- la problématisation amenant à une méthodologie du type formulation de problème - résolution - reformulation ;
- le moyen d'optimiser chez l'apprenant un fonctionnement dynamique de mise en relation active entre différents concepts associés dans des ensembles structurés.

3. UN OUTIL DIDACTIQUE : LA SITUATION-PROBLÈME

En 1987, Meirieu se positionnant entre *"la pédagogie de la réponse qui se contente de livrer des explications correctement agencées"* et *"les pédagogies du problème qui mettent l'élève en face d'une tâche susceptible de le mobiliser et à l'occasion de laquelle on cherchera à lui faire effectuer des apprentissages précis (...), mais sans que rien ne garantisse la progressivité des difficultés ou que "la bonne question" vienne au bon moment"*, estime qu'il serait utile d'adopter un modèle d'organisation de l'enseignement à partir de la notion de situation-problème : *"cela impose que l'on s'assure, à la fois, de l'existence d'un problème à résoudre et de l'impossibilité de résoudre le problème sans apprendre"*.

les situations
problèmes

Dans l'enseignement des sciences, la situation-problème prend appui sur les conceptions et les obstacles didactiques des apprenants. Avant de caractériser plus avant la situation-problème, nous verrons donc, dans un premier temps, quelques données sur les conceptions et obstacles des élèves, puis comment dans un cadre institutionnel où des programmes scolaires existent et où une efficacité de l'enseignement doit apparaître, il est possible d'associer obstacle didactique et objectif pédagogique, par la constitution du concept d'objectif-obstacle.

3.1. Les conceptions des apprenants

C'est à partir du concept d'obstacle épistémologique (Bachelard, 1938) que se sont développées les études en rapport avec les conceptions des apprenants. Nous ne ferons pas, ici, de distinction entre conceptions et représentations (Ridao, 1993 ; Chappaz, 1993). En fait, un ensemble d'autres termes recoupe le même concept, certains mettant l'accent sur le contenu erroné des connaissances initiales (*misconception*), d'autres sur leur fonction négative (blocage, déviation) ou positive (aide, niveau de formulation provisoire, travail résistant) (Rumelhard, 1996) : *"Le terme de résistance, ou mieux encore de travail résistant évoque par l'ambivalence de ses significations et la grande extension de*

le travail résistant

ses usages une double fonction et une action exigeant un effort. Le terme est en effet utilisé en physique, biologie, histoire économique et sociale, psychologie... Il fait autant référence à l'analyse objective d'une situation qu'au sentiment vécu, au ressenti subjectif."

Une conception est un moyen que s'est donné un apprenant pour décoder la réalité, elle constitue un filtre d'analyse du réel, plus exactement, "c'est un ensemble de connaissances, un langage, une manière de voir, une représentation – erronée – mais qui a été engagée avec quelques succès dans une famille d'actions, ou comme moyen d'expression, ou dans des jugements (elle a permis une certaine réussite au sujet)" (Brousseau, 1989). (Astolfi, 1978 ; Giordan et al., 1983 ; De Vecchi, 1984, 1992 ; Rumelhard, 1986 ; Giordan, De Vecchi, 1987 ; Desautels, 1989 ; Astolfi, Develay, 1993 ; Giordan, De Vecchi, 1994).

De nombreuses conceptions ont déjà été identifiées en biologie dans le domaine de la physiologie digestive (Sauvageot-Skibine, 1991 ; Clément, 1991) ou respiratoire (Vuala, 1991 ; Paccaud, 1991), ainsi qu'en génétique (Rumelhard, 1980, 1986 ; Martins, Ogborn, 1997) et en immunologie (Bihouès, Malot, 1990), voire en chimie (Carretto, Viovy, 1994 ; Barak, Gorodetsky, Chipman, 1997) et en géologie (Monchamp, Sauvageot-Skibine, 1995 ; Allain, 1995 ; Laperrière-Tacussel, 1995, Orange, 1993, 1995 ; Goix, 1995).

Rumelhard (1996) propose d'en distinguer trois catégories :
 - les représentations liées au savoir factuel et conceptuel ;
 - les représentations liées à la production du savoir et à l'activité scientifique ;
 - les représentations liées au rapport au savoir."

C'est avec ce "déjà-là" conceptuel le plus souvent faux scientifiquement, mais qui sert cependant d'explication efficace et fonctionnelle, que va interférer tout apprentissage scientifique. C'est à partir de lui, en le modifiant, qu'il faudra progressivement construire le concept scientifique (Baumard, Busnel, Dugast, 1993 ; Larcher, Chomat, Linéatte, 1994 ; Sauvageot-Skibine, 1995 ; Allain, 1995 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996). Une difficulté apparaît alors. En effet, cette modification progressive des conceptions, prônée par une majorité de chercheurs, s'oppose à l'idée d'un franchissement d'obstacle, à l'idée de "catharsis intellectuelle" qui apparaît comme étant un phénomène beaucoup plus concentré conceptuellement et temporellement. Une distinction doit alors être faite entre représentation et obstacle (Astolfi, Peterfalvi, 1993), "On peut dire que l'obstacle présente un caractère plus général et plus transversal que la représentation : il est ce qui, en profondeur, l'explique, la stabilise."

Les obstacles sont caractérisés par deux propriétés fondamentales : leur résistance et leur transversalité (Jonnaert, 1988). Ces obstacles, noyaux durs des représentations,

distinguer
représentation
et obstacle

“correspondent à ce qui fait vraiment résistance aux apprentissages et aux raisonnements scientifiques, tout en répondant de façon conforme aux besoins d’explication des enfants. Ils permettent de dégager le sens des représentations en permettant d’en construire l’interprétation.” (Astolfi, Peterfalvi, 1993). Il semble donc que c’est autour de ces obstacles, qu’il faudra préalablement, au mieux, cerner au sein des représentations, que les situations-problèmes devront être élaborées.

3.2. Le concept d’objectif-obstacle

les obstacles ont
une signification
profonde

L’enseignement scientifique doit être un enseignement de concepts (Rumelhard, 1986) organisés au sein de réseaux. Or, le savoir, généralement, se construit contre un savoir “déjà-là”, en franchissant un obstacle. Ces obstacles constituent donc “*les buts essentiels d’une éducation scientifique*” (Martinand, 1986, 1989). “*Dans la mesure où ces obstacles ont une signification épistémologique profonde, je crois qu’ils fournissent la clé pour formuler les buts les plus essentiels d’une éducation scientifique.*” (Martinand, 1989)

véritables
objectifs de
l’enseignement
scientifique

C’est donc autour d’eux que doivent s’organiser, se construire les situations didactiques d’apprentissage (Astolfi, 1991 ; Astolfi, Peterfalvi, 1993 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996). Les programmes d’enseignement devraient donc être construits autour d’“*un nombre limité de progrès décisifs, non acquis spontanément, mais qui ont une signification du point de vue de la pensée scientifique ou technologique, des attitudes et capacités correspondantes*” (Martinand, 1986).

Ces éléments paraissent donc présenter une plus grande aptitude à constituer les véritables objectifs de l’enseignement scientifique, en remplacement des objectifs-capacités (De Landsheere G., De Landsheere V., 1976 ; D’Hainault, 1977) utilisés antérieurement avec plus ou moins de succès et où l’apprenant et ses conceptions ne sont pas pris en compte. “*Il s’agit d’exprimer les objectifs en termes d’obstacles franchissables, car parmi la diversité des objectifs possibles les objectifs intéressants sont les objectifs-obstacles.*” Il semble donc nécessaire, en suivant dans un premier temps, cette argumentation jusqu’au bout, d’organiser les programmes d’enseignement en fonction de ces nouveaux objets didactiques que sont les objectifs-obstacles, points de rencontre de deux approches pédagogiques différentes. “*L’ambition pratique est donc de fournir aux maîtres, avec une liste d’obstacles à franchir par les élèves, la description des buts, des activités afin de permettre d’orienter les interventions pédagogiques de l’évaluation.*” (Martinand, 1986)

3.3. Caractérisation des situations-problèmes

problème ouvert

Le problème ayant une place majeure dans l’enseignement des mathématiques, c’est là, qu’à partir du concept de pro-

blème ouvert (problème à énoncé court, n'induisant ni la méthode, ni la solution et qui se trouve dans un domaine conceptuel avec lequel l'élève a assez de familiarité pour prendre facilement possession de la situation et s'engager dans des essais, des conjectures, des projets de résolution, des contre-exemples) se met en place assez rapidement la pratique de la situation-problème (Arsac, Germain, Mante, 1988 ; Verdier 1988).

C'est à partir de 1990 qu'un ensemble d'études permet d'élaborer une grille d'analyse des situations-problèmes et ainsi de les caractériser dans le domaine des sciences expérimentales (Orange C., Orange D., 1993a ; Robardet, 1990, 1995 ; Sauvageot-Skibine, 1995). Une situation-problème est organisée autour du franchissement d'un obstacle par la classe, obstacle préalablement bien identifié, qui peut alors constituer un objectif-obstacle. Le franchissement de l'obstacle amène à un remaniement des conceptions, à la construction d'un concept scientifique. La situation-problème se caractérise pour Orange C. et Orange D. (1993a) par deux étapes liées dans le temps : *"un temps de déstabilisation où la faiblesse des modèles initiaux doit être bien perçue et comprise par les élèves (cela ne peut se réduire à un jugement du professeur) ; un temps de restabilisation qui permet à l'élève d'adopter une nouvelle conception"*.

Robardet (1990, 1995) et Sauvageot-Skibine (1995) insistent eux, davantage sur les éléments devant caractériser la première étape :

"- L'étude s'organise autour d'une situation à caractère concret qui permette effectivement à l'élève de formuler hypothèses et conjectures. (...)

une véritable
énigme à
résoudre

- Les élèves doivent percevoir la situation qui leur est proposée comme une véritable énigme à résoudre dans laquelle ils sont en mesure de s'investir." (Sauvageot-Skibine, 1995). C'est la dévolution du problème (Astolfi, Peterfalvi, 1993 ; De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996).

Notons que l'emploi du terme "énigme" rejoint l'utilisation qui en était faite par Orange (1993) dans sa description de la théorie de Kuhn relative aux "structures des révolutions scientifiques". Ce dernier en déduit alors que les situations-problèmes sont particulièrement adaptées aux problèmes extraordinaires permettant le franchissement d'obstacles que l'on peut relier historiquement à une "révolution scientifique" (Orange, 1993). Il induit de ce fait une limitation théorique à la quantité de situations-problèmes réellement utilisables lors de l'application des programmes d'enseignement. Ceci semble alors contradictoire avec ce que dit Robardet (1995) qui signale que plusieurs situations-problèmes parallèles sont le plus souvent nécessaires à la construction du même concept.

"- Les élèves ne disposent pas au départ, des moyens de la solution recherchée. (...) C'est le besoin de résoudre qui conduit l'élève à élaborer ou à s'approprier collectivement les

instruments intellectuels qui seront nécessaires à la construction d'une solution." (Sauvageot-Skibine, 1995)

Notons que "ce besoin de résoudre" ne peut exister que si le problème a un sens pour l'élève (De Vecchi, Carmona-Magnaldi, 1996) "*car l'absence ou la non transparence du sens pour l'élève ne conduit-elle pas le plus souvent à des pratiques démobilisatrices ou anesthésiantes?*" La situation doit offrir une solution accessible à l'élève.

travailler dans
une zone
proximale

"- L'activité doit travailler dans une zone proximale propice au défi intellectuel à relever.

- Le travail de la situation-problème fonctionne sur le mode du débat scientifique à l'intérieur de la classe, stimulant les conflits socio-cognitifs potentiels." Les élèves engagent leur opinion et sont concernés par la résolution du problème. "*Cette dernière résulte du mode de structuration de la situation elle-même.*" (Sauvageot-Skibine, 1995)

En sciences expérimentales, les comptes rendus d'utilisation de situations-problèmes en classe restent peu importants (Cañal, 1992; Orange C., Orange D., 1993a; Pinelli, 1994; Sauvageot-skibine, 1995). Doit-on considérer ce fait comme étant un indice d'une faible pratique de la situation-problème? Orange C. et Orange D. (1993a) considèrent en effet que :

"La situation-problème n'est aucunement une méthode universelle pouvant être employée tout au long du programme et ce, pour deux séries de raisons :

- tout d'abord parce ce qu'elle est relativement gourmande en temps (...), en temps d'enseignement (...) et en temps de préparation pour l'enseignant; (...)

- mais surtout une situation-problème n'est adaptée qu'à des objectifs d'apprentissage bien particuliers : ceux qui correspondent à un changement radical de conception des élèves."

une pratique
parmi d'autres

Astolfi (1992) indique également qu'en fonction des parties d'un programme à enseigner, dans les conditions actuelles d'enseignement, doivent coexister les différentes pratiques pédagogiques, la situation-problème n'étant qu'une pratique parmi les autres (modèle dans "l'épaisseur de la tranche") (Delattre, 1993). L'argument de l'unique adaptation de la situation-problème à des objectifs d'apprentissage bien particuliers est également utilisé pour expliquer sa faible utilisation dans les pratiques pédagogiques des enseignants d'autres disciplines, telles qu'en sciences sociales et en histoire-géographie (Tutiaux-Guillon, Pouette, 1993; Gérin-Grateloup, Solonel, Tutiaux-Guillon, 1994) : "*Ainsi la situation-problème est un outil séduisant. Elle permet aux élèves de dépasser certains blocages, d'acquérir un savoir conceptuel plus pertinent. Mais par rapport aux contenus et aux finalités de notre enseignement, sa place ne peut être que marginale : sans savoir normatif, sans évaluation ordinaire, fondée sur un débat légitime et fécond, objet d'enseignement nécessairement unique, elle apparaît comme un moment excep-*

tionnel dans nos disciplines." (Tutiaux-Guillon, Pouettré, 1993)

En conclusion, il apparaît que la situation-problème semble être un outil performant dans le franchissement d'obstacles et la construction de savoirs par les apprenants. Cependant, elle semble n'être pour le moment qu'un outil exceptionnel dans la pratique de classe. Pour certains, sa définition même la limite intrinsèquement à une accentuation d'utilisation (Orange C., Orange D., 1993a). Pour d'autres, ce sont la structure des programmes et l'organisation des curriculums qui sont limitantes (Tutiaux-Guillon, Pouettré, 1993; Gérin-Grateloup, Solonel, Tutiaux-Guillon, 1994). Enfin, certains considèrent qu'une multiplication des situations-problèmes est nécessaire à la construction d'un seul concept (Robardet, 1995). Des extensions de définition sont également envisagées et le concept de situation-image, est apparu dans le cadre d'un apprentissage scientifique, à l'école élémentaire (Mottet, 1996).

CONCLUSION

le problème
comme
moteur de
l'apprentissage

Le problème est le moteur de l'activité scientifique, il est également le moteur de tout apprentissage. Cet axiome fondamental de la psychologie cognitive fait de la résolution de problèmes un processus intellectuel majeur dans l'acquisition des savoirs. Cependant, la définition qu'elle donne à cette activité mentale (transformations matérielles ou symboliques permettant de passer d'un état initial à un état final) est très restrictive et ne correspond pas totalement à une activité de recherche scientifique. Elle a cependant été utilisée avec un certain succès dans l'enseignement des mathématiques et dans une certaine mesure de la physique, domaines où les éléments d'un problème peuvent être cernés assez nettement.

Dans des domaines plus complexes (physique, biologie, technologie), le problème n'apparaît pas simplement, il faut d'abord le construire, le formuler puis essayer de le résoudre et le reformuler encore. Au cours de cette activité de problématisation, la construction du savoir se produira tout autant que lors de sa résolution. D'ailleurs, Canguilhem n'a-t-il pas dit que lorsque le problème est enfin correctement formulé, il est aussi quasiment résolu ?

l'activité de
problématisation
est essentielle

Cette activité de problématisation se rapproche d'ailleurs davantage de l'activité du chercheur scientifique, référence de l'enseignement des sciences expérimentales. C'est donc une activité pédagogique fondamentale pour la construction des concepts scientifiques. Elle est tout compte fait mise au centre des enseignements par les instructions officielles, même si, en pratique, certaines dérives dogmatiques en découlent.

Un problème scientifique est cependant totalement différent d'un problème pratique de la pensée commune, il permet dans sa formulation et sa résolution la construction de savoirs, mais ces savoirs sont construits contre des conceptions déjà présentes dans l'intellect de l'apprenant. Ces conceptions produisent des obstacles à l'acquisition des savoirs qu'il est nécessaire de renverser pour construire un concept scientifique. En alliant conceptions-obstacles et construction de savoirs par problèmes, un outil didactique a été construit : la situation-problème.

des recherches futures à envisager sur la situation-problème

Un ensemble de recherches futures peut être envisagé dans ce domaine. En effet, le concept didactique de situation-problème est un concept assez récent et il semble nécessaire de le caractériser davantage. Quelle que soit la discipline d'enseignement, peu de résultats existent quant à la mise en place de son application. La situation-problème semble un outil parfaitement adapté à la construction des savoirs. Cependant, les études réalisées jusqu'à maintenant ont mis essentiellement l'accent sur l'acquisition des concepts, les savoirs déclaratifs, qu'en est-il alors de l'acquisition des savoirs procéduraux lors des situations-problèmes ?

outil cantonné à certains concepts ?

Doit-il rester un outil uniquement cantonné à certaines phases d'enseignement (Tutiaux-Guillon, Pouette, 1993 ; Gérin-Grateloup, Solonel, Tutiaux-Guillon, 1994) en raison de contenus curriculaires incompatibles à l'utilisation de cet outil ? Ne doit-il être utilisé que pour la construction de certains concepts qualifiés, d'un point de vue épistémologique de "révolutionnaires" (Orange C, Orange D., 1996) ? Une seule situation-problème est-elle nécessaire et suffisante à la construction du concept ? (Robardet, 1995). Un nécessaire recueil d'informations semble donc fondamental pour caractériser davantage cet outil et lever un ensemble d'incertitudes existantes.

La situation-problème fonctionne à partir des conceptions des élèves et des obstacles didactiques. De nombreuses études ont déjà été réalisées à leurs sujets. Il semble cependant nécessaire de faire un tri parmi les obstacles, dans le but de les faire fonctionner avec les programmes d'enseignement. Comme le préconise Martinand (1989), il faudrait ainsi proposer un ensemble limité d'objectifs-obstacles dans ces derniers. Cependant, pour que ce concept puisse fonctionner, il faut, en parallèle, proposer des outils aux enseignants, pour lever ces obstacles. Les situations-problèmes semblent en être de bonnes candidates. Encore faut-il s'assurer de la réelle efficacité de cet outil pour un objectif-obstacle identifié et préconisé. Il semble donc essentiel de comparer l'acquisition d'un même concept dans des situations didactiques différentes. Dans l'affirmative, il pourrait être éventuellement possible de construire un ensemble d'outils d'aide aux enseignants (des squelettes de situations-problèmes ?), ces derniers pouvant les adapter, en toute liberté, à leur propre situation pédagogique.

Cependant, il va sans dire, qu'à coté des situations-problèmes, d'autres outils didactiques doivent également être utilisés. Les pratiques pédagogiques plus traditionnelles (les modèles "liquides" et "en granules" (Astolfi, 1992)) ont également toujours leur place dans l'enseignement des sciences expérimentales. C'est la diversité qui permet de progresser.

Philippe BRUNET
Lycée de Brie Comte Robert
LIREST, ENS Cachan

BIBLIOGRAPHIE

1. Épistémologie et histoire des sciences

1.1. Ouvrages

- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BERNARD, C. (1984). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Champs Flammarion. (Première édition 1865).
- CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin. (Deuxième édition augmentée).
- CANGUILHEM, G. (1968). *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin. (Septième édition augmentée 1994).
- CASSIRER, E. (1977). *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept*. Paris : Éditions de Minuit. (Première édition 1910).
- CHALMERS, A. (1991). *La fabrication de la science*. Paris : La découverte.
- CHALMERS, A. (1995). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : Le livre de poche (collection : Biblio essais). (Première édition 1976).
- COMTE, A. (1989). *Cours de philosophie positive*. Paris : Nathan. (Première édition 1832).

GIORDAN, A. (dir.), (1987). *Histoire de la biologie. Tomes I et II*. Paris : Technique et documentation, Lavoisier.

GRMEK, M. (1991). *Claude Bernard et la méthode expérimentale*. Paris : Petite Bibliothèque Payot. (Première édition 1973).

JACOB, F. (1989). *Le jeu des possibles*. Paris : Le livre de poche (collection : Biblio essais). (Première édition 1981).

KUHN, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion (collection : Champs). (Première édition élargie 1970).

KUHN, T. (1992). *La révolution copernicienne*. Paris : Le livre de poche (collection : Biblio essais). (Première édition 1957).

LAKATOS, I. (1985). *Preuves et réfutations*. Paris : Hermann. (Première édition 1976).

LATOUR, B., WOOLGAR, S. (1988). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris : La découverte. (Première édition 1979).

LAUDAN, L. (1977). *La dynamique de la science*. Bruxelles : Mardaga.

POPPER, K. (1978). *La connaissance objective*. Paris : Les éditions complexes. (Première édition 1972).

POPPER, K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot. (Première édition 1963).

POPPER, K. (1988). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot. (Première édition 1959).

1.2. Articles, chapitres

ANDLER, D. (1987). Problème, une clé universelle? In Stengers, I. (dir.). *D'une science à l'autre, des concepts nomades* (pp. 119-159). Paris : Seuil.

KERLAN, A. (1993). Didactique et épistémologie : éclairages bachelardiens. *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 71-86. Paris : INRP.

LATOUR, B. (1996). Avons-nous besoin de "paradigmes"? *La recherche*, 290, septembre, 84.

ROSMORDUC, J. (1987). L'histoire de la physique peut-elle éclairer les obstacles épistémologiques? *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 117-142. Paris : INRP.

ROSMORDUC, J. (1993). L'histoire des sciences et leurs didactiques. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 153-172.

SERRES, M. (1989). Préface qui invite le lecteur à ne pas négliger de la lire pour entrer dans l'intention des auteurs et comprendre l'agencement de ce livre. In Serres, M. (dir.). *Éléments d'histoire des sciences*. Paris : Bordas.

2. Psychologie cognitive, théories de l'apprentissage

2.1. Ouvrages

AUSUBEL, D. (1968). *Educational psychology : a cognitive view*. New York : HRW.

BARBIER, J.-M. (éd.) (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.

BARTH, B.M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction. Méthodes pour une meilleure réussite de l'école*. Paris : Retz.

BRUNOLD, C. (1948). *Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences*. Paris : Masson.

GAGNÉ, R.M. (1976). *Les principes fondamentaux de l'apprentissage. Application à l'enseignement*. Montréal : HRW. (Première édition, 1970).

DE LANDSHEERE, G., DE LANDSHEERE, V. (1976). *Définir les objectifs de l'éducation*. Paris : PUF.

D'HAINAULT, G. (1980). *Des fins aux objectifs de l'éducation*. Paris : Nathan. (Première édition 1977).

DELEDALLE, G. (1995). *John Dewey*. Paris : PUF (collection : *Pédagogues et pédagogies*).

DOISE, W., MUGNY, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris : Interéditions.

LE MOIGNE, J.-L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Paris : PUF (collection : *Que sais-je ?*).

MEIRIEU, P. (1995). *Apprendre... oui, mais comment ?* Paris : ESF. (Première édition 1987).

NEWELL, A., SIMON, H.A. (1972). *Human problem solving*. New York : Printice-Hall.

NOT, L. (1979). *Les pédagogies de la connaissance*. Toulouse : éd. Privat.

PERRAUDEAU, M. (1996). *Piaget aujourd'hui, réponse à une controverse*. Paris : Armand Colin.

PIAGET, J. (1977). *La construction du réel chez l'enfant*. Lausanne : Delachaux et Niestlé. (Première édition 1937).

POLYA, G. (1975). *How to solve it ?* New York : Princeton University press.

RICHARD, J.-F. (1995). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : Armand Colin (collection U). (Première édition 1990).

VYGOTSKY, L. (1985). *Pensées et langage*. Paris : Éditions sociales. (Première édition 1934).

2.2. Articles, chapitres

BAR HAÏM, G. (1988). Problem-solvers and problem-identifiers : the making of research styles. *International journal of science education*, vol. 10, n° 2, avril-juin, 135-150.

BASTIEN, C. (1984). Réorganisation et construction de schèmes dans la résolution de problèmes. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 243-246. Paris : Armand Colin.

DREVILLON, J. (1988). Reconnaissance d'une situation-problème et fonctionnement cognitif. *Revue Française de Pédagogie*, 82, janvier-février-mars, 9-14.

GARETT, R.M. (1987). Issues in science education : problem-solving, creativity and originality. *International journal of science education*, vol. 9, n° 2, 125-137.

HOC, J.-M. (1984). La verbalisation provoquée pour l'étude du fonctionnement cognitif. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 231-234. Paris : Armand Colin.

LÉONARD, F. (1988). Les conditions d'acquisition d'une nouvelle connaissance. *Revue française de pédagogie*, 82, janvier-février-mars, 39-46.

NGUYEN-XUAN, A. (1984). Apprendre en résolvant des problèmes : le système humain et les systèmes artificiels. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 235-242. Paris : Armand Colin.

NGUYEN-XUAN, A. (1995). Les mécanismes cognitifs de l'apprentissage. *Revue Française de Pédagogie*, 112, juillet-août-septembre, 57-67.

NOVAK, J. (1977). Compréhension des processus d'apprentissage et efficacité des méthodes d'enseignement. In *Tendances nouvelles de l'enseignement de la biologie*, vol. 4 (pp. 77-89). Paris : Unesco.

POCHET, B. (1995). Le "problem-based learning", une révolution ou un progrès attendu ? *Revue Française de Pédagogie*, 111, avril-mai-juin, 95-107. Paris : INRP.

RICHARD, J.-F. (1984). La construction de la représentation du problème. *Psychologie française*, tome XXIX, n° 3-4, novembre, 226-230. Paris : Armand Colin.

RICHARD, J.-F. (1996). Les activités mentales. *Cahiers pédagogiques*, 344-345 (*Apprendre à raisonner*), mai-juin, 18-28.

RICHARD, J.-F., ZAMANI, M. (1996). L'application des modèles de résolution de problèmes à l'analyse des tests. *Psychologie française*, tome 41, n° 1, janvier, 77-88.

VYGOTSKY, L. (1985). Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire. (Première édition : 1935). In Schneuwly, B., Bronckart, J.P. *Vygotsky aujourd'hui*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé (collection : *Textes de base en psychologie*).

3. Didactique des sciences

3.1. Ouvrages

ARSAC, G., GERMAIN, G., MANTE, M. (1988). *Problème ouvert et situation-problème*. Villeurbanne : IREM, Université Claude Bernard.

ASTOLFI, J.-P. (dir.) (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP (collection : *Rapports de recherches*).

ASTOLFI, J.-P. (1995). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF. (Première édition 1992).

ASTOLFI, J.-P., DEMOUNEM, R. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la terre*. Paris : Nathan (collection : *Perspectives didactiques*).

ASTOLFI, J.-P., DEVELAY, M. (1993). *La didactique des sciences*. Paris : PUF (collection : *Que sais-je ?*). (Première édition 1989).

DE VECCHI, G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*. Paris : Hachette éducation.

DE VECCHI, G., CARMONA-MAGNALDI, N. (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris : Hachette éducation.

DUMAS-CARRÉ, A. (1987). *La résolution de problèmes en physique au lycée*. Thèse d'état, Paris 7.

- GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion.
- GIORDAN, A. (dir). (1983). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- GIORDAN, A., DE VECCHI, G. (1990). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé. (Première édition 1987).
- GIORDAN, A., DE VECCHI, G. (1994). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que ça marche ?* Nice : Z'éditions.
- GOFFARD, M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris : Adapt.
- GROSBOIS, M., RICCO, G., SIROTA, R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir. Étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris : Adapt.
- JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le "débat scientifique dans la classe" et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- JOHSUA, S., DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- JONNAERT, P. (1988). *Conflits de savoirs et didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière, des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne : Peter Lang.
- RUMELHARD, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang.

3.2. Articles, chapitres

- ALLAIN, J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster, 20, (Représentations et obstacles en géologie)*, 43-60. Paris : INRP.
- ALLAIN, J.-C. (1995). Un dispositif didactique utilisant des images pour faire évoluer les conceptions des élèves de dix ans sur les séismes. *Aster, 21, (Enseignement de la géologie)*, 109-135. Paris : INRP.

ARCA, M., CARAVITA, S. (1993). Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes. *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 77-101. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1978). Les représentations des élèves en situation de classe. *Revue Française de Pédagogie*, 45, 126-129. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1980). Quelques problèmes posés par la structuration des concepts dans l'enseignement scientifique expérimental. In *Actes des II^{es} journées de Chamonix sur l'éducation scientifique, (Approche des processus de construction des concepts en sciences)* (pp. 199-216). Paris : DIRES-Université Paris 7.

ASTOLFI, J.-P. (1991). Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 157-186. Paris : INRP.

ASTOLFI, J.-P. (1996). L'imagination contre la rigueur ? *Cahiers pédagogiques*, 349, (*Un peu plus d'imagination*), décembre, 46-48.

ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 103-141. Paris : INRP.

BARAK, J., GORODSKY, M., CHIPMAN, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International journal of sciences education*, vol. 19, 1, january-february-march, 21-30.

BAUMARD, J.-M., BUSNEL, A., DUGAST, J.-M. (1993). Des conceptions au concept : repérer et franchir l'obstacle. *Cahiers pédagogiques*, 312, (*Les représentations*), mars, 38-40.

BIHOUES, M.-A., MALOT, S. (1990). Quelques représentations à propos des vaccinations et des transplantations. *Aster*, 10, (*L'immunologie, jeux de miroirs*), 27-46. Paris : INRP.

BROUSSEAU, G. (1989). Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 275-285). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

CAILLOT, M. (1984). La résolution de problèmes de physique : représentations et stratégies. *Psychologie française*, tome XXIX, 3-4, novembre, 257-262. Paris : Armand Colin.

CAILLOT, M., DUMAS-CARRÉ, A. (1987). PROPHY : un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de physique. In *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique, Rapport de recherche, N° 12* (pp. 199-244). Paris : INRP.

CAILLOT, M., MATHIEU, J. (1985). Résolution de problème en sciences expérimentales : l'approche cognitive. In *Annales de didactique des sciences, N° 1*,

Rouen : Publications de l'Université de Rouen. (Contient une bibliographie en langue anglaise).

CANAL, J.-L. (1992). On n'a rien sans rien ou l'énergie, ça se paye ! *Aster*, 14, (*Raisonnement en science*), 157-180. Paris : INRP.

CARRETTO, J., VIOVY, R. (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *Aster*, 18, (*La réaction chimique*), 11-26. Paris : INRP.

CHAPPAZ, G. (1993). Représentation et conception sont dans un bateau... *Cahiers pédagogiques*, 312, (*Les représentations*), mars, 29.

CLÉMENT, P. (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue, digestion-excrétion. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 133-156. Paris : INRP.

DELATTRE, J. (1993). Situation-problème, faisons le point ! *Spirale, revue de recherche en éducation*, 10/11, (*Résolution de problème et enseignement-apprentissage*), 5-26. Lille : École Normale de Lille.

DÉSAUTELS, J. (1989). Développement conceptuel et obstacle épistémologique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 258-267). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, (*Expérimenter, modéliser*), 2-15. Paris : INRP.

DEVELAY, M. (1996). La pédagogie coopérative : oui, si... ou le point de vue d'un didacticien. *Cahiers pédagogiques*, 347, (*La pédagogie coopérative*), octobre, 34-35.

DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTINEZ-TORREGROSSA, J., GIL, D. (1989). Deux approches pour modifier les activités de résolutions de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse. *Aster*, N° 8, (*Expérimenter, modéliser*), 135-160. Paris : INRP.

DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M., GIL, D. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, (*Raisonnement en sciences*), 53-75. Paris : INRP.

DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. (1993a). Des activités de résolution de problèmes pour l'apprentissage. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 9-32. Caen : Cerse.

DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. (1993b). Le problème de physique et sa pédagogie. *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques I*), 9-28. Paris : INRP.

ESCARABAJAL, M.-C. (1984). Compréhension et résolution de problèmes additifs. *Psychologie française, tome 41, n° 1*, 247-252.

FABRE, M. (1993). De la résolution de problème à la problématisation. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 71-101. Caen : Cerse.

FAVRE, D., RANCOULE, Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster, 16, (Modèles pédagogiques 1)*, 29-46. Paris : INRP.

FURIÓ MAS, C.J., ITURBE BARRENETXEA, J., REYES MARTÍN, J.V. (1994). La "résolution de problèmes comme recherche" : une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences. *Aster, 19, (La didactique des sciences en Europe)*, 87-102. Paris INRP.

GAUDILLIÈRE, J.-P. (1994). Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxygène. *Aster, 18, (La réaction chimique)*, 181-215. Paris : INRP.

GÉRIN-GRATELOUP, A.-M., SOLONEL, M., TUTIAUX-GUILLON, N. (1994). Situations-problèmes et situations scolaires en histoire-géographie. *Revue Française de Pédagogie, 106*, Janvier-février-mars, 25-37. Paris : INRP.

GILIS, D., GUILLAUME, J.-C. (1995). La résolution de problèmes : un nouveau savoir scolaire ? *Spirale, revue de recherche en éducation, 15*, 91-119. Lille : École Normale de Lille.

GIORDAN, A. (1989a). Quelques obstacles à l'utilisation didactique du concept d'obstacle épistémologique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 372-381). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

GIORDAN, A. (1989b). Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 240-257). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

GIORDAN, A. (1996). Apprendre à raisonner... Oui, mais sur quoi ? *Cahiers pédagogiques, 344-345, (Apprendre à raisonner ?)*, mai-juin, 31.

GOHAU, G. (1983). Faut-il raisonner logiquement ? *Cahiers pédagogiques, 214, (Enseigner la biologie)*, mai, 29-31.

GOHAU, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *Aster, 5, (Didactique et histoire des sciences)*, 49-69. Paris : INRP.

GOIX, H. (1995). Vous avez dit "cristal" ? je pense "verre". *Aster, 20, (Représentations et obstacles en géologie)*, 105-138. Paris : INRP.

GRIBENSKI, A. (1979). La démarche expérimentale dans les sujets d'examens. In *Actes des 1^{ères} journées de Chamonix sur l'éducation scientifique* (pp. 147-155). Paris : DIRES-Université Paris 7.

GUEYE, B. (1989). L'épreuve écrite de biologie au baccalauréat fait-elle appel au raisonnement en sciences expérimentales ? *Aster*, 8, (*Expérimenter, modéliser*), 119-133. Paris : INRP.

HOST, V. (1982). Apport des théories de l'apprentissage à la recherche sur les procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. *Bulletin de l'équipe Aster*, 19, (*Recherches pédagogiques, section sciences*), 71-87. Paris : INRP.

HOST, V. (1985). Théories de l'apprentissage et didactiques des sciences. In *Annales de didactique des sciences*, 1 (pp. 39-92). Rouen : Publications de l'Université de Rouen.

JOHSUA, S. (1989). Les conditions d'évolution de conceptions d'élèves. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 306-314). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

JOHSUA, S., DUPIN J.-J. (1991). Démarches de modélisation et interactions sociales en classe : un exemple en physique. In Garnier, C, Bednarz, N., Ulanovskaya, I. *Après Vygotski et Piaget, perspectives sociale et constructiviste. Écoles russe et occidentales* (pp. 69-84). Bruxelles : De Boeck.

LAPERRIÈRE-TACUSSEL, M. (1995). Le volcanisme, du cours moyen à l'IUFM. *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 61-84. Paris : INRP.

LARCHER, C., CHOMAT, A., LINEATTE, C. (1994). D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège. *Aster*, 18, (*La réaction chimique*), 120-139. Paris : INRP.

LEGRAND, M. (1988). Genèse et étude sommaire d'une situation co-didactique : le débat scientifique en situation d'enseignement. In *Actes du premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique*. Grenoble : La pensée sauvage.

LOUDEN, W., WALLACE, J. (1994). Knowing and teaching science : the constructivist paradox. *International journal of science education*, vol.16, n° 6, november-december, 649-660.

MARTINAND, J.-L. (1989). Des objectifs-capacités aux objectifs-obstacles ; deux études de cas. In Bednarz, N., Garnier, C. (éds.). *Construction des savoirs, obstacles et conflits* (pp. 217-227). Ottawa : Cirade/Agence d'Arc.

MARTINAND, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? *Didaskalia*, 2, 89-99. Paris : INRP.

MARTINS, I., OGBORN, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International journal of sciences education*, vol.19, n° 1, january-february-march, 47-63.

MONCHAMP, A., SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Du fixisme à la tectonique des plaques. Et pourtant elles bougent... *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 3-20. Paris : INRP.

MOTTET, G. (1996). Les situations-images. Une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire. *Aster*, 22, (*Images et activités scientifiques*), 15-56. Paris : INRP.

MOURIER, F. (1996). Apprentissage et coopération. *Cahiers pédagogiques*, 347, (*La pédagogie coopérative*), octobre, 26.

ORANGE, C. (1993). Repères épistémologiques d'une didactique du problème. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 33-49. Caen : Cerse.

ORANGE, C. (1995). Volcanisme et fonctionnement interne de la Terre. Repères didactiques pour un enseignement de l'école élémentaire au lycée. *Aster*, 20, (*Représentations et obstacles en géologie*), 85-104. Paris : INRP.

ORANGE, C., ORANGE, D. (1993a). Mise en œuvre d'une situation-problème en géologie. *Biologie-géologie, revue de l'association des professeurs de biologie-géologie*, 3, 547-555.

ORANGE, C., ORANGE, D. (1993b). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 51-69. Caen : Cerse.

ORLANDI, É. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. Analyse de quelques cas à propos de digestion en classe de troisième. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer : assimilent-ils ?*), 111-132. Paris : INRP.

PACCAUD, M. (1991). Les conceptions comme levier d'apprentissage du concept de respiration. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 35-58. Paris : INRP.

PIERRARD, M.-A. (1993). Modéliser les activités scientifiques à l'école élémentaire ? *Aster*, 16, (*Modèles pédagogiques 1*), 47-75. Paris : INRP.

PINELLI, P. (1994). Une séquence d'apprentissage en électrocinétique sous forme de situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens, vol. 88, n° 768*, novembre, 1509-1525.

RAICHVARG, D. (1987). La didactique a-t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences ? *Aster*, 5, (*Didactique et histoire des sciences*), 3-34. Paris : INRP.

RIDAO, C. (1993). Le concept de représentation en didactique de la biologie, un concept central et opératoire dans une didactique du problème. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, avril-mai, 103-130. Caen : Cerse.

RUMELHARD, G. (1996). Représentations et travail résistant. *Biologie-géologie, revue de l'association des professeurs de biologie-géologie*, 4, 753-765.

RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In *La problématique d'une discipline à l'autre* (pp. 157-177). Paris : Adapt.

ROBARDET, G. (1990). Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 720, janvier, 17-28.

ROBARDET, G. (1995). Situations-problèmes et modélisation; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 7, 129-143. Bruxelles-Paris : De Bœck.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1991). La digestion au collège : transformation physique ou chimique ? *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 93-110. Paris : INRP.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Enseigner les sciences de la Terre en tenant compte des représentations. *Aster*, 21, (*Enseignement de la géologie*), 3-8. Paris : INRP.

SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Une situation-problème en géologie : un détour de l'anecdotique au scientifique. *Aster*, 21, (*Enseignement de la géologie*), 137-160. Paris : INRP.

TUTIAUX-GUILLON, N., POUETTRE, G. (1993). Les situations-problèmes en sciences sociales : un outil pour faire construire des concepts aux élèves ? *Spirale, revue de recherche en éducation*, 10/11, (*Résolution de problème et enseignement-apprentissage*), 165-192. Lille : École Normale de Lille.

VERDIER, J. (1989). Résoudre des problèmes. *Cahiers pédagogiques*, 278, (*L'enseignement scientifique*), novembre, 35-36.

VUALA, J. (1991). Le rôle d'un dessin animé dans l'évolution des conceptions d'élèves sur la respiration. *Aster*, 13, (*Respirer, digérer, assimilent-ils ?*), 7-34. Paris : INRP.