

actions matérielles, d'être dégradé, de disparaître. Il a beaucoup des attributs d'un être vivant...

C'est un concept dont les attributs sont analysés aussi bien par la physique, la chimie que la biologie. Son étude permet, en partant du concret, de proposer de nombreux thèmes d'étude et d'introduire des manipulations diverses qui mobilisent l'intérêt de l'élève tout en le conduisant à l'abstraction.

1. FONDEMENTS THÉORIQUES DU DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE CONSTRUCTIVISTE

Le dispositif pédagogique se référant au modèle transmissif est tellement généralisé qu'il ne nous semble pas nécessaire de le détailler. Sa mise en œuvre a comporté des analyses de documents en classe dialoguée, des manipulations illustratives opérées par le professeur ou les élèves, la réalisation d'un schéma de synthèse, des temps d'évaluation formative. Ces activités étaient intégrées à une présentation linéaire et déclarative de connaissances. Certaines manipulations étaient les mêmes dans les deux types de dispositifs mais elles prenaient des statuts différents.

Nous précisons plus longuement **pourquoi** (aspect théorique) et **comment** (étapes-clés d'apprentissage) nous avons tenté de mettre les élèves en situation de construire eux-mêmes leurs connaissances.

1.1. Stimuler des schémas de connaissances

C'est tout le problème du statut des connaissances qui se pose ici. L'intérêt de l'étude du sol est fortement contestable si elle ne construit pas le concept de sol, si elle ne se résume qu'à un cumul de noms inégalement reliés entre eux et donc peu opératoires. C'est pourtant le défaut qu'on peut craindre :

- lorsque tous les éléments de l'étude sont imposés par le professeur,
- lorsque toutes les opérations mentales nécessaires à une certaine acquisition du concept sont d'abord effectuées par le professeur et, souvent implicites (Monchamp, 1993 a),
- lorsque la présentation du savoir n'existe que selon la seule logique du professeur,
- lorsque les seuls obstacles sont ceux qu'il a rencontrés en construisant son cours.

Or, des études nombreuses en psychologie cognitive et en didactique ont montré que l'élève construit ses connaissances en mobilisant et en reconstruisant son savoir et ses conceptions antérieures. Ainsi se constituent des "schémas mentaux" dont parle J-F. Richard (1990).

c'est le professeur qui construit dans un modèle transmissif

la construction
de structures en
mémoire
automatisée

"Les schémas sont à la fois une façon de représenter l'organisation des connaissances en mémoire et une façon d'exprimer comment ces connaissances sont utilisées pour comprendre, mémoriser, faire des inférences [...] Ce sont des blocs de connaissances. Ils constituent des unités qui sont, d'une part, insécables et récupérées en mémoire comme telles (Corson, 1987), d'autre part, autonomes par rapport aux autres connaissances [...]. Ce sont des objets complexes, cela signifie qu'ils sont construits avec des objets élémentaires, à savoir des concepts, des actions et des relations [...]. Ce sont des structures générales et abstraites qui s'appliquent à un certain nombre de situations concrètes différentes [...]".

Pour être amélioré, le schéma explicatif élaboré par chacun des élèves doit être confronté constamment aux faits, à l'expérience, producteurs de savoir nouveau. Des conditions doivent être créées pour amener chaque enseignant à tester constamment la valeur explicative de son savoir, le remettre en question si nécessaire et le réformer lui-même en créant un nouveau modèle explicatif établissant une cohérence entre des informations diverses proposées par le milieu. C'est l'objectif de la pratique de l'évaluation formative.

Nous formulons l'hypothèse que le passage par une figuration évolutive, spontanément effectuée par la majorité des "bons élèves" peut constituer une aide à penser de manière abstraite. Ce projet trouve chez A. Lieury (1993) une justification quand il écrit, page 108 : *"En bref, le concept de cylindre qui apparaît une entité simple, quasiment un objet, pour un professeur de mathématiques ayant bénéficié de nombreuses années d'études puis d'enseignement est un concept abstrait complexe. Il faudra des recherches spécifiques pour étudier le développement des significations de ces concepts complexes, polyèdre, prisme, pyramide, etc., dont la plupart des adultes ignorent la signification. Jusqu'à un âge avancé qu'il faudra définir avec précision (au-delà de l'enfant de Sixième), les significations ne sont vraisemblablement que l'image mentale (approximative) d'objets* (souligné par nous). *Un cylindre sera certainement mieux compris en montrant divers objets familiers de cette forme, tube, tuyau, saucisse, boîte de conserve, etc."*

la figuration
d'objets comme
aide à la
constitution de
significations

1.2. Développer des capacités à expliquer

L'élève semble souvent **penser de façon binaire** lorsqu'il cherche à donner du sens à ce qui l'entoure en faisant appel spontanément et exclusivement à deux catégories de références :

- ce qui est utile, nécessaire à la survie, bon, rassurant, pour lui ou tout autre être vivant ou bien encore tout objet mal connu sur lequel peut s'exercer l'animisme ("l'engrais nourrit le sol", "l'humus du sol est bon pour la plante"...);
- ce qui est dangereux, agressif, qui constitue une menace pour la survie, de manière matérielle (quelque chose qui choque, coupe...) ou immatérielle (qui fait peur de manière

l'angoisse
existentielle
comme
catégorie de
pensée

irraisonnée, mourir, disparaître comme par magie). “Le CO_2 (mais aussi l'urée) est toxique puisqu'on le rejette”, ce qui est chimiquement et physiologiquement faux !

Cette grille d'analyse est utilisée constamment (obsessionnellement) par l'élève pour reconnaître le milieu dans lequel il se déplace (voir, par exemple, l'analyse des signaux émis par l'autre, lors d'une rencontre ...).

Ces catégories constituent par nature une explication et dispensent de rechercher des causes. Elles sont peut-être fondées sur une certaine angoisse existentielle, inconsciente mais permanente et puissante. De ce fait, elles seraient appelées spontanément dès qu'il s'agirait d'expliquer une situation touchant au vital, menaçant le vivant, l'alimentation par exemple d'un végétal comme d'un animal. Elles pourraient ainsi **occulter puissamment toute recherche d'une explication logique.**

Des stratégies d'enseignement (Astolfi et Peterfalvi, 1993) cherchent à mettre provisoirement certaines capacités explicatives de l'élève en situation d'échec (conflit cognitif) dans le but de faciliter l'acceptation d'un autre système explicatif. Mais nous avons vu que le conflit n'est pas toujours issu du constat d'une inadéquation d'un système explicatif face à une situation précise. Il semble pouvoir être aussi une situation d'impossibilité d'expliquer ou de refus d'expliquer parce que l'inconscient a identifié la situation comme relevant confusément du dangereux, d'un pouvoir appartenant à l'irrationnel.

Plutôt que de chercher à affronter l'obstacle de face, le professeur pourrait peut-être intervenir ainsi :

- d'une part, créer des conditions pour proposer et installer un nouveau schéma mental intellectuel et logique, concurrent du schéma antécédent et relevant de l'affectif, ce que l'enseignant fait habituellement, mais cette fois en mobilisant le plus possible d'organes des sens (codages tactile et moteur, visuel, verbal...) ; cette pratique facilitant les mémorisations **rendrait familier le nouveau schéma explicatif** sans qu'il soit nécessaire d'évoquer le schéma-obstacle pour l'exorciser ;
- d'autre part, il faut créer des conditions pour **rassurer l'élève** de manière à diminuer l'emprise du schéma premier, fondé sur l'angoisse, l'irrationnel. L'explication par la mise en scène d'objets concrets démystifie le phénomène. Ainsi, dans la nature, une perturbation intervient et disparaît par le jeu d'effets et d'interactions, au bout du compte matérialisés par des objets et non pas par la seule influence, quasi magique, d'un pouvoir paranormal, indiscernable et donc inquiétant !

la contestation
d'une panacée ?

une proposition
pédagogique
alternative

1.3. Diversifier les rôles du professeur

Dans ce dispositif, le professeur aide l'élève à expliciter son discours. Il suggère des activités, anime un débat... L'élève peut ainsi être guidé en recevant :

- des aides intellectuelles pour un apprentissage de la conceptualisation (Astolfi, Peterfalvi, Vérin, 1991) passant par un apprentissage de la modélisation avec exploitation du modèle par la prévision et la confrontation aux faits ; elles lui apportent à la fois une méthode transposable et des concepts disciplinaires transversaux ;
- des aides psychologiques en ne rejetant a priori aucune de ses représentations, aucun des éléments de son vocabulaire commun, aucune théorie explicative personnelle. Toute production d'élève étant prise en considération (droit à l'erreur), la recherche de propriétés communes aux productions de ses camarades évite de le placer en situation d'échec tout en lui permettant d'essayer de prendre en compte leurs propositions, de "voir si ça ne marcherait pas mieux"...

déclasser
l'obstacle plutôt
que de chercher
à le détruire

Dans la mesure où on peut douter de la possibilité de faire disparaître l'obstacle (le pouvoir de la mémoire...), on peut organiser des stratégies pour proposer à l'élève des activités de résolution manipulant de préférence et fréquemment des objets tangibles, non seulement pour l'aider à penser avec des informations sensorielles mais pour le familiariser avec ces pratiques et donc pour l'aider à **mémoriser et utiliser de préférence ces nouvelles possibilités explicatives.**

Enfin, une situation-problème pouvant être interprétée de diverses façons selon ses représentations et sa sensibilité, l'évolution de l'élève sera facilitée si on lui accorde le droit d'évoluer à sa propre vitesse (mais seules les conditions de demi-groupe de Travaux Pratiques sont favorables à ce type d'apprentissage).

2. LA SITUATION D'APPRENTISSAGE

2.1. De la situation-problème aux représentations

Les élèves savent qu'une plante a des besoins permanents en eau. Lors du recueil de représentations, il leur a été demandé d'expliquer comment ce besoin en eau pouvait être satisfait en été alors que les pluies sont discontinues, voire rares. Les réponses l'ont été tout autant.

La reprise de cette **situation-problème** entraîne d'autres questions d'élèves : *"La plante satisfait-elle seule son besoin, sans intervention du sol ?"* *"Le sol participe-t-il à la satisfaction de ce besoin ?"* Ainsi, est vite posée la question fondamentale : *"Mais d'abord, qu'est-ce qu'un sol ?"* On arrive ainsi à l'observation d'un échantillon de sol brun grumeleux (œil nu et loupe). L'élève y reconnaît-il quelque chose ?

Le fait de porter un regard investigateur sur cet objet le fait exister mais le rend tout à fait étranger à l'élève. Ça n'est plus un objet neutre avec lequel on joue, qu'on lance ou qu'on enlève de la peau salie. Il s'agit de le regarder autrement.

quand l'objet
commun devient
objet d'étude
scientifique

L'observation d'un sol n'apporte aucune information immédiate permettant de comprendre ses propriétés, sa fertilité par exemple. Très souvent, chaque point est identique à son proche voisin de sorte qu'un sol apparaît plutôt comme "fondu" en une masse décourageant le naïf curieux. Il n'y a pratiquement pas de signes d'évidence, même au niveau des horizons très contrastés d'un podzol.

Il faut **chercher à y voir** des composants fins pour les y trouver. Son étude réclame donc l'existence d'une **représentation antérieure** permettant d'effectuer des comparaisons. C'est par ce va-et-vient entre une construction mentale, qui permet de poser des questions, et les réponses de l'objet que l'élève pourra **reconnaître des constantes** entre différents échantillons.

Or, lorsqu'on demande à un élève de seconde de décrire simplement ce qu'il voit (du sol), il se réfugie dans le mutisme. Pressé de répondre, il avoue ne rien avoir à dire parce qu'il ne sait rien. Il sait seulement qu'il n'a rien appris sur ce sujet précis. Cette situation-impasse révèle, chez l'élève, **une certaine représentation de sa fonction** dans la classe, face au professeur : restituer des acquis antérieurs, un vocabulaire technique, révéler la maîtrise de connaissances scolaires, au mieux établir des relations entre elles et des faits nouveaux proposés par le professeur. Il s'agit d'un savoir officiel, celui qui est frappé du label de l'institution scolaire et qui semble avoir seul cours dans l'établissement. Pourtant, si on encourage l'élève à passer du stade de la description par restitution ("c'est...") au stade de la description par analogie ("c'est comme..."), la situation se débloque.

utilisation
dangereuse mais
nécessaire de
l'analogie...

On recueille des propositions d'élèves. Ces propositions ne sont anodines qu'en apparence. Elles révèlent, en effet, que l'attention est bien attirée par le caractère hétérogène de la composition de l'échantillon et de chaque agrégat et par une certaine cohésion des éléments. Des caractéristiques communes à d'autres objets ont été reconnues. Le sol n'est plus étranger à l'élève. Il est alors compris comme **susceptible de faire partie d'une classe d'objets**, classe qui préexistait dans son esprit et qu'il avait peut-être déjà mobilisée antérieurement pour identifier d'autres objets communs.

pour classer un
objet et
commencer à le
comprendre

Cette classification peut d'ailleurs aussi bien utiliser des critères structuraux que fonctionnels.

Ainsi, en s'appuyant sur le problème qui fonde notre démarche, certains suggèrent de déposer des gouttes d'eau sur les agrégats. Les élèves se sentent placés dans une situation différente de celle, habituelle, où ils doivent fournir une "bonne hypothèse" qui sera authentifiée par le professeur par le seul fait qu'il la retiendra pour construire ou pré-

senter un montage. Ils font alors appel librement à des représentations étrangères au sujet, par le jeu de la pensée divergente, pour proposer, par analogie, des hypothèses explicatives. Ils appréhendent la situation en s'interrogeant sur le mode "c'est comme si c'était..."

2.2. Confrontation des propositions des élèves

Les propositions étant toutes notées au tableau, reste au professeur à faire rechercher et identifier les traits communs dont les caractéristiques premières auxquelles il ne faut pas s'arrêter sont l'originalité et la naïveté ! Chaque élève ayant réfléchi seul, une recherche collective est organisée.

Des **règles communes de composition** puis de construction (structure hypothétique) peuvent alors être énoncées. Le travail intellectuel de compréhension d'un sol commence : les éléments sont mentalement assemblés selon des principes. Par le jeu d'une activité scientifique, l'inexistant ou bien l'anarchique et l'aléatoire font place au cohérent, à l'organisé. Le sol n'est plus perçu comme une masse amorphe, confondue avec le sous-sol. Il **existe** enfin en tant que tel, en tant qu'objet d'étude-modèle, support d'abstraction.

après la
recherche en
commun de
règles de
construction...

Les agrégats, résistants à la pression des doigts, sont devenus mous et plastiques après humidification. Le sol est bien constitué d'éléments de taille très différente.

A ce moment de réflexion, le résultat d'une manipulation classique et proposée par le professeur (les élèves ne peuvent pas tout inventer !) est alors **aisément interprété parce qu'attendu** : un échantillon de sol, plongé et agité dans l'eau est laissé à décanter. La liste des composants peut être dressée (sable, argile, matière humique plus ou moins surnageante, eau, ions). Certains d'entre eux, imperceptibles à l'oeil nu mais qu'on peut oser identifier (argile), semblent pouvoir être mobiles, mais solidaires, en présence d'eau. Le modèle s'enrichit.

Ce n'est plus un "cooky" ou un "morceau de sucre" rigide mais une matière hétérogène molle qui **pose désormais le problème** de la "colle" entre les constituants.

Mais, auparavant, il est nécessaire de savoir si tous les élèves sont parvenus au même niveau de représentation. Une production visible exprimant une représentation mentale est alors demandée à chacun d'eux.

2.3. Une étape de structuration : premiers essais de modélisation du sol

La consigne est alors de chercher à "**représenter comme...**", c'est-à-dire à concrétiser sa représentation mentale du sol. Aucun conseil particulier n'est donné. Mais, pour effectuer cette tâche, chacun doit, consciemment ou non, penser à **se donner des règles** de manière à ce que des objets étrangers au sol (objets symboliques) soient assemblés et reconnus comme étant la copie agrandie des compo-

la concrétisation
en autonomie

sants du sol. Comme le choix des symboles et des règles de construction a souvent été fait inconsciemment, il est indispensable de le faire émerger au niveau conscient, par un travail d'analyse comparative en commun. Les productions des élèves ont été présentées par ailleurs (Monchamp, 1993 b). Elles permettent de reconnaître quatre groupes :

quatre groupes
selon les
productions
produites

- premier groupe : ceux qui ne sont pas capables de passer à l'acte. A ce niveau, ils ne sont pas nombreux mais un réel apprentissage leur est indispensable ;
- deuxième groupe : ceux qui utilisent des **objets concrets** familiers dont l'une des propriétés, implicite, est de pouvoir être assemblés. Ainsi, des **maquettes** sont proposées :
 - . des "post-it" dont les papillons adhésifs portent le nom de l'objet représenté (sable...),
 - . des rectangles de papier portant des noms (sable...) et rellés par des trombones,
 - . des pièces de Légo de différentes couleurs,
 - . des boules de pâte à modeler de diverses couleurs également ;
- troisième groupe : ceux qui matérialisent leur représentation par un simple **schéma**. C'est une tentative descriptive et non explicative de la structure supposée du sol.
- quatrième groupe : ceux qui expriment l'idée d'une cohésion issue de l'assemblage particulier des pièces (comme les "pavages autobloquants") mais ne peuvent le faire que par la rédaction d'un petit **texte** exprimant cette propriété. L'existence de forces de cohésion est explicitée par des verbes (coincer, encastrer, accrocher...) mais non graphiquement. Ces élèves s'expriment plus volontiers par un texte que par un schéma.

Les productions du second groupe ont un caractère très familier. Il ne faut pas se cacher que cela peut nourrir un attachement à la matière, attachement qui risque de faire obstacle à une évolution souhaitée vers l'abstraction.

utilisation lucide
et mesurée de
l'analogie

Ce que les élèves ont produit n'est évidemment pas une partie du sol. Il faut conduire les élèves au-delà, de manière à ce qu'ils puissent **saisir la signification** de cet assemblage. Pour cela, on n'hésite pas à dresser la liste des propriétés du montage, propriétés qu'on retrouve ou non dans le sol. Ainsi, la **limite de validité du modèle** est plus claire.

Pourtant, ce type de production présente un très grand avantage par rapport aux autres, c'est qu'il contient l'idée de volume, d'**extension dans l'espace**, dimension qui n'est réellement explicitée et prise en compte qu'exceptionnellement dans notre enseignement, y compris à propos du chapitre traitant du sol.

En effet, il n'est pas certain que les élèves du troisième groupe l'avaient présente à l'esprit.

A ce point de la réflexion, les élèves risquent d'oublier l'objet qu'ils tentent d'expliquer, le sol, et de ne pas **comprendre à quoi sert leur maquette**.

2.4. Comment le modèle donne du sens aux manipulations

• *Dresser un bilan*

Puisque le problème concerne l'alimentation régulière des plantes en eau, même en période de sécheresse, il est proposé de revenir au concret en abandonnant provisoirement la maquette.

la maquette pour regarder autrement l'échantillon qui réagit et y pratiquer des mesures

La classe retrouve la matérialité du sol (la terre) avec la question proposée : *"Puisque je constate que de l'eau est retenue, avant de savoir comment, je peux me demander combien..."*. Une stratégie de mesure des quantités d'eau pouvant être retenue ou non est alors organisée avec les élèves. Par le travail habituel et simple, en Travaux Pratiques, elle débouche sur l'étude de la porosité d'échantillons du sol et elle permet de constater la réalité de paramètres et, par la quantification comparative, de reconnaître leur variabilité selon les matériaux utilisés.

L'étude globale répond provisoirement à notre question : de l'eau est effectivement retenue, elle peut satisfaire les besoins de la plante. Pour aider à faire le pont entre le réel mesuré et la maquette issue d'une production mentale, le professeur propose d'introduire les racines d'un végétal dans le modèle. L'analyse des "images en trois dimensions" du complexe sol-plante permet de distinguer des parties qu'on peut désigner comme des **compartiments**, même si aucune cloison n'est visible (surface de la fraction solide, espace "vide" occupé par l'eau ou l'air, racines).

La démarche analytique du début de l'étude a été abandonnée. Le sol a été abordé dans sa globalité mais c'est en **s'appuyant sur un bilan** qu'on peut y soupçonner des mécanismes internes.

• *Identifier des mécanismes*

L'analyse comparative des résultats de manipulations par les élèves révèle aussi que le sol retient d'autant plus d'eau qu'il est constitué d'éléments plus fins, que l'eau est contenue dans des espaces de plus petite taille.

Le professeur propose des tubes de verre de divers diamètres et suggère de les plonger dans l'eau et de les en retirer complètement avec la consigne : quelle relation pouvez-vous exprimer entre les observations des tubes et du sol ?

Les relations inverses entre la hauteur d'eau retenue par un tube et son diamètre permet d'énoncer une loi (capillarité).

On pourrait en rester là (enseignement transmissif), chaque élève devant seul repérer le rapport entre la granulométrie, la variation du diamètre des pores, la rétention ou non d'eau et le phénomène de capillarité.

Pour **aider les élèves à effectuer cette opération de mise en relation**, il leur est demandé de considérer le sol du

découverte
empirique de lois

montage comme étant organisé comme la maquette le prédit.

La construction de celle-ci, copie agrandie mais hypothétique de l'échantillon testé dans le montage, permet de se représenter d'une certaine manière la structure du sol, d'y introduire des lois, d'y comprendre la propriété de porosité. Désormais, le professeur peut demander à chacun qu'il sollicite ce nouveau mode explicatif pour comprendre le stockage de l'eau, l'approvisionnement des racines en dioxygène, la pénétration des radicules et l'ancrage du végétal. Une production écrite par groupe de deux est exigée pour contrôler la réalité de la compréhension et pour fixer ce nouveau savoir sur le cahier de cours, l'élaboration du texte participant à la mémorisation.

• **Opérer un va-et-vient entre l'objet et la maquette**

Une formalisation a été progressivement amorcée. Après avoir explicité des constantes de composition et d'assemblage des éléments, la construction mentale se complexifie puisqu'on y fait jouer deux types de modèles (molécules d'eau, gaz et forces capillaires, de gravitation et d'aspiration racinaire). Des interactions sont perçues. Les productions d'élèves rendent compte désormais d'une structure-type qui n'apparaît pas à l'œil de l'observateur d'un véritable sol. Pouvant être défini par des attributs relatifs aussi bien à la structure qu'à certaines fonctions, il peut être élevé au-dessus de son état matériel premier, au rang d'entité.

Il acquiert ainsi et déjà le statut de "**concept de sol**", le support matériel ayant été proposé **pour aider à se représenter** l'objet et l'idée.

Un problème nouveau se dresse alors. Comment les éléments, solidaires dans un sol sec, peuvent-ils être de plus en plus dissociables selon le degré d'humidification, cette évolution étant réversible, par dessiccation ? Autrement dit, qu'est-ce qui pourrait permettre d'expliquer la plasticité, l'"adhérence molle", entre les éléments constitutifs ?

2.5. Mise à l'épreuve du modèle par un nouveau problème : recherche d'une solution au problème de la "colle"

Selon la classe et les circonstances, plusieurs types de propositions ont été formulées par des élèves. Leur caractère inattendu, et donc inquiétant, est peut-être à l'origine de la réticence qu'ont les professeurs à adopter ces pratiques. Nous en rapportons deux.

• Le modèle de la dissolution (par l'interprétation particulière de la molécule d'eau) répondant à une situation antérieure de classe (dissolution de l'engrais-étude des besoins des végétaux) peut faire rebondir la recherche dans une autre situation (amollissement d'agréats du sol en présence

étude de
relations
structurales et
fonctionnelles
entre le réel et la
maquette

l'appel à un
modèle
particulaire : une
démarche de
physicien

d'eau) en apportant une explication possible. **L'identité des caractéristiques de situations** a été aisément reconnue par certains élèves, habitués à établir des relations, il faut le reconnaître.

Le fait de pouvoir faire appel au même modèle dans deux situations différentes renforce la valeur explicative de ce modèle. C'est la situation qui est apparue dans la "bonne" classe.

- La synthèse de l'objet à partir du modèle. Le modèle rendu visualisable par la maquette laisse penser qu'on doit pouvoir **reconstituer** des agrégats en mettant en présence les composants isolés.

On propose aux élèves les composants purs d'un sol : solutions ioniques, suspensions d'argile ou d'humus. Un protocole expérimental est alors construit par chacun des groupes dans lequel toutes les combinaisons de mélange sont proposées, tubes témoins compris. On peut même y introduire des grains de quartz. Ces manipulations mettant en interaction tous les constituants sont classiques et bien connues des collègues. Nous ne les décrirons pas.

Les élèves retournent donc à l'activité modélisante pour construire par groupe d'abord, ensemble et au tableau ensuite, une analogie entre les flocons du tube à essais et les assemblages en pâte à modeler, par exemple, ou les simples graphismes. Un problème est soulevé (la "colle" entre les constituants).

Les groupes recherchent des points communs entre les différentes manipulations : les ions. Des charges électriques interviendraient-elles ? Le professeur propose le montage d'électrophorèse. En quoi son principe de construction correspond-il à nos préoccupations ? En quoi le résultat est-il susceptible de répondre à nos interrogations ? Toutes ces questions doivent être traitées par chaque groupe et la réponse écrite chronologiquement sur le brouillon : un débat peut alors s'instaurer entre les élèves.

C'est ce type de situation qui est apparu dans une des classes médiocres.

2.6. Seconde structuration : mise en conformité du modèle aux nouveaux acquis

Des activités de **reconstruction du premier modèle** en utilisant les propriétés des aimants symbolisant des particules du sol peuvent être proposées. On assemble d'abord les particules chargées du sol puis on noie les composants inertes (quartz) dedans et on essaie d'y inclure les pores de divers diamètres.

Le nouveau modèle, qui se place à une **échelle beaucoup plus petite** que précédemment, apporte des précisions non seulement sur la structure du sol (agrégat, au niveau macroscopique) mais aussi sur sa propre structure (complexe argilo-humique, au niveau "microscopique").

la création d'un
sol in vitro

de la chimie à la
physique

A ce niveau de réflexion et dans une même classe, on obtient des résultats très hétérogènes, allant de l'impossibilité maintenue à créer une représentation matérielle (aucun progrès dans l'apprentissage, cas rare) jusqu'à l'assemblage précis en passant par des hésitations révélant l'absence d'intégration de certaines propriétés.

Une aide personnalisée est nécessaire. Ce que l'élève n'a pu faire seul, il faut que le professeur le lui révèle, ce qui, souvent ne pose pas de problème insoluble puisque les objets mentaux sont devenus de véritables objets (éléments de la maquette) et que les opérations mentales correspondent à des gestes physiques, des déplacements le plus souvent.

tester les
capacités
explicatives et
prédictives du
modèle

Cette fois, la majorité des élèves est parvenue à identifier les règles de construction comme pouvant être également celles de fonctionnement. Les représentations du modèle peuvent être **confrontées** à différentes manipulations nouvelles présentées aux élèves. Ces montages mettant en jeu des sols et des ions différents ont-ils des points communs ? Les résultats répondent-ils finalement aux mêmes lois ? Ces lois sont-elles bien constitutives de notre nouveau modèle ? Faut-il imaginer de nouvelles lois pour rendre compte de certains événements ?

Chacun y réfléchit et tous en discutent. Ainsi est ressentie la nécessité d'énoncer les propriétés (les concepts) d'adsorption, de restitution et donc **d'échange en fonction de certaines conditions** (concentration en ions de la solution du sol) en plus des actions structurantes.

Pour une ultime **structuration**, il est possible de faire jouer entre eux les éléments du modèle, d'y introduire des modifications (des perturbations) de manière aussi bien physique que mentale. Il est devenu possible de prévoir les effets dans une nouvelle situation-problème (comportement du sol soumis à une pluie battante ou plongé dans une solution ionique ou dans l'eau pure...).

quand la
structure s'efface
devant les
fonctions et la
sophistication du
codage

Finalement, de proposition en proposition, toutes discutées en classe, on finit par tomber d'accord sur un graphisme extrêmement dépouillé dont le sens n'est exprimé que par des ensembles (**compartiments**), des flèches (**mouvement** de matière) et des mots (**étiquettes**). Nous ne sommes pas loin de l'abstraction puisque le codage est tellement évolué que le modèle ne peut être lu sans clé précise.

Par ailleurs, certains des attributs de ce concept peuvent aussi être identifiés comme tout à fait semblables à ceux qui ont émergé lors d'études d'autres chapitres. En effet, l'animal, le végétal, le sol ont effectivement des points communs qu'une analyse comparative révèle : les attributs du **concept de système**.

Le sol est bien assimilable à un système. Il est organisé par le jeu de propriétés de ses composants et des actions extérieures aléatoires mettant ces mêmes composants en contact (vers, racines, labour...). L'enseignement traditionnel, qui **n'explique la formation du sol qu'en décrivant** chacun des facteurs (roche-mère désagrégée, climat, êtres

vivants), laisse l'élève seul devant des connaissances cumulées et non pas mises en relation. Par contre, l'élève, mis en situation de produire du savoir et de le structurer, peut concevoir une construction, et donc une évolution, du sol-objet.

Replacé mentalement dans la nature, le sol reçoit alors véritablement un passé et un avenir. Il peut être imaginé en **expansion dans l'espace et le temps**, ce qui est en stricte conformité avec les instructions officielles.

3. ÉVOLUTION DE LA RELATION ÉLÈVE-SAVOIR SCOLAIRE

En lycée, les élèves sont réticents pour exercer leurs capacités d'observation et d'interprétation, arguant du fait que leurs connaissances communes ne peuvent y être pertinentes et que l'école ne leur a rien appris sur le sujet proposé. C'est d'autant plus vrai qu'ils y sont mal intégrés.

L'analyse des productions de certains camarades peut, par contre, leur faire comprendre ce qu'on attend d'eux. Leur exploitation (prévision à laquelle la classe va se livrer bientôt) permet de découvrir progressivement l'intérêt de se livrer à l'activité d'élaboration de modèles. Celle-ci peut finalement être comprise comme un moyen supplémentaire, **une réponse possible à un besoin de résoudre un problème**, de comprendre en se représentant, une situation qui devient explicable.

Ainsi, les situations de modélisation précédemment décrites activent et mobilisent des représentations préexistantes, communes et/ou scolaires, répertoriées, classées plus ou moins précisément, et permettent de **donner un sens à l'objet** étudié. L'élève se l'approprie, ce qui modifie complètement son attitude face à l'effort intellectuel.

Parce que le problème appartient, en apparence, à son monde sensoriel, l'élève se sent placé en situation familière. De plus, il a compris qu'il est autorisé à utiliser **son** langage habituel. Quelles que soient ses relations avec l'école et l'abstraction, il se sent désormais concerné. Lorsqu'on l'autorise à user de son arsenal d'idées communes et donc d'images et/ou de termes courants voire vulgaires, dont l'usage lui paraissait interdit à l'école, des propositions de voies à explorer apparaissent spontanément.

Il a des "choses à dire" et, reprenant confiance, demande de plus en plus souvent à participer.

En retenant comme indices d'intérêt la fréquence et la qualité des informations émises par les élèves, il a été très souvent constaté, dans plusieurs classes, que la séance devenait dense et enrichissante, y compris pour ceux dont un processus de déscolarisation était engagé. C'est par l'apparition de ce type de comportement qu'on peut attribuer à la séance le caractère d'un véritable apprentissage.

des conditions
qui font que
l'élève se sent
concerné

Cette évolution comportementale, observée en classe B_C , a été très fréquente en classe M_C (voir tableau en 4.1.) mais rare dans les cours et séances de T.P. où le modèle transmissif a été appliqué.

4. ÉVOLUTION DES REPRÉSENTATIONS DU SOL CHEZ LES ÉLÈVES

L'étude porte sur l'ensemble des élèves ayant reçu l'un ou l'autre des deux types d'enseignement.

4.1. La structure du dispositif comparatif

Nous avons cherché à caractériser les effets sur les apprentissages du dispositif pédagogique constructiviste expérimenté avec deux classes, en les comparant aux résultats de deux classes de niveau équivalent mais ayant bénéficié d'un enseignement de type transmissif. Les professeurs des classes M_C et M_T étaient différents. Le professeur de la classe B était le même et a mis en œuvre les deux dispositifs pédagogiques, l'un dans la demi-classe B_C , l'autre dans la demi-classe B_T (les cours en classe entière portant sur un contenu tout à fait différent).

Le tableau ci-dessus décrit le dispositif de comparaison utilisé :

	modèle se référant au constructivisme	modèle de type transmissif
classes "médiocres" M (T.P. et cours)	classe M_C	classe M_T
"bonne" classe, B (en T.P. seulement)	groupe B_C	groupe B_T

Pour les classes M_C et B (groupes B_C et B_T), et en conformité avec le procédé choisi, un recueil simplifié de représentations a été effectué, avant et après l'étude du sol (au minimum un mois et demi après), par questionnement et une demande d'élucidation de situations-problèmes. Des analyses comparées ont pu être menées, de manière quantitative (M_C et M_T) ou qualitative (classe B).

La classe M_T n'a reçu le questionnaire qu'à la fin du chapitre. Les résultats obtenus dans les deux classes M_C et B avant le cours sont non seulement tout à fait identiques, mais aussi en accord avec ceux obtenus par M.-C. Girard(*)

(*) Nous remercions monsieur Michel-Claude Girard, professeur à l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, laboratoire de science des sols et d'hydrologie, d'avoir accepté de prendre sur son temps pour nous recevoir et nous aider dans notre recherche.

auprès d'adultes. Ils nous autorisent donc à penser qu'il n'y a, apparemment, aucune raison pour que les élèves M_T aient des représentations initiales différentes de leurs camarades M_C et B.

Bien après une évaluation sommative, une situation-problème nouvelle demandant un transfert a été soumise aux classes M_C (deux mois plus tard) et B (sept mois plus tard). Pour éclairer les réponses du groupe B_T , nous avons évalué la quantité d'informations encore mémorisées après un si long délai.

Pour toutes les productions écrites d'élèves, les réponses ont été appréciées, classées et comptées pour comparaison.

4.2. Analyses quantitatives en classes dites "médlores"

- *Évolution des compétences lexicales (classes M_C et M_T)*

Deux questions ont été posées aux élèves :

"Écrivez, après réflexion, les dix premiers mots qui, pour vous, sont associés à l'idée que vous avez du "sol".

Deuxième question : même formulation à propos de la terre

Dans la classe M_C , et à propos du sol, 50 mots différents ont été répertoriés avant l'étude contre 49 après. Des résultats très semblables ont été enregistrés à propos du mot terre (55 contre 45).

Même si beaucoup de mots associés à sol et à terre sont identiques (49%) dans les réponses initiales, l'utilisation spécifique de certains pour sol ou terre permet de rendre compte que :

- pour beaucoup d'élèves avant le cours, sol et terre peuvent avoir **des statuts différents** (situation, rôle, utilisation) ; pour 35%, **sol = surface** et **terre = milieu où se nourrissent** les plantes ; pour 10%, sol = profondeur, roche (roche-mère), solide et terre = partie cultivée, meuble ;
- pour plus de la moitié, la **terre** est un **élément constitutif du sol** (référence à des pratiques culturelles connues ...). Ceci explique aussi que pour certains, la terre peut avoir la même signification qu'engrais ("**de la bonne terre..**").

la terre et le sol
coexistent sans
être confondus

Ces résultats sont confirmés par les réponses obtenues à la question 3 : *"Y a-t-il, pour une plante, une différence entre sol et terre ? Laquelle ?"* 25% seulement des réponses affirment que sol et terre apportent la même chose aux plantes mais sans explication et... ces élèves associent malgré tout de nombreux mots différents à sol et terre !

Si le sol évoque essentiellement des images contenant une collection d'objets et des propriétés physiques (surface, couche, marcher, solide, roches...), la terre rappelle la vie, végétale surtout. Le projet exprimé par le professeur ("étude du sol") est donc susceptible de déclencher l'évocation

le statut physique
du sol et les
propriétés
biologiques de la
terre fusionnent
progressivement

d'images parasites qui peuvent créer des obstacles à la compréhension et à la communication. Au professeur averti de gérer cette situation.

Par ailleurs, dans la classe M_C , 32 mots sont abandonnés après l'étude : **l'image initiale du sol a évolué et l'écart de sens entre sol et terre s'est réduit**. A la question 3 : "Y a-t-il pour la plante une différence entre sol et terre ?", 75% répondent qu'il n'y en a pas, mais associent cependant des mots différents à l'idée de sol et de terre. Dans les mots constants utilisés à propos de terre, beaucoup ont encore la signification de la partie cultivable - mots que l'on ne retrouve pas dans la nouvelle liste associée à sol.

L'idée d'une différence entre sol et terre est résistante sans doute parce qu'elle vient de notre enfance !

De plus, 31 mots nouveaux ont remplacé ceux qui ont disparu. Il s'agit de mots techniques désignant aussi bien des structures que des fonctions (agrégat, complexe argilo-humique, structure, micro et macropores...). Mais, pour chacun, cette liste s'est enrichie. De nombreux mots sont toujours présents et avec une plus grande fréquence (argile : 3% - 33%, humus : 3% - 58%, ions : 33% - 66%...). La richesse de sens de la liste des mots conservés et nouveaux montre également une amélioration de la précision du vocabulaire concernant les constituants du sol, l'organisation de ces constituants dans l'espace (structure du sol) et les propriétés qu'elle détermine vis-à-vis des plantes.

Le sol change de statut pour la grande majorité des élèves. Il y a eu acquisition du vocabulaire définissant le sol comme un ensemble complexe mais organisé. L'image de l'objet concret-sol a été modifiée par l'étude. Il s'est construit sur elle, ou à sa place, **un réseau de connaissances abstraites** ressemblant à un réseau conceptuel.

De son côté, après l'étude, la classe M_T propose 90 mots différents se référant au sol (et 77 à terre). Ces chiffres montrent donc **une plus grande richesse lexicale** dans la classe M_T que M_C .

En fait, **certaines catégories de mots persistent** alors qu'ils ont disparu dans la classe M_C , d'où l'effet d'accumulation. Ce sont souvent les mots qui traduisent l'idée d'**un statut différent pour sol et terre**.

Tous les autres mots de M_T correspondent au vocabulaire technique disciplinaire qui a été appris au cours du chapitre. Mais les fréquences d'occurrence sont faibles (< 16%), mis à part humus (23%) texture (36%) eau (43%) et porosité (53%).

- Tous les mots cités dans le cours à propos de la texture, de la structure et du fonctionnement du sol vis-à-vis de l'eau sont présents dans la liste. Le nombre de termes liés à l'eau (14 mots différents) sont révélateurs de **l'effet des Travaux Pratiques** et des tous derniers cours traitant des nappes phréatiques sur la mémorisation.

le modèle
transmissif
augmente le
lexique sans le
faire évoluer...

- La fréquence d'utilisation des termes liés à la texture est faible pour tous les constituants. Aucun ne semble avoir été considéré comme primordial. Ainsi, l'élément majeur de la structuration et du fonctionnement du sol, **le complexe argilo-humique, n'est cité que par un seul élève**, un autre ne proposant que le terme de complexe.

Après l'étude dans la classe M_T , et contrairement à M_C , on relève la conservation des mots évoquant des animaux et des plantes ou relatifs à des parties de plantes se trouvant dans le sol.

Pour ces élèves, le chapitre traitant du sol se ramène donc à une liste d'objets juxtaposés et équivalents, voire de propriétés, mais qui ne semblent pas avoir été réunis en un tout cohérent, en un système opératoire (l'idée de sol), ce qui pourrait expliquer cette **liste exhaustive mais disparate pour chaque élève**.

La prétendue médiocrité intellectuelle de la classe M_C n'influence donc pas les résultats ; mais les élèves ont-ils bien assimilé le sens des mots de manière à le rendre opératoire (vocabulaire actif) ou n'ont-ils retenu que le signifiant (vocabulaire passif) ? La seule analyse lexicale n'est pas suffisante pour conclure avec certitude. C'est pourquoi il a été utile d'analyser les réponses d'élèves en situation de résolution de problèmes.

• **Évolution des compétences sémantiques**
(classes M_C et M_T)

Onze questions ont été soumises aux élèves. Non traitées en cours, elles en sont plus ou moins proches et ne demandent pas une restitution systématique. Elles ne portent que sur trois domaines : la structure, l'évolution du sol, l'eau et les ions (engrais). Nous pensons, en effet, que le jeu du croisement des réponses présente l'avantage d'évaluer précisément la maîtrise (le caractère opératoire) des concepts par les élèves.

Pour ne pas disperser l'attention du lecteur nous ne lui en proposons que quelques-unes. Voici donc un exemple d'analyse des réponses aux questions 7 : *"Que devient l'eau de pluie tombée à la surface d'un champ ?"* et 13 *"Où se trouve l'engrais (sous quelle forme) pendant la période située entre son épandage en automne et son utilisation par la plante au printemps ?"*.

il rend difficile la
hiérarchisation
des termes...

Le dépouillement des réponses est exposé ci-dessous.

	pré-test (citations)	%	post-test (citations)	%
question n°7	<i>l'eau...</i>		<i>l'eau...</i>	
	- est absorbée ;	10	- rentre dans le sol et nourrit les plantes ;	10
	- est absorbée par le sol ;	58	- rentre dans les pores du sol et s'enfonce dans les nappes phréatiques ;	4
	- est absorbée et va vers les nappes phréatiques ;	14	- est retenue par les micro- pores ;	28
	- entre dans le sol et est absorbée par les racines des plantes ;	10	- entre dans le sol, une partie reste dans les micropores et servira la plante, l'autre descend vers les nappes phréatiques ;	28
	- pas de réponse.	8	- même réponse, seule l'eau utile est prélevée par les plantes ;	8
question n°13	<i>l'engrais...</i>		- les ions vont être mis en réserves dans le sol ;	20
	- reste en surface ;	4	- certains ions sont mis en réserve, d'autres sont lessi- vés ;	8
	- migre en profondeur ;	11	- mis en réserve, liés à l'argile et l'humus ou au complexe argilo-humique ;	25
	- change d'état :		- ions qui se trouvent dans la solution du sol ;	12
	= devient solide,	7	- enfouis dans le sol ;	16
	= devient gazeux,	3	- pas de réponse (ou incohé- rente).	18
	= prend la forme ionique,	7		
	= devient du fumier ;	4		
- mis en réserve par les plantes ;	7			
- pas de réponse.	57			

Évolution des compétences sémantiques dans la classe M_C
(du pré-test au post-test)

Pour comparaison, nous proposons les réponses des élèves de la classe M_T aux mêmes questions (post-test) :

réponses à la question 7 (l'eau de pluie...)	%	réponses à la question 13 (l'engrais...)	%
- s'évapore ou est absorbée par le sol ;	36	- dans le sol (sans autre précision) ;	20
- s'infiltré dans les nappes phréatiques ;	20	- dans le sol mais certains auront subi le lessivage ;	10
- pénètre dans le sol, une partie est absorbée par les plantes, une autre descend vers les nappes ;	30	- dans les réserves du sol ;	3
- est absorbée et retenue différemment selon la texture et la porosité. Seule, une partie de l'eau est disponible ;	3	- vers le bas et remonte quand les plantes en ont besoin ;	3
- retenue dans les macro. et micropores ;	3	- dans le sol sous forme d'ions ;	6
- sert aux plantes ou lessive les ions et descend en profondeur ;	3	- utilisé par les plantes ;	3
- la pluie avec ses ions va nourrir le sol.	3	- réponse sans rapport avec la question ;	20
		- pas de réponse.	30

Compétences sémantiques dans la classe M_T (post-test)

Dans cette dernière classe, le vocabulaire "technique" n'est qu'exceptionnellement utilisé (6 %) alors que l'analyse lexicale a montré qu'il était cité par la moitié des élèves. Les mots appartiennent donc, pour l'essentiel, au **vocabulaire passif**. 78,6 % des élèves n'ont pas d'explication plus précise, plus technique que celles que leurs représentations initiales leur apportent.

Lorsqu'on demande à ces mêmes élèves : "Comment expliquez-vous qu'après une période prolongée sans pluie les plantes soient toujours vivantes parce qu'encore alimentées en eau ?", les réponses restent incohérentes ou insuffisantes pour 43 %. Les autres évoquent des réserves mais 13 % seulement utilisent cette notion sans erreur.

A propos des réponses à la question 13, aucun élève ne fait référence au complexe argilo-humique pour expliquer la mise en réserve d'ions. Pourtant, toutes les illustrations classiques ont été apportées dans le cours et les T.P. par le professeur (floculation des colloïdes, expérience avec bleu de méthylène et éosine, schéma de la floculation et fixation d'ions sur le complexe...). De plus, une évaluation formative ad hoc a été effectuée.

D'une manière générale, l'animisme (Piaget, 1976) ou, tout au moins, le vocabulaire qui lui est lié, reste très présent après le cours. Ainsi, à la question "Pourquoi laboure-t-on le

... et ne refoule pas les représentations initiales

sol ?", les élèves des classes M_C et M_T se comportent bien différemment :

- avant le cours, les réponses sont imprécises ("*faire respirer le sol*", "*aérer le sol*", "*ramener la bonne terre, la terre riche, fraîche en surface*") mais après le cours, le vocabulaire devient franchement technique (76%) pour la classe M_C ;
- après le cours, les élèves M_T continuent à utiliser leurs représentations initiales et non pas leur savoir scolaire : "*mettre en surface du sol neuf*", "*pour régénérer, purifier*", "*pour faire respirer le sol*", "*pour qu'il ne s'étouffe pas*" mais aussi, chez un seul "*pour améliorer la texture*".

• Conclusions

Par l'abondance des mots se rapportant aux êtres vivants, notre étude révèle d'abord l'**effet parasite d'un chapitre** que les instructions officielles ont accolé à l'étude du concept de sol. Il s'agit de l'étude d'un attribut du concept de transformation de matière : la minéralisation de la matière organique.

Ces deux chapitres sont réunis par le simple effet d'une logique topographique car les deux parlent du sol... Or, si on se place au plan d'analyse des concepts, sol et transformation de la matière sont deux concepts qui n'ont que fort peu d'attributs communs. Cette confusion est génératrice de mélange de mots et sans doute de confusion de sens accumulés dans le même "dossier mémoire" de l'élève.

D'autre part, et surtout, l'étude comparée des résultats montrent des connaissances très étendues au plan lexical dans la classe M_T mais exceptionnellement fonctionnelles chez ces élèves ayant reçu un enseignement de type transmissif. Ils répondent comme si les T.P. sur la porosité avaient simplement servi à dégager les propriétés du sable, la valeur générale des idées ne semblant pas avoir été révélée. La généralisation implicite a dû être opérée par l'élève seul. L'absence de cette opération rend alors impossible tout transfert.

Dans cette classe médiocre, l'enseignement transmissif n'apporte que peu de modifications des représentations initiales. Rendant moins familière la mise en situation-problème ou en résolution de problème, il ne semble pas avoir permis l'installation et/ou la mémorisation de relations entre des informations de diverses natures. Les mots techniques présentés en classe sont mémorisés mais pas utilisés. **Les mots n'ont pas été compris comme étant des outils de pensée** parce que la fonction qu'ils recèlent ne semble pas avoir été révélée par les conditions d'enseignement. L'activité de construction de connaissances - ici, la modélisation et son exploitation - semble, quant à elle, le permettre, en faisant "jouer" les élèves avec des symboles d'objets microscopiques, de propriétés, de relations. A ce propos, on peut se demander si l'aspect déterminant de ce dernier type d'apprentissage est la prise en charge auto-

l'analyse conceptuelle des chapitres est une nécessité pour les distinguer...

... mais aussi pour souligner leurs traits communs et mieux les comprendre

nome de la construction par les élèves ou la mise en oeuvre d'un modèle permettant de se représenter les relations et les aspects fonctionnels. La question est posée.

Enfin, les chapitres étant très fréquemment considérés comme étanches les uns par rapport aux autres, il n'y a pas de tentative de mise en relation entre eux : besoins des végétaux et engrais dans le sol par exemple. Le complexe argilo-humique, point central du réseau conceptuel, reste donc un simple nom qui désigne encore un objet, quand il est connu (!), et non une fonction. C'est pourtant la fonction qu'il faut révéler pour tendre vers la maîtrise du concept.

Non seulement les élèves de la classe M_C ont enrichi leur vocabulaire mais, en plus, ils savent s'en servir, et cela bien après la fin du cours, ce qui est une bonne indication de la qualité de l'assimilation. Les cours qui ont suivi n'ont pas effacé ceux qui les ont précédés.

La classe M_C nous autorise à **mettre en relation ses progrès avec le travail** qui a été fait par les élèves lors de l'apprentissage de la modélisation, séance au cours de laquelle une certaine représentation du complexe argilo-humique a été construite, système très complexe pour les élèves de seconde, il faut bien le reconnaître. Mais c'est le caractère extrêmement complet et formateur qui rend incontournable à nos yeux ce chapitre traitant du sol.

4.3. Analyse qualitative dans une bonne classe (les groupes B_C et B_T)

Trois mois et demi après la clôture du sujet, le questionnaire proposé avant l'étude du chapitre a été soumis à nouveau à la classe. Chaque élève a retrouvé sa feuille et donc ses premières réponses. Il a ainsi pu apprécier la "distance qu'il avait parcourue". Cette distance est souvent importante.

L'analyse comparée montre :

- en pré-test comme en post-test, les mots associés à "terre" et "sol" sont les mêmes que ceux proposés par la classe M_C . Pourtant, les mots associés à sol et contenant l'idée de simple surface sont plus fréquents : par exemple pour Delphine, avant : "*chemin, sous nos pieds, goudron, trottoir, rue, plancher*" et après : "*roche-mère, érosion, minéraux, granite, cailloux*";
- les réponses des élèves de cette classe aux problèmes soumis sont identiques à celles de M_C ; cela signifie que l'acquisition des connaissances a été la même, et cela quel que soit le modèle pédagogique mis en oeuvre ;
- la nature des réponses au post-test nous montre qu'il y a eu réellement progrès, des glissements de sens se sont opérés, de nouveaux concepts sont mieux maîtrisés, par exemple :

Q4 : Quelle est la matière du sol (de quoi est fait un sol) ?

Marie, avant : pas de réponse ;

après : *“agrégats formés de grains de sable et d'un complexe argilo-humique qui tient grâce aux ions positifs qui sont attirés par les ions (sic !) négatifs de l'argile et de l'humus”*.

Q12 : Où se trouve l'engrais (et sous quelle forme) pendant la période située entre son épandage en automne et son utilisation par la plante au printemps suivant ?

Cécilia, avant : *“Il se trouve sur la terre et soit sous forme de granulés, soit sous forme de terre ou de mousse”* ;

après : *“Il se trouve dans la terre, stocké par le sol jusqu'à ce que la plante en ait besoin et se nourrisse avec les réserves. Stocké : par les lois d'attraction des ions positifs et des matières négatives constituant le sol”*.

les bons élèves
ont la capacité
de s'adapter au
professeur et à
son
enseignement

Dans cette bonne classe, **quelle que soit la stratégie pédagogique utilisée**, le sol a effectivement changé de statut. Il n'est plus distingué de la terre. Il est reconnu désormais comme objet en soi, et surtout comme un assemblage d'éléments en interaction. Le vocabulaire associé est devenu plus riche et technique.

Le laps de temps important pendant lequel il n'a plus été question de ce chapitre nous permet de considérer que les seules informations stockées en mémoire à court terme ont été en grande partie traitées et reclassées en long terme sinon éliminées.

Si, pour l'instant, le modèle pédagogique semble ne pas avoir d'influence dans une très bonne classe, il n'en est pas de même pour une classe médiocre. Tout se passe comme si l'application d'une stratégie mettant les élèves en situation de traiter des informations sensorielles abondantes et d'agir manuellement et mentalement n'aidait surtout que ceux qui n'ont pas encore acquis les outils mentaux nécessaires.

Mais le savoir que l'élève performant exprime dans ses réponses, savoir qui a toutes les chances d'avoir été intégré, est-il réellement opératoire ?

5. EFFETS DU DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE SUR LA CAPACITÉ À RÉSOUDRE UN PROBLÈME

5.1. Évaluation différée

Bien après la fin de l'étude du sol, une brève situation d'évaluation a été proposée aux élèves M_C , B_C et B_T :

"Depuis le début de l'ère industrielle, les usines rejettent des gaz dans l'atmosphère. Ceux-ci réagissent avec l'eau des nuages et produisent des ions H_3O^+ qui sont entraînés sur et dans le sol par les pluies (pluies acides, Volker Mohnen, 1988). Expliquez comment celles-ci agissent sur la structure du sol et entraînent la mort des végétaux"()*.

tester la
capacité à
récupérer en
mémoire à long
terme les savoirs
et à les transférer

La réponse devait décrire les mécanismes d'échange entre les cations adsorbés sur le complexe argilo-humique et ceux de la solution du sol enrichie en ions hydronium par les "pluies acides". La libération de certains cations, dont le Ca^{2+} , est susceptible de donner prise au lessivage (appauvrissement du sol en ions, au détriment des plantes) et de déclencher la dislocation du complexe.

Ce problème a été retenu parce qu'il n'est pas de même nature que ceux qui ont permis de faire émerger les représentations. En effet, contrairement à ces derniers, il ne fait intervenir ni pratiques culturelles ni situations qui ont pu être évoquées en cours ou dans le questionnaire, tels les engrais-ions du sol ou les pluies-eau du sol. Il s'agit donc d'effectuer un transfert dans des conditions tout à fait nouvelles mêmes si les lois et les objets mis en scène ne le sont pas.

5.2. Les résultats

Le problème a été posé aux élèves plusieurs mois après la fin de l'étude du sol. Les résultats des groupes B_C et B_T figurent sur le tableau ci-après.

(*) Notons que ces phénomènes sont loin d'être les seuls à être responsables de la mort des végétaux.

critères de catégorisation	groupe B _C	groupe B _T
<i>bonnes réponses</i>	10/14 (71%) <i>dont 8 très précises</i>	4/17 (24%) + 3 (échanges seuls)
<i>la toxicité du caractère acide d'H₃O⁺ serait responsable de la mort des végétaux</i>	1/14	12/14
<i>élèves ayant conscience d'avoir spontanément évoqué des images mentales</i>	12/14	12/17
<i>élèves ayant spontanément accompagné leur texte d'un schéma explicatif <u>personnel</u>, tous mettant en scène des charges</i>	6 sur les 12 précédents	5 sur les 12 précédents
<i>élèves ayant produit un schéma exprimant des déplacements de charges...</i>	6/6 <i>tous exacts et correspondant à une réponse écrite exacte et complète</i>	3/5 <i>dont 2 (avant-après) correspondant à une réponse écrite exacte</i>
- par des flèches - par deux schémas, avant - après	4/6 2/6	1/3 2/3
<i>élèves exprimant spontanément leur dépendance par rapport aux schémas du cahier (images visibles "dans la tête")</i>	5/12 dont 2 <i>ne savent pas les rendre mobiles</i>	7/12 <i>(probabilité de schémas mentaux figés ?)</i>

Évaluation différée : réponses des élèves B_C et B_T

De leur côté, les élèves M_C obtiennent un taux de réussite proche de celui de la classe B_C, en tous cas, supérieur à ceux de BT.

- 67 % apportent une réponse satisfaisante ou assez satisfaisante. Ces réponses se répartissent ainsi :

. 14 %, très complètes et détaillées, sont accompagnées de schémas indiquant soit l'état avant-après soit des mouvements par des flèches ;

. 14 % sont complètes mais sans schéma. Par contre, le vocabulaire est très imagé, peut-être faussement animiste ("les ions se battent...", "les ions arrachent..."). Il s'agit, en particulier d'élèves en grande difficulté (redoublement...) présentant habituellement et en toutes disciplines de redoutables problèmes de vocabulaire, **mais la qualité de la pensée ne semble pas devoir dépendre uniquement de la richesse du vocabulaire exprimé** ;

. 20 % expliquent les échanges, le lessivage et le problème de nutrition des plantes, mais, 10 % ne parlent pas de changement de structure du sol et les autres en donnent les conséquences sans l'expliquer ;

. enfin, 19 % parlent de remplacement d'ions, de changement de structure donc de conséquences de la perturbation sans dire quels sont les ions en cause et comment

quand des
"mauvais" élèves
peuvent réussir !

cela se passe (mais un élève propose un traitement correctif, pertinent et évoqué en cours).

- 23 % prédisent ou non certaines conséquences mais sans les expliquer à partir du cours et en évoquant tous l'intervention de la toxicité de l'acide !

5.3. Capacité à transférer des connaissances

Sept mois après, les élèves du groupe B_C font appel au schéma de synthèse qu'ils ont construit eux-mêmes en classe et mémorisé de manière visuelle. Ils le font très généralement fonctionner correctement (schéma pouvant être mentalement animé).

l'exploitation généralisée d'images mentales, mais sont-elles souples ou rigides ?

Pour rechercher et produire une réponse, les élèves du groupe B_T semblent fonctionner de la même façon (appel plus fréquent à des images mentales que la seule verbalisation) mais s'expriment un peu moins souvent par un graphisme. Ils verbalisent à partir de leurs images mentales. Leur succès est nettement moins élevé alors que ce groupe contient des élèves reconnus comme habituellement "bons" en toutes disciplines. La fréquence élevée d'élèves se référant spontanément aux seuls schémas du cahier nous amène à nous interroger sur le type d'exploitation qui en est faite. On voit, en tous cas, qu'il ne suffit pas d'avoir mémorisé un schéma fonctionnel pour produire la bonne réponse.

De plus, des schémas proposés (B_T) sont faux, totalement ou partiellement (souvenirs émoussés) et/ou pas adaptés au problème (images figées). Certains présentent des éléments étrangers (SO₄²⁻ !), des associations incomplètes. Tout cela révèle que **le complexe et son environnement n'ont pas été compris comme un système qu'on peut mentalement modifier pour l'adapter**. Quand ils sont évoqués, les ions sont uniquement adsorbés sur le complexe.

l'évocation de souvenirs exige des repères qu'il faut savoir distinguer

Ces élèves ont des souvenirs mais parcellaires. Il semble qu'ils ne peuvent plus reconstituer le sol en retrouvant les associations antérieures correctes. Et quand les associations sont exprimées, elles sont souvent figées parce que fossilisées. Les échanges ne fonctionnent plus comme éléments d'explication. L'élève ne trouvant pas dans ses souvenirs de cours une solution cohérente est alors influencé par l'abondance des ions étrangers, perturbateurs par leur caractère artificiel.

Il semble que les élèves du groupe B_T cherchent à retrouver une réponse toute faite, en **rappel** (Lieury, 1993, p.12) dans le souvenir du cours, sans chercher à vérifier (ou sans avoir les moyens de vérifier) qu'elle n'a jamais été élaborée voire citée en cours ou qu'elle n'est pas pertinente. Est-ce par paresse ? par insuffisance de connaissances ? par insuffisance de construction de connaissances ? par manque d'**indice de récupération** (Lieury, 1993, p. 55) ?

5.4. La fonctionnalité du lexique

Tout se passe comme si les élèves du groupe B_T (qui, nous le rappelons, avaient bien répondu au questionnaire, trois mois après) avaient oublié, sept mois après, des connaissances nécessaires à la résolution. Nous avons testé cette hypothèse, une semaine après la mise en situation que nous avons décrite, par un questionnaire.

Chacun a répondu à une question avant de connaître la suivante et ne pouvait revenir sur sa réponse :

- 1 - Comment vous représentez-vous les agrégats du sol ?
- 2 - Qu'est-ce que le complexe argilo-humique ?
- 3 - Quel est le rôle des ions dans la structure du sol ?
- 4 - Expliquez l'alimentation de la plante à partir des réserves en ions du sol.

Cinq des treize élèves qui n'avaient pas su résoudre le problème des pluies acides, révèlent qu'ils connaissent bien les composants et règles de structure du complexe argilo-humique et trois d'entre eux précisent que ce dernier fixe à sa surface des ions qui peuvent passer dans la solution du sol puis dans la plante.

on peut savoir
mais ne pas
savoir faire

Confronté au problème, **ces élèves avaient tous les éléments cognitifs**, en apparence, pour résoudre le problème. Il semble qu'ils savaient faire circuler les ions (du complexe à la plante en passant par la solution du sol) mais que le concept d'échange n'était pas assez bien construit : le complexe n'a pas été compris comme susceptible de changer d'état sous l'effet d'une perturbation de son environnement. Ce constat est peut-être à rapprocher du fait que ces élèves n'ont pas été placés en situation d'apprentissage actif et de construction autonome des connaissances. Il serait donc intéressant d'approfondir cette question.

Les cinq autres élèves (sur 17) n'ont plus que des souvenirs très vagues, incohérents et bien sûr inopérants. Sept mois après le cours, les effets de l'enseignement s'estompent...

Deux se souviennent encore de l'alimentation de la plante à partir de la solution du sol (et pas à partir du complexe), mais il est vrai que ce cours a été dispensé plus récemment.

5.5. Opérationnalité des modélisations

Certains des élèves du groupe B_T n'ont fourni une réponse satisfaisante au questionnaire qu'après avoir lu la troisième question. Il semble que, contrairement au **graphisme** H₃O⁺ de l'énoncé du problème, **les mots associés** "ion" et "structure" dans la question, aient joué un rôle déclencheur en activant un fichier mémorisé imagé (feuille de cours portant le schéma accompagné d'une texte). Les mots, et non pas le graphisme, ont permis d'activer un fichier de mémoire comportant plusieurs instructions (structure du sol, charges électriques, relation entre des composants...), dont l'accès était resté verrouillé malgré la formulation des deux pre-

l'apprentissage
des sciences est
d'abord et
évidemment un
travail sur le
langage...

nières questions. Les réponses à celles-ci avaient été très incomplètes.

Les mots "ion" et "structure" ayant été reconnus comme faisant partie d'un fichier lié au sol, la question 3 a joué le rôle de **rappel indicé** ("*technique de récupération avec indices spécifiques, indices alphabétiques, sémantiques, imagés [par exemple, l'album photo permet de retrouver des souvenirs]*", Lieury, 1993, lexique).

Ces élèves n'ont donc pas décodé le graphisme H_3O^+ en terme de propriété électrique. Il s'agirait pour eux d'un objet non signifiant. Si pendant le cours, les mécanismes du sol ont été appris, en utilisant certains ions particuliers (calcium, potassium...) on peut craindre qu'ils **n'ont pas été compris en tant qu'expression de lois générales concernant tout corps** chargé électriquement, ce qu'ont dû faire la très grande majorité du groupe B_C et M_C lors de la modélisation, en "jouant" avec des combinaisons de charges.

Le codage visuel (schéma fonctionnel au tableau) n'a pas été traduit en mémoire sémantique (pas de prise de sens du schéma) mais en mémoire épisodique, contrairement aux mots écrits.

Par contre, la modélisation semble permettre à la fois cette prise de sens et la mémorisation.

5.6. La résurgence d'obstacles

Quand on ne sait plus faire fonctionner le modèle du sol au niveau de sa structure, les conséquences sur celle-ci ne peuvent plus être déduites. Face à une situation n'appelant pas une réponse toute faite, les élèves du groupe B_T ne raisonnent plus. Très majoritairement, ils mobilisent immédiatement et sans contrôle le mode d'interprétation le plus économique, le plus immédiat parce que le plus commun, c'est-à-dire l'idée de toxicité de l'acide.

Avec l'artificialisme de la chimie, elle correspond bien à une représentation commune. Elle a été signalée dans d'autres recherches antérieures et nous-mêmes l'avions déjà rencontrée.

Nous formulons l'hypothèse que le recours immédiat des élèves à une propriété agressive et immatérielle des ions H_3O^+ peut révéler l'existence d'un obstacle fréquemment rencontré. En effet, l'acidité semble être préférentiellement comprise par beaucoup d'élèves comme une **vertu** destructrice et non pas comme une interaction possible de la matière (ion) avec de la matière (complexe argilo-humique). Dans ces conditions, si les explications des élèves n'évoquent pas la matière, c'est peut-être parce que les gaz pol-

(*) Le groupe de didactique des sciences expérimentales de l'INRP, auquel l'un des auteurs est associé, conduit actuellement une recherche sur des objectifs-obstacles (ROOSA) concernant ce thème, notamment à propos de production de "matière vivante". Cette recherche est dirigée par Brigitte Peterfalvi. Voir ASTOLFI, PETERFALVI, 1993.

le modèle
transmissif a
modifié les savoirs
mais pas les
savoir-être

luants, émis dans l'atmosphère et à l'origine des ions H_3O^+ (CO_2 , NO_2 ... réagissant avec l'eau des nuages) ne sont pas compris comme étant de la matière (*).

Le contexte "chimique" des conditions de production appelle alors, par association et de manière impulsive et intuitive, d'autres qualificatifs : artificiel, agressif, inquiétant.

Il ne suffit donc pas d'identifier le schéma mental (Richard, 1990) et d'affecter aux éléments de l'énoncé une place dans le schéma, encore faut-il faire fonctionner celui-ci afin d'éviter le retour des représentations obsédantes. Pour cela, il faut que, chez l'élève rassuré, ce schéma soit devenu familier afin de lui permettre d'inférer des informations manquantes.

Pour ce qui concerne la classe M_C et le groupe B_C , il semble que les élèves y ont appris à reconnaître des indices dans un graphisme (H_3O^+ par exemple) mais aussi dans un énoncé et à établir des relations avec des propriétés mémorisées antérieurement. Ces données proviennent à la fois des mémoires sémantique et procédurale, ce qui montre bien que des connaissances (savoir, savoir-faire) ont réellement été construites lors des apprentissages.

CONCLUSION

Les domaines sur lesquels ont porté nos observations sont suffisamment nombreux et les résultats obtenus suffisamment voisins ou contrastés pour qu'on puisse les considérer comme "porteurs" d'informations, même si on peut encore améliorer la rigueur de l'analyse avec tout autant d'impartialité.

Pour ce qui concerne le simple enrichissement lexical, l'enseignement exclusivement transmissif et la passivité physique de l'élève qui en découle, même en Travaux Pratiques où un protocole est imposé, ne sont vraiment efficaces pour résoudre des problèmes de cours que dans de bonnes classes. En effet, l'étendue du vocabulaire de la classe M_T relève plus du cumul de mots que de l'enrichissement en concepts. On pourrait conclure, en forme de truisme, que l'enseignement ne pourrait être utile que dans les bonnes classes (idéologie élitiste)...

Cependant, les "bons" élèves ont montré que leurs représentations initiales, les obstacles qu'elles recelaient, étaient de même nature que chez leurs camarades moins "scolaires". Mais la capacité à s'analyser, à se livrer à l'introspection, la confiance accordée à l'enseignant pour accepter d'être déstabilisés, leurs multiples stratégies d'apprentissage leur permettent de se remettre en cause pour construire un nouveau système explicatif plus performant.

Nos résultats montrent que ce type d'enseignement ne semble pas avoir du tout la même efficacité lorsqu'il s'agit d'acquérir pour le long terme un vocabulaire opératoire en

situation de transfert, et cela même s'il s'agit encore de bonnes classes.

Qu'il soit "bon" ou "médiocre", l'élève qui a mémorisé des mots et, peut-être, des idées, sans avoir eu l'occasion de rectifier et de tester un nouveau savoir, ne fait pas confiance à celui-ci pour résoudre une situation nouvelle déstabilisante. Chassant tout mode logique causal de raisonnement, l'une de ses conceptions initiales est impérieusement activée et sert de réponse toute faite.

Par contre, la mise effective en situation de résolution de problème sollicitant chacun des élèves (constructivisme) semble pouvoir être vectrice de progrès **dans de bonnes classes comme dans de médiocres**, que l'on considère aussi bien l'évolution des représentations à propos d'un objet précis, l'aspect lexical scientifique que le développement de la capacité à résoudre et expliquer un problème.

D'autre part, l'interprétation de nos résultats peut aussi nous amener à poser l'hypothèse que les conditions de simple transmission d'un nouveau savoir ne permettent pas à tout élève d'identifier dans une situation nouvelle des éléments communs à une situation déjà traitée de manière à transférer ses connaissances. Ce type d'enseignement donne l'illusion à l'élève pourvu d'une seule stratégie d'apprentissage - apprendre par coeur - qu'il suffit d'empiler des connaissances comme elles lui sont présentées.

Par contre, ces résultats nous indiquent que c'est bien l'apprentissage de la modélisation qui facilite grandement la compréhension des phénomènes et ceci parce que la situation reste dans le domaine de la "sensorialité", du manipulable, tout en mettant en scène des "objets" mentaux.

La mémorisation est aussi facilitée par l'établissement de multiples relations entre les connaissances pré-acquises et les nouveaux objets mentaux. Les relations sont en effet rendues possibles par la mobilité que l'apprentissage a conférée à ces objets, effet que ne pourra jamais avoir la simple copie ou photographie d'un schéma fonctionnel tracé au tableau par le professeur.

Enfin, le même modèle devant être appelé à expliquer des situations différentes, la familiarisation que l'apprentissage répété entraîne accentue l'incrustation en mémoire.

Ainsi, peut-on espérer raisonnablement qu'en s'habituant à penser d'une certaine manière, en installant un certain schéma (Richard, 1990), l'élève, progressivement, abandonne la matérialité des objets, supports de pensée, au profit de l'idée pure, du concept.

Sans cet apprentissage, des schémas mentaux archaïques, des obstacles, sont sollicités préférentiellement sur intuition ou simple reconnaissance d'indicateurs, comme le mot "acide".

Dans ces conditions, l'enseignement transmissif n'atteint pas sa cible sauf chez quelques élèves, les "très bons" qui, munis de multiples savoir-faire intellectuels, peuvent orga-

niser leurs connaissances, prévoir des conséquences, constater des incohérences, poser des questions pour rectifier... mais ne nous adressons-nous qu'à eux seuls ?

Alain MONCHAMP
Annick LAINÉ
professeurs au lycée Jean Vilar -
Plaisir (78)
associés aux recherches INRP

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. et VÉRIN A., *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*, INRP, Paris : 1991, p.105-176 entre autres.

ASTOLFI J.-P. et PETERFALVI B., "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster 16, Modèles pédagogiques 1*, 1993, INRP, p. 103-142.

LIEURY A., *La mémoire, résultats et théories*, Bruxelles : Mardaga, 1992.

LIEURY A., *Mémoire et réussite scolaire*, Paris : Dunod, 1993.

(a) MONCHAMP A., *Rapport descriptif sur les caractéristiques de l'enseignement de biologie en classes de troisième et de seconde et sur les conditions d'articulation de ces deux niveaux*, Département de didactique des disciplines, Equipe des Sciences expérimentales, Paris : INRP, document interne multigraphié, 1993.

(b) MONCHAMP A., "De la terre au concept de sol", in : RUMELHARD Guy (dir.), *Équilibre et régulation en biologie*, Paris : INRP, à paraître.

PIAGET J., *La représentation du monde chez l'enfant*, Paris : P.U.F., 1976.

RICHARD J.-F., *Les activités mentales, Comprendre, raisonner, trouver des solutions*, Paris : Armand Colin, 1990.

VOLKER MOHNEN, "Le danger des pluies acides", *Pour la Science*, octobre 1988, page 59.

UN MODÈLE POUR UN TRAVAIL INTERDISCIPLINAIRE

Gérard Fourez
Philippe Mathy
Véronique Englebert-Lecomte

Comment éduquer aux pratiques interdisciplinaires indispensables dans notre société scientifico-technique ? Cet article propose une procédure de travail interdisciplinaire applicable à la fois dans la pratique et dans l'enseignement. Cette structure épistémologique peut servir de modèle à des applications didactiques.

L'article commence par évoquer les difficultés de l'enseignement scientifique disciplinaire ; puis il dénonce le risque de l'enseignement par thèmes ou par amalgame en insistant sur l'enracinement du travail interdisciplinaire. Celui-ci implique une situation, un projet, des producteurs et des destinataires, lesquels fonderont les critères permettant de sélectionner et de "clôturer" les contenus de l'"îlot de rationalité" qui sera construit.

Les étapes du processus sont présentées à travers deux cas. Le premier, lié à une technique, peut s'étudier dans des contextes soit professionnel, soit scolaire. Le second vise une alimentation permettant de garder "la ligne" ; il est plus directement dirigé vers des élèves.

dépasser un
enseignement
fragmenté

La nécessité de l'interdisciplinarité est devenue une quasi évidence dans notre société où la spécialisation est la règle : il n'est pratiquement aucun problème concret qui puisse recevoir une solution appropriée sans faire appel à diverses spécialités et à divers spécialistes. Face à ce besoin social, on peut se demander quand et où on éduque les jeunes au bon usage des spécialistes (cf Fourez, 1992d). Depuis quelques années, des auteurs ont suggéré de dépasser un enseignement trop fragmenté et de promouvoir le travail interdisciplinaire (1). L'ensemble de ces questions rejoint divers doutes quant aux succès des formations scientifiques classiques. Certains, comme K. Morgan, dans son rapport au Forum 2000+ à l'Unesco, vont jusqu'à évoquer "le manque de pertinence du modèle de l'éducation scientifique classique pour beaucoup d'élèves" (2). Diverses revues suivent de près ce mouvement (3).

deux courants
dans la pensée
scientifique

Par ailleurs, la formation des enseignants ne comporte que rarement une initiation au travail interdisciplinaire. Ce sont les disciplines qui sont valorisées à l'université, et même dans certaines écoles normales. Cette situation n'est sans doute pas étrangère aux hésitations, voire aux résistances de beaucoup dès qu'il s'agit de sortir de leur spécialité. Des deux courants de la pensée scientifique qui se sont développés à partir du XIXe siècle, les sciences disciplinaires et