

CE QUE LE PROFESSEUR PRÉVOIT, ...CE QUI SE PASSE RÉELLEMENT

Marie Sauvageot-Skibine

Si on analyse les productions des élèves correspondant à une séquence de classe, on découvre des parcours différents de celui qui était prévu par l'enseignant. Ce qu'il prévoit n'est pas ce qui se passe réellement. De plus les élèves n'arrivent pas tous là où on souhaiterait les trouver après la leçon. On a alors tendance à conclure à l'échec des élèves et de l'enseignement. Alors que si on regarde plus précisément d'où ils partent et où ils arrivent, si on se donne les moyens d'analyser leurs parcours, on trouve des progrès là où on concluait trop vite à des non-réussites, peut-être parce qu'on ne s'attendait qu'à une seule façon de construire la notion visée et à une seule ligne d'arrivée.

Chaque enseignant sait que les élèves n'en sont pas au même point, ni avant la leçon, ni après la leçon. Mais pour préparer son cours, il est bien obligé de choisir un point de départ. Le plus souvent il suppose connus, comme dans les manuels, "les acquis des classes précédentes" et prévoit des activités lui paraissant susceptibles de permettre l'apprentissage des nouvelles notions fixées par le programme. Les résultats obtenus sont alors très variables d'un élève à l'autre.

l'enseignant
construit
une séquence
centrée
sur l'obstacle

S'il essaie de prendre en compte le ou les obstacles identifiés à partir des représentations des élèves, son point de départ ne sera plus les acquis supposés d'un élève épistémique, mais l'état réel des connaissances des différents élèves. Il construit alors une séquence centrée sur l'obstacle choisi et vise le niveau de formulation du concept précisé par les programmes. On pourrait donc s'attendre à un cheminement logique en relation avec les représentations, et aux résultats prévus par la séquence. Or la recherche relatée ici montre qu'il n'en n'est rien.

Cette recherche (1) concerne des élèves de 11 ans (première année de collège) et des élèves de 15 ans (première année de lycée). Les lycéens interrogés n'ont pas eu, lorsqu'ils étaient au collège, les séances de biologie décrites ici pour la classe de Sixième. L'analyse des représentations des élèves de ces différents niveaux d'enseignement a montré la persistance

(1) Recherche ROOSA conduite à l'INRP : "Objectifs-Obstacles et Situations d'Apprentissage dans le champ conceptuel des transformations de la matière".

d'un obstacle concernant l'impossibilité d'envisager le dioxyde de carbone comme une nourriture des plantes chlorophylliennes. L'obstacle a été ciblé aux différents niveaux, des stratégies pédagogiques et didactiques ont été élaborées pour le fissurer et/ou le franchir, en essayant de centrer le scénario sur cet obstacle.

les élèves
ne sont pas là
où on les attend

Des niveaux de formulation divers ont été atteints par les élèves et analysés. Il nous a paru intéressant de mettre en relation le savoir enseigné par le professeur, tel que le prévoyait sa préparation (séquences préparées en équipe et testées dans plusieurs classes) et le savoir réellement construit par les élèves, tel qu'il a pu nous apparaître dans leurs copies et dessins en cours d'apprentissage. On s'apercevra, non seulement que tous les élèves n'en sont pas au même point en même temps, mais aussi qu'il existe une distance parfois très grande entre ce que l'enseignant suppose devoir se dérouler et ce qui se passe réellement. L'analyse des productions d'élèves de Sixième, les seules analysées ici, met en évidence six niveaux de formulation concernant le dioxyde de carbone (CO_2). Tous les élèves ont appris quelque chose, sauf un qui se cramponne à son idée, sur laquelle aucune des interventions n'a de prise. Les activités "leviers" susceptibles, du point de vue de l'enseignant, de faire changer les représentations ne fonctionnent pas toujours comme prévu, et ne correspondent pas forcément aux "moments-clés" mettant en évidence les changements réels au niveau des élèves.

les activités-
leviers sont
différentes des
moments-clés

Dans un premier temps, nous montrerons que les représentations présentes chez les élèves constituent un réseau qui emprisonne un obstacle et explique sa résistance. Nous présenterons ensuite le scénario de la séquence et les activités-leviers prévues par l'enseignant pour le franchir. L'analyse des productions d'élèves nous permettra de retracer le parcours de quelques élèves et de noter les formulations concernant le dioxyde de carbone écrites par eux en fin de séquence. Nous pourrons ainsi comparer les activités-leviers prévues par le scénario et les moments-clés réels où les avis changent, la formulation finale prévue par le scénario et les formulations réellement obtenues.

1. RÉSEAU DE REPRÉSENTATIONS ET OBSTACLES À LA COMPRÉHENSION DU RÔLE DU CO₂ DANS LA NUTRITION DES PLANTES VERTES

Pour recueillir les représentations des élèves, nous leur avons présenté un schéma de pied de tomate (voir annexe) avec la consigne suivante :

"Indique sur le schéma du pied de tomate, par des flèches et des légendes, comment la plante se nourrit (en rouge) et comment elle respire (en bleu)."

1.1. Les représentations ne prennent pas en compte le rôle des gaz

Nous avons recueilli les réponses des élèves dans une dizaine de classes de Sixième. Les enseignants concernés ont signalé que les autres années les élèves disaient les mêmes choses en ce qui concerne les plantes vertes. Ces représentations perdurent également jusqu'en Seconde. Tous les élèves n'ont pas donné, chacun, toutes ces réponses, mais l'ensemble est présent dans chaque classe. Ces opinions sont à mettre en relation avec la connaissance commune, la vie quotidienne et le bon sens admis par tous.

la logique des représentations

1 - *La plante se nourrit de terre.* Ne parle-t-on pas de terre nourricière, de terre riche ou pauvre ?

2 - *La plante se nourrit d'eau et de sels minéraux.* Ces notions ont été apprises à l'école primaire et confortées par la nécessité de l'arrosage des plantes d'appartement ou de l'irrigation des cultures.

3 - *La plante grandit naturellement, avec le temps.* Il suffit de regarder.

4 - *Un gaz qui sort est un déchet.* Des flatulences aux tuyaux d'échappement, les gaz sont perçus comme évacués parce que mauvais à la santé ou polluant l'environnement.

5 - *Le dioxyde de carbone est mauvais.* On est à Dijon, région viticole, et les élèves savent qu'on ne laisse pas descendre les chiens dans les caves, l'air n'y est pas bon pour eux puisque du dioxyde de carbone s'échappe des cuves.

6 - *Le dioxyde de carbone est rejeté par la plante, il ne faut pas mettre de plantes vertes dans les chambres à coucher, ni dans les chambres des malades.*

7 - *Le dioxyde de carbone est nocif parce que rejeté.*

8 - *L'oxygène est un bon gaz.* Tous les enfants savent qu'il est nécessaire à la vie de l'homme et produit par les plantes. Les forêts présentées comme le "poumon de la planète" ont fortement renforcé cette image.

9 - *L'oxygène est indispensable à l'homme.*

10 - *La plante est faite de solide, un gaz ou un liquide ne peuvent pas faire de solide.* Les élèves connaissent des solides, des liquides et des gaz, mais comme le concept de changement d'état n'est pas construit, ils n'imaginent pas que le même corps puisse se présenter sous les trois états.

11 - *Un gaz, qui entre ou qui sort d'un organisme, est respiratoire. Le lien entre les gaz et la respiration est très fort chez tous les élèves, c'est le souffle de la vie.*

12 - *Un gaz ne peut être une nourriture. Il est très vrai qu'on ne se nourrit pas de l'air du temps !*

13 - *Une nourriture, c'est solide ou liquide. Par comparaison avec l'alimentation humaine, les élèves ne peuvent imaginer une nourriture gazeuse.*

14 - *On ne peut pas fabriquer du vivant avec du non-vivant. Pour les élèves, les carnivores, les omnivores et les herbivores se nourrissent d'êtres vivants, en oubliant ou en méconnaissant que le sel nous est indispensable. Un raisonnement par analogie les empêche de penser à un autre modèle.*

les
représentations
en réseau
emprisonnent
l'obstacle

Ces représentations constituent un réseau, qui nous a conduits à identifier l'obstacle suivant, non formulé tel quel, puisqu'au contraire les phrases formulées par les élèves ne font pas apparaître les gaz :

les gaz ne sont pas de la matière

L'obstacle réside dans le fait que les élèves pensent que la plante verte se nourrit d'eau et de sels minéraux et que ça suffit. Pour eux il n'y a pas de problème à résoudre concernant la nutrition. C'est dans l'absence d'interrogations que réside l'obstacle. Quand ils sont amenés à chercher une autre nourriture, un gaz ne leur paraît pas convenir parce que pour eux, un aliment est solide ou liquide. Seuls les solides et liquides sont de la matière qu'on peut toucher, les gaz appartiennent à la catégorie gaz. De plus le dioxyde de carbone est un gaz perçu comme rejeté et nocif, il ne présente donc pas les caractéristiques d'un aliment qui avant tout doit être bon pour l'organisme qui l'ingère. L'obstacle est donc fortement enraciné.

1.2. Trois modes de pensée

Les conceptions qui ont permis de cerner cet obstacle, relèvent de trois modes de pensée, mal utilisés dans le cas présent mais fort utiles par ailleurs.

Lorsque les élèves affirment que, parce que le dioxyde de carbone est respiratoire, il ne peut être nutritif ou, qu'un gaz est un gaz pas un liquide ou un solide, ils croient que, si on appartient à une catégorie, on ne peut appartenir à une autre. Comme l'explique Brigitte Peterfalvi (2): *"La pensée catégorielle n'est pas en soi un obstacle. Elle est utile dans de nombreuses situations, mais elle peut avoir une fonction-obstacle, lorsqu'elle empêche de comprendre. C'est le cas lorsque les catégories sont réifiées ou considérées comme trop absolues, que les passages d'une catégorie à l'autre sont considérés comme impossibles (les gaz sont des gaz, les liquides des*

l'obstacle est lié
à une utilisation
inadéquate de
plusieurs modes
de pensée

(2) Brigitte PETERFALVI, document interne INRP.

liquides, et donc une même substance est soit l'un, soit l'autre, mais ne peut appartenir aux deux catégories)."

D'autres affirmations relèvent du primat de la perception où c'est ce que l'on voit qui compte. Les plantes poussent dans la terre, c'est bien sûr la majorité des cas qui s'offrent à nos yeux. La plante a besoin d'eau, l'expérience quotidienne, en classe, à la maison et dans la nature, le montre aisément. La plante grandit toute seule, que ce soit les arbres dans la nature ou les mauvaises herbes du jardin. Ce mode de raisonnement met sur le même pied la nécessité de l'eau qui est un réel besoin nutritif de la plante, la nécessité de la terre qui ne l'est pas et l'absence d'autres besoins qui ne sont pas apparents comme la pluie et la terre. Le dioxyde de carbone n'est jamais directement observable, sa présence est rendue visible grâce au trouble de l'eau de chaux, surtout quand il est rejeté.

La représentation des gaz par les élèves est fortement chargée de valeurs : l'oxygène est un bon gaz et le dioxyde de carbone est mauvais. Le bon gaz est le gaz utile à l'homme, et le mauvais celui qui lui est nocif. La plante est assimilée à l'être humain, et les gaz sont donc valorisés ou dévalorisés en fonction de lui.

Les représentations concernant le dioxyde de carbone relèvent donc de trois modes de pensée : le dioxyde de carbone ne peut pas être une nourriture pour les plantes parce qu'il est nocif (dévalorisation), uniquement respiratoire (pensée catégorielle), rejeté (primat de la perception : eau de chaux troublée).

1.3. Un obstacle constant, persistant et résistant

Nous sommes donc devant un obstacle polymorphe qui correspond à plusieurs modes de pensée, ce qui peut expliquer sa résistance. Elle est également renforcée, par le fait que cet obstacle est double : le réseau de représentations explique la vie quotidienne, l'expérience courante, il a une fonction positive. Mais de ce fait il empêche de poser le problème scientifique concernant la nutrition des plantes vertes, puisque apparemment il apporte des réponses : il a donc aussi une fonction négative. Cet obstacle, prisonnier des mailles d'un réseau, polymorphe quant aux modes de pensée qui lui ont donné naissance, n'est pas, comme le dit Michel Fabre (3), "*contrairement à ce que suggère l'étymologie (obstare : se tenir devant), ce contre quoi viendrait "buter" la pensée, mais il est dans la pensée elle-même, dans les mots, l'expérience quotidienne, l'inconscient...*"

Cet obstacle constant chez les élèves au fil des années, persistant du Primaire à l'âge adulte, est résistant à l'enseignement habituel. C'est donc ce qui nous a poussés à essayer de trouver un nouveau type de séquence centrée sur cet obstacle.

les modes
de pensée
expliquent
la résistance
de l'obstacle

(3) Michel FABRE. *Bachelard éducateur*. Paris. PUF. 1995.

1.4. L'obstacle se présente différemment aux différents niveaux d'enseignement

l'obstacle se présente différemment

Auparavant, il nous faut préciser comment se présente l'obstacle : "les gaz ne sont pas de la matière", aux différents niveaux d'enseignement. En effet, cet obstacle peut être formulé différemment, selon le concept scientifique envisagé (photosynthèse, réaction chimique, changement d'état...) et selon le niveau d'enseignement.

| Obstacle | Représentations des élèves de Sixième, à propos de la nutrition des plantes vertes | Représentations des élèves de Seconde, à propos de la nutrition des plantes vertes |
|-----------------------------------|--|--|
| Les gaz ne sont pas de la matière | Les plantes se nourrissent exclusivement par les racines, d'eau et de sels minéraux, puisés dans la terre. | La respiration des plantes est inverse de celle de l'homme : la plante respire du dioxyde de carbone et rejette de l'oxygène. Il existe des molécules d'eau, de dioxyde de carbone, de tomate... Chaque matière possède ses atomes et ses molécules. |

Précisons que les niveaux repérés ici à des niveaux de classes définis, peuvent se retrouver chez des élèves d'un autre niveau, selon l'hétérogénéité des classes.

En Sixième, l'obstacle pourrait être formulé : "un gaz ne peut pas être une nourriture". Ce qui fait obstacle en Sixième provient du fait que la nourriture n'est pensable par les élèves que comme solide ou liquide. Ils n'ont aucun exemple, aucune image rendant possible cette idée de gaz-nourriture. De plus l'idée d'aliment étant liée à un tuyau, certains élèves font une analogie entre la bouche, l'œsophage de l'homme, et les racines de la plante, qui pourraient présenter à leur extrémité un orifice permettant l'ingestion de l'eau et des sels minéraux.

En Seconde, l'obstacle pourrait s'écrire : "un gaz ne peut être que respiratoire". Puisque du dioxyde de carbone entre dans la plante et que c'est un gaz respiratoire, la plante respire à l'envers. L'obstacle rencontré en Sixième persiste, et empêche de relier le dioxyde de carbone à la nutrition, puisqu'un gaz ne peut être que respiratoire.

Cet obstacle ainsi formulé a permis de choisir un objectif-obstacle (4) formulé différemment selon les classes. Le concept visé : "les gaz sont de la matière" nous a amenés à écrire comme objectif-obstacle en Sixième : "le dioxyde de

(4) Jean-Pierre ASTOLFI et Brigitte PETERFALVI. "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, 16, 1993.

carbone est un besoin nutritif des plantes vertes”, en Seconde : “le dioxyde de carbone est une nourriture gazeuse qui participe à la fabrication de la chair de tomate”.

2. UNE SÉQUENCE CENTRÉE SUR UN OBSTACLE

Une séquence centrée sur les obstacles identifiés plus haut a donc été élaborée. Qu'est-ce qu'une séquence centrée sur un obstacle ?

2.1. Les principes

construire
la séquence
en remplissant
un tableau

Pour bâtir la séquence nous avons, au cours de la recherche, construit un tableau nous permettant de mettre en relation le concept en jeu, le projet didactique de travail sur l'obstacle, l'activité pédagogique et l'activité intellectuelle supposée de l'élève.

Nous donnerons à titre d'illustration, le détail de ce tableau pour l'une des étapes du scénario.

| Concept | Projet didactique de travail sur l'obstacle | Activité pédagogique | Activité intellectuelle supposée de l'élève |
|--|--|---|--|
| Quels sont les échanges de substances existant entre la plante et son milieu ? | Repérage de l'obstacle à travers l'expression des représentations des élèves sur la nutrition des plantes vertes | Distribution d'un schéma à compléter, pour permettre l'expression individuelle de représentations sur la nutrition des plantes vertes, afin de repérer l'obstacle | Rechercher dans les connaissances antérieures et le quotidien comment se nourrissent les plantes vertes, et les mobiliser à propos du schéma du pied de tomate |

Nous avons cherché à mettre l'élève dans une situation qui ferait fonctionner ses représentations, mais aussi qui les mettrait en difficulté par rapport à différentes confrontations, essayant ainsi de provoquer un conflit, source d'une nouvelle construction. Éprouver les représentations des élèves, après les avoir fait s'exprimer et se confronter entre elles et à des résultats scientifiques, sera le guide de notre scénario. Puisque tous les élèves croyaient à la terre nourricière, nous nous sommes tournés vers les cultures hors-sol. Certaines expériences conduites par l'INRA présentaient l'avantage de porter sur une variation du taux de dioxyde de carbone, les résultats obtenus étant disponibles.

le scénario
de la séquence

2.2. Le déroulement

Pour les classes de Sixième (5), après plusieurs essais, nous sommes arrivés au scénario pédagogique suivant, dont les différentes étapes ont été numérotées, par souci de clarté.

1 - Expression des représentations sur les besoins nutritifs d'une plante verte à l'aide d'un schéma de pied de tomate. Mobilisation des connaissances sur la respiration des plantes vertes vue précédemment.

Mise en évidence des entrées et des sorties, classement de ces entrées et de ces sorties dans un tableau, justification de ce classement par un texte individuel.

2 - Expression et confrontation des représentations de tous les élèves, en groupe classe.

3 - Validation des représentations à l'aide d'expériences imaginées par les élèves en groupes. Préviation des résultats.

4 - Analyse critique collective des propositions d'expériences, en fonction de trois critères : présence d'un témoin, variation d'un seul facteur, montage réalisable.

5 - Réalisation par les élèves, des expériences retenues. Proposition par le professeur d'autres expériences. Observation des résultats, par des groupes passant d'une expérience à l'autre. Confrontation et interprétation des résultats.

Mobilisation du "critère nutritif" correspondant à une augmentation de masse, construit précédemment au cours des leçons sur l'alimentation animale, pour discuter et valider les résultats.

6 - Conclusion rédigée dans le classeur : *"l'eau et les sels minéraux sont des nourritures pour la plante verte"*.

Cette première partie de la séquence a pour objectif de consolider les connaissances sur la nécessité de l'eau et des sels minéraux comme besoins nutritifs des plantes vertes. Elle va conforter les représentations des élèves. La seconde partie va essayer de fissurer l'obstacle, en montrant que c'est insuffisant.

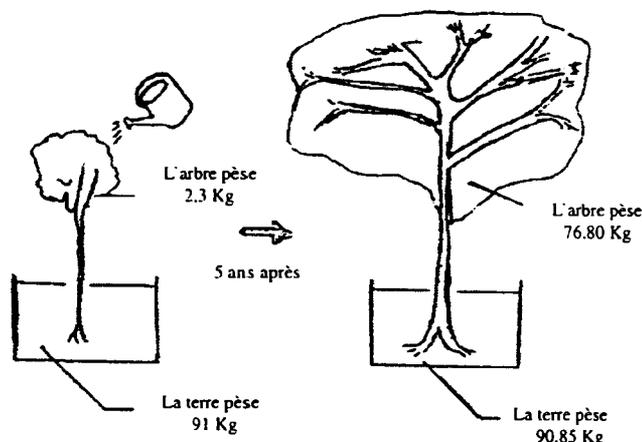
7 - Mise en évidence de la nécessité d'une autre nourriture pour la plante verte, à l'aide de l'expérience de Van Helmont. Émission d'hypothèses sur l'origine et la nature de ce besoin nutritif complémentaire. Confrontation dans le groupe-classe des différentes hypothèses.

(5) Dans les classes de Françoise Garot, Dominique Jassey et Thierry Philippe.

élèves confrontés
à l'expérience
de Van Helmont

Document 1. Expérience d'un scientifique du XVII^e siècle

Un jeune arbre est planté dans un pot contenant de la terre. L'arbre et la terre sont alors pesés séparément. Pendant cinq années, il arrose l'arbre avec de l'eau déminéralisée. Puis, il arrache l'arbre. Il pèse à nouveau l'arbre et la terre. Voici les résultats indiqués dans les petits schémas ci-dessous.



En 5 ans, la masse de l'arbre a augmenté de :

En 5 ans, la masse de la terre a diminué de :

1 - Pendant ces 5 années, l'arbre s'est-il nourri ? Justifiez votre réponse.

2 - Utilisez vos connaissances pour nommer les aliments qui ont été fournis par la terre à l'arbre :

3 - Comparez la masse perdue par la terre à celle gagnée par l'arbre.

4 - D'après ces résultats, indiquez quels sont les autres aliments qui ont permis cette augmentation de masse de l'arbre.

La troisième partie va apporter des résultats scientifiques quant au dioxyde de carbone, nourriture des plantes vertes. Elle a pour but d'aider l'élève à (re)construire le concept, en mettant en place un nouveau mode de pensée.

8 - Prévision du taux du dioxyde de carbone nécessaire, pour obtenir une croissance plus rapide et plus importante de tomates pour l'INRA.

Document 2. L'INRA et la culture de tomates

L'INRA cherche à obtenir les plus grosses tomates, le plus vite possible, pour les mettre sur le marché avant tout le monde. Pour cela, on peut régler la quantité de dioxyde de carbone présente dans la serre (les autres facteurs : température, lumière, eau, sels minéraux ne changent pas). On suspend en janvier, dans une serre "hors sol", des plantules de tomates

élèves
questionnés sur
le taux de CO₂
souhaitable
pour la culture
des tomates

dont les racines plongent dans un liquide nutritif (eau et sels minéraux à volonté). La quantité de dioxyde de carbone dans l'air de cette serre est régulée par ordinateur de 3 façons possibles :

- 0,03 % de CO₂, teneur habituelle de l'air atmosphérique,
- une valeur supérieure à 0,03 % de CO₂,
- une valeur inférieure à 0,03 % de CO₂.

Que prévois-tu ?

Quelle quantité de dioxyde de carbone doit être présente dans l'air de la serre pour que les tomates grossissent plus et plus vite ? Justifie ta réponse.

Confrontation entre élèves, nouvelles prévisions, confrontation avec la réalité scientifique.

Document 3. Que se passe-t-il réellement ?

D'après l'extrait du Mémento de fertilisation des cultures légumières. Jacky Odet. Ctifl. 1989. Chapitre : "Fertilisation carbonée" de Claude Wacquant

"L'enrichissement en CO₂ de l'air de la serre est particulièrement recommandé sur cultures précoces chauffées mises en place d'octobre à janvier, avec des taux d'enrichissement compris entre 0,06 % et 0,10 % de CO₂ dans l'air.

L'enrichissement après plantation a pour conséquences :

- une forte croissance et une amélioration de la formation des fruits ;
- une augmentation du nombre de fruits par bouquet ou augmentation du poids moyen et du calibre des fruits ;
- une amélioration des rendements en début de récolte et pendant plus d'un mois après l'arrêt de l'enrichissement."

Peux-tu dire ce que provoque l'augmentation de la quantité de gaz envoyé ?

9 - Construction du statut de "nourriture" pour le dioxyde de carbone en appliquant le critère nutritif utilisé pour l'eau et les sels minéraux.

10 - Synthèse des entrées et des sorties d'une plante verte qui se nourrit et qui respire. Identification du double statut du dioxyde de carbone. Confrontation.

11 - Expressions de ces nouvelles représentations, à l'aide du même schéma qu'en 1.

12 - Comparaison des résultats obtenus en 1 et en 11. Explicitation des différences et des points communs.

13 - Évaluation des connaissances, l'année suivante en Cinquième, demandant de commenter des phrases écrites par les élèves sur le statut du dioxyde de carbone chez les plantes vertes.

2.3. Les leviers

Quand nous avons construit cette séquence, nous avons prévu différentes activités pour les élèves, et en particulier celles qui nous ont semblé susceptibles de faire évoluer les représentations vers le concept scientifique ; nous les avons appelées activités-leviers.

une information
scientifique
est donnée
aux élèves

Les activités-leviers de ce scénario, c'est-à-dire capables de déstabiliser l'élève par une confrontation soit avec le groupe classe soit avec des résultats scientifiques, capables de lui donner envie de chercher une autre réponse que celle qu'il avait jusqu'alors, sont celles qui correspondent aux numéros 2, 7, 8, et 10. En quoi sont-elles leviers ?

- **Activité 2 : Confrontation des représentations dans le groupe-classe**

activités prévues
par l'enseignant
pour faire évoluer
les
représentations

Cette activité devrait permettre aux élèves d'expliciter leurs représentations, d'argumenter, de prendre conscience de l'existence de plusieurs systèmes explicatifs, de confronter leurs points de vue à ceux des autres, et de garder, de modifier ou de changer d'opinion, mais dans tous les cas d'être un peu déstabilisés par les autres, donc plus réceptifs et plus engagés pour la suite de la séquence. Cette activité permet aussi de mobiliser leurs explications personnelles pour que ce soit bien la pensée personnelle des élèves et non un savoir scolaire extérieur qui soit mis en jeu et questionné.

- **Activité 7 : Interprétation des résultats de l'expérience de Van Helmont**

Cette activité est perçue avant la séance comme déclenchante car elle devrait mettre en évidence que l'eau et les sels minéraux ne suffisent pas pour justifier l'augmentation de masse du saule, donc de "couler les fondations" de l'idée de la nécessité d'une autre nourriture prise dans l'air.

- **Activité 8 : Préviation du taux de CO₂ et confrontation avec les résultats scientifiques**

La préviation du taux de dioxyde de carbone nécessaire à une croissance plus rapide et à une production plus abondante de tomates permet de faire exprimer les représentations des élèves à propos de ce gaz. La confrontation de ces différents points de vue entre eux, puis à la réalité, est déstabilisante. Cette activité montre qu'on obtient plus de tomates, plus grosses, avec plus de dioxyde de carbone, ce qui est exactement l'inverse de ce que croit la majorité des élèves. Comme les élèves ne mettent pas en cause des résultats dits scientifiques, ils sont obligés de construire de nouvelles connaissances pour en tenir compte.

- **Activité 10 : Identification du double statut du dioxyde de carbone**

Les élèves ont avant la leçon l'idée que le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire nocif donc rejeté. Cette leçon vise à leur faire construire l'idée que ce gaz est une nourriture entrant dans la plante. L'activité 10 devrait permettre de préciser les deux fonctions et de souligner que ce gaz a deux statuts, idée très dérangeante car il entre et il sort, il participe à la respiration et à la nutrition. De plus ce gaz réputé "mauvais" se révèle être une nourriture de la plante, idée très difficile à accepter. Cette activité récapitulative a aussi pour objectif de prendre conscience de ce qu'on pensait à propos de ce gaz.

| Étapes du scénario | Parcours supposé dans la préparation | Parcours de Pierre-Yves |
|---|--|---|
| Activité 2 : à partir du schéma à compléter | La plante verte se nourrit d'eau et de sels minéraux puisés dans la terre. La plante verte respire de l'oxygène et rejette du dioxyde de carbone nocif. | Aucune entrée alimentaire. Gaz respiratoires correctement placés. <i>"Les gaz ça sert à respirer."</i> |
| Activité 7 : expérience de Van Helmont | La plante verte ne peut pas fabriquer sa matière uniquement avec de l'eau et des sels minéraux. Nécessité d'une autre nourriture puisée dans l'air. | <i>"Le saule fait sa propre nourriture, ça peut pas être les gaz qui nourrissent l'arbre, les gaz c'est pour respirer, ça sert pas à se nourrir."</i> |
| Activité 8 : culture de tomates prévisions | 0,03 % de dioxyde de carbone (ou moins) permettra la meilleure croissance car ce gaz est nocif pour la plante | <i>"Il faut diminuer le CO₂, le CO₂ n'est pas une nourriture pour la plante."</i> |
| après discussion | Déstabilisation, certains élèves disent qu'il faut moins de dioxyde de carbone, d'autres plus, d'autres autant. | <i>"Il ne lui faut pas plus de CO₂ car ce n'est pas une nourriture pour la plante."</i> |
| après confrontation aux résultats scientifiques | Il faut plus de dioxyde de carbone, pour obtenir plus de tomates plus grosses. | <i>"Le CO₂ est le gaz que rejette la plante et non qu'elle absorbe."</i> Il écrit la correction sur son cahier. |
| Activité 10 : synthèse des entrées et des sorties | Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire sortant et un gaz nutritif entrant. | Double statut constaté : <i>"Ce n'est pas possible que le CO₂ soit nourriture et respiratoire."</i> |
| Activité 11 : reprise du schéma à compléter | De l'oxygène, du dioxyde de carbone, de l'eau et des sels minéraux entrent dans la plante ; du dioxyde de carbone, de l'eau et de l'oxygène en sortent. | Entrée d'eau et de sels minéraux comme nourriture. Gaz respiratoires bien placés. |
| Activité 13 : évaluation un an après | Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire et une nourriture. Le dioxyde de carbone est de la matière. Les gaz sont de la matière. | CO ₂ gaz respiratoire rejeté, eau et sels minéraux comme nourritures. Entrée d'O ₂ et de CO ₂ respiratoires. |

| Parcours d'Élodie | Parcours de Carole |
|--|---|
| <p>Entrée de sels minéraux. Gaz respiratoires correctement placés.</p> | <p>Entrée de sels minéraux. Gaz respiratoires correctement placés.</p> |
| <p><i>"Il faut très peu de sels minéraux pour grossir. Il se nourrit avec quelque chose qu'il fabrique lui-même."</i></p> | <p><i>"La terre contient d'autres aliments que les sels minéraux, nous on ne se nourrit pas avec les gaz qu'on respire."</i></p> |
| <p><i>"Plus de CO₂ car la tomate vivra moins donc grandira plus vite voulant trouver de l'O₂, ça l'obligera à grossir."</i></p> | <p><i>"Il faut augmenter le CO₂ car ça doit faire grossir la tomate donc la rendre plus volumineuse, car les plantes respirent donc elles prennent du gaz."</i></p> |
| <p><i>"Si CO₂ était réellement une nourriture pour la plante, pourquoi le rejetterait-elle ? Il faut diminuer la quantité de CO₂ dans l'air pour trouver autre chose."</i></p> | <p><i>"Oui et non, car je pense que la plante peut se nourrir de CO₂, mais en même temps que le CO₂ est un gaz toxique, car elle le rejette, donc elle n'en veut pas ou elle puise quelque chose dedans."</i></p> |
| <p><i>Le CO₂ est une nourriture</i> (application du critère : augmentation de masse).</p> | <p><i>"Je pense que le CO₂ apporte un gaz dont la plante a besoin et qu'elle puise avant de le rejeter, donc de la nourriture".</i></p> |
| <p>Double statut constaté. <i>"Je ne pense pas que ce soit possible ce n'est pas palpable et c'est invisible or je croyais qu'une nourriture devait être palpable et visible, mais je me rends compte que ce n'est pas obligatoire ça me paraît quand même bizarre parce que si elle rejette pour respirer pourquoi elle garderait pas pour sa nourriture ?"</i></p> | <p>Double statut constaté. <i>"Cela ne me semble pas possible car nous les hommes on peut pas se nourrir de gaz"</i></p> |
| <p>Entrée d'eau, de sels minéraux et de CO₂ comme nourritures. Gaz respiratoires correctement placés. <i>"je me demandais pourquoi elle le rejetait pour le reprendre, après avoir réfléchi, je trouve cela logique car le conduit nourriture et le conduit respiration n'est pas le même."</i></p> | <p>Entrée d'eau, de sels minéraux et de CO₂ comme nourritures.</p> |
| <p>CO₂ nourriture et respiratoire.</p> | <p>CO₂ nourriture et respiratoire. CO₂ nocif, il est rejeté.</p> |

3. TROIS PARCOURS D'ÉLÈVES

parcours supposé
par l'enseignant
et parcours réels
d'élèves

Ces activités ont-elles fonctionné comme prévu ?

Le tableau qui précède essaie de montrer le parcours supposé par l'enseignant, en parallèle avec trois parcours d'élèves choisis pour leurs différences : celui de Pierre-Yves, seul élève à ne pas avoir changé d'idée, et ceux d'Élodie et de Carole qui ont changé d'avis, mais pas là où on s'y attendait, ni avec les arguments prévus.

3.1. Activités-leviers et moments-clés

les activités-
leviers ne
correspondent
pas toujours aux
moments clés

Si on compare les activités-leviers et les moments-clés correspondant à ces trois élèves, on s'aperçoit qu'aucune activité n'entraîne de changement chez Pierre-Yves. On peut penser qu'un obstacle d'ordre psychologique l'empêche de changer d'avis de façon générale, pour ne pas être déstabilisé. Il a une certitude et s'y cramponne.

L'activité 7 amène bien Élodie à penser qu'autre chose que l'eau et les sels minéraux est nécessaire pour nourrir la plante verte. Mais comme elle refuse qu'un gaz puisse être une nourriture elle avance l'idée que la plante fabrique quelque chose par ailleurs, solide ou liquide, qui puisse être une nourriture.

Les prévisions demandées par l'activité 8 l'amènent à proposer plus de dioxyde de carbone, mais pas avec l'idée que plus de dioxyde de carbone signifie plus de carbone, donc plus de matière-plante. Pour elle l'apport excédentaire d'un gaz nocif va placer la plante dans des conditions défavorables, ce qui l'obligera à réagir, à grossir pour survivre. La confrontation avec les autres élèves l'amène à discuter l'argument "dioxyde de carbone nourriture". Elle bute sur le fait que la plante rejeterait ce qui serait bon pour elle ! Ca ne lui paraît pas possible, elle arrive donc à la conclusion qu'il faut trouver une autre nourriture. Mais le verdict scientifique, verdict qu'elle ne peut refuser, tombe : le dioxyde de carbone permet d'obtenir plus de tomates et des tomates plus grosses, donc le dioxyde de carbone est une nourriture. D'accord...mais, dit-elle. Elle admet, avec surprise, que la nourriture peut ne pas être palpable, mais dans ce cas, pourquoi la rejeter au lieu de la garder ? C'est au cours de l'activité 11 que se situe le moment-clé pour cette élève. Elle trouve, seule, un argument qui lui permet d'accepter ce qu'on lui dit : le conduit nourriture et le conduit respiratoire n'étant pas les mêmes, le dioxyde de carbone est obligé d'entrer et de sortir plutôt que de rester à l'intérieur. En définitive, elle accepte que le dioxyde de carbone soit un gaz respiratoire et nutritif, et, après un parcours très personnel, arrive à la conclusion souhaitée par le professeur.

pourquoi rejeter
ce qui est bon ?

Quant à Carole, elle accepte avec Van Helmont qu'autre chose que l'eau et les sels minéraux soit nécessaire à l'alimentation de la plante. Mais comme elle refuse que le gaz

le CO₂ n'est pas
une nourriture
mais il en
contient

soit une nourriture, elle doit chercher l'origine d'une autre nourriture. Elle ne pense pas qu'elle puisse venir de l'air ni de la plante, donc elle cherche quelque chose présent dans la terre autre que les sels minéraux.

Les prévisions demandées par l'activité 8 lui font augmenter le dioxyde de carbone, mais elle pense qu'il fera "gonfler" la tomate. Les résultats scientifiques étant incontestables, il lui faut bien accepter qu'une augmentation de dioxyde de carbone entraîne une augmentation de la taille et du nombre de tomates. Comment concilier cette affirmation avec son refus du dioxyde de carbone nourriture ? Par comparaison avec l'alimentation humaine, elle affirme que le dioxyde de carbone n'est pas une nourriture mais qu'il peut contenir quelque chose qui pourrait en être une.

À la fin de la leçon, elle dira que le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire et nutritif, mais persiste dans l'idée qu'il est nocif et rejeté. On peut penser qu'elle ne sera convaincue que lorsqu'elle arrivera à considérer les plantes comme un groupe à part entière, sans référence à l'homme.

une stratégie
pour ne pas
abandonner ses
représentations

En essayant de comprendre comment les élèves apprennent, on s'aperçoit qu'ils cherchent à concilier ce à quoi ils croient avec ce que le professeur ou ce que l'expérience dit. Ils n'abandonnent pas brutalement leurs idées. Dans une réaction qu'on pourrait qualifier de défense et de bonne santé, ils essaient de trouver une formulation qui ne refuse ni l'un ni l'autre.

Carole :

le dioxyde de carbone ne peut pas être une nourriture,
(représentation)

le dioxyde de carbone est une nourriture,
(résultats scientifiques)

▼
*le dioxyde de carbone renferme quelque chose qui peut être
une nourriture.*

Élodie :

*Le dioxyde de carbone est nocif pour la plante donc rejeté,
le dioxyde de carbone est une nourriture donc bonne
pour elle et entrant dans la plante,*

▼
*le conduit nourriture et le conduit respiratoire ne sont pas
les mêmes.*

(peut-être sur le modèle des eaux propres et des eaux usées ?)

3.2. Ce qui leur fait changer d'avis

Ces analyses se révèlent très riches d'enseignement sur le fonctionnement des élèves. Cette attitude "conciliatrice" d'idées mêmes opposées n'est pas la seule rencontrée. L'étude des parcours de tous les élèves d'une classe a montré que plusieurs comportements étaient présents. On a pu remarquer que différentes choses étaient susceptibles de les faire changer d'avis. On peut citer le parcours d'Amina (6)

les leviers
sont différents
selon les élèves

(6) Relevé de Françoise Garot, enseignante dans cette classe.

qui accepte dès le début le fait que le dioxyde de carbone soit un aliment, mais qui abandonnera son idée au cours du travail, sous la pression trop forte du groupe.

| | Amina |
|--|--|
| Expression des représentations et confrontation | Entrées d'eau, de vitamines et de terre, gaz respiratoires correctement placés. <i>"Tout ce qui est bon ça se dissout, autrement ça ressort, les gaz c'est de l'air pour lui permettre de respirer, mais ça peut être aussi une nourriture, comme dans une boisson gazeuse, il y a du gaz."</i> |
| Interprétation de l'expérience de Van Helmont, puis confrontation | <i>"C'est l'eau de pluie qui a produit son augmentation de matière. Je sais que l'arbre fabrique sa nourriture donc l'eau de pluie + les sels minéraux ça justifie son augmentation de matière."</i> |

Quant à Sébastien la discussion ne le fait pas changer d'avis, mais l'apport de résultats scientifiques est pour lui décisif

| | Sébastien |
|---|--|
| Prévisions pour la culture des tomates | <i>"Moins de CO₂ car peut-être qu'elle aura plus d'O₂, peut-être qu'elle se sentira mieux avec encore moins de CO₂."</i> |
| Après discussion | <i>"Je crois que si on change rien pour le CO₂ les tomates resteront normales et si on rajoute du CO₂ je pense que ça ne fera rien car je ne pense pas que le CO₂ soit une nourriture."</i> |
| Après résultats scientifiques | <i>"Le CO₂ est une nourriture car il apporte une augmentation de masse."</i> |

Les processus utilisés par les élèves se révèlent très différents d'un élève à l'autre. Malgré ou à cause de cette diversité, chacun arrive en fin d'apprentissage à des formulations concernant le statut du dioxyde de carbone.

3.3. Six formulations différentes

six formulations finales en 6°

Le recensement des réponses des élèves de Sixième par rapport au dioxyde de carbone permet de mettre en évidence six formulations différentes, toutes justes, mais plus ou moins élaborées.

- 1 - Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire qui est rejeté.
- 2 - Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte.
- 3 - Le dioxyde de carbone besoin nutritif de la plante verte, au même titre que la lumière, entre dans la plante.
- 4 - Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte, au même titre que l'eau et les sels minéraux.
- 5 - Le dioxyde de carbone entre et sert à la fabrication de la matière-plante avec l'eau et les sels minéraux.

6 - Le dioxyde de carbone est une nourriture et un gaz respiratoire (formulation souhaitée par l'enseignant à la fin de la séquence).

des progrès chez
presque tous
les élèves

Bien que tous les élèves n'aient pas atteint le niveau souhaité par l'enseignant et les programmes, on peut cependant noter de réels progrès chez les élèves proposant les autres formulations.

Essayons de préciser les progrès nécessaires au passage d'un niveau de formulation à un autre.

- **Niveau 1 : Le dioxyde de carbone est un gaz respiratoire qui est rejeté**

Le gaz est lié à la respiration et au rejet, le rejet à la nocivité. Le gaz est attaché à une catégorie étanche et exclusive d'une autre : il est respiratoire et ne peut être nutritif. Il est dévalorisé : ce qui est rejeté appartient aux déchets, à ce que le corps ne veut pas, n'a pas besoin, ou ce qui est mauvais pour lui. Rejet des toxines, de la sueur, des flatulences, des excréments... mais aussi images des tuyaux d'échappement, des cheminées, des conduites d'eau usée... Il est localisé dans l'air expiré, mis en évidence par le trouble de l'eau de chaux. Un gaz qui trouble ne peut être bon ! On retrouve ici les trois modes de pensée précédemment cités faisant obstacle à l'idée du dioxyde de carbone nourriture pour les plantes vertes.

- **Niveau 2 : Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte**

Progrès : Appartenir à deux catégories.

Envisager l'entrée du gaz dans la plante, alors qu'on ne le voit pas, peut apparaître comme un progrès par rapport à l'image de souffle rejeté vue précédemment. Il faut cependant penser que l'entrée de ce gaz peut être assimilée à celle du gaz inspiré de la respiration pulmonaire, ce qui ne constitue donc pas automatiquement un progrès.

Si ce gaz entre, il appartient alors à une autre catégorie de substances qui regroupe celles dont le corps a besoin (oxygène et aliments) et celles qui entrent dans le corps en provoquant des conséquences néfastes (microbes, poisons). Le caractère de nocivité n'est pas attaché uniquement aux substances rejetées, mais si tous les déchets sont perçus comme nocifs s'ils restent à l'intérieur, les substances entrant dans l'organisme peuvent avoir des conséquences soit heureuses, soit malheureuses.

- **Niveau 3 : Le dioxyde de carbone, besoin nutritif de la plante verte, au même titre que la lumière, entre dans la plante**

Progrès : Perte du caractère nocif, passage de la respiration à la nutrition.

du besoin
nutritif...

Le gaz est valorisé puisqu'il va permettre à la plante de vivre et de croître, d'augmenter de masse, de taille.

- **Niveau 4 : Le dioxyde de carbone entre dans la plante verte, au même titre que l'eau et les sels minéraux**

...à la
nourriture...

Le gaz dioxyde de carbone est vu comme nourriture, donc distingué du soleil, et rapproché de l'eau et des sels minéraux. Les élèves ayant atteint ce niveau de formulation sont capables de séparer deux types de besoins nutritifs, l'eau, les sels minéraux et le dioxyde de carbone qui constituent la nourriture de la plante, et le soleil, vu comme une source d'énergie. C'est le fait de rapprocher le dioxyde de carbone, des sels minéraux et de l'eau qui va permettre d'attribuer le caractère de nourriture au gaz, puisque l'eau et les sels minéraux en sont indiscutablement. Le critère nutritif commun à tous sera lié à l'augmentation de masse provoquée.

Progrès : Distinction de plusieurs catégories dans un même ensemble à l'aide de critères différents.

- **Niveau 5 : Le dioxyde de carbone entre et sert à la fabrication de la matière-plante avec l'eau et les sels minéraux**

On reconnaît au gaz un rôle supplémentaire, comme constituant de la matière.

Progrès : Le dioxyde de carbone identifié comme nourriture, par analogie avec d'autres aliments entrant dans l'organisme, acquiert un autre caractère qui renforce sa qualification.

...dont le rôle
se précise

Non seulement il entraîne une augmentation de masse, mais sa matière participe à la construction de la matière-plante.

- **Niveau 6 : Le dioxyde de carbone est une nourriture et un gaz respiratoire**

On quitte la pensée catégorielle pour envisager deux fonctions pour le même gaz, et même deux fonctions apparemment contradictoires.

Progrès : Abandon du mode de raisonnement un gaz/un rôle, du type un organe/une fonction, au profit d'un raisonnement plus élaboré.

À noter que la chronologie proposée ici n'est pas obligatoirement celle suivie par les élèves, ils peuvent admettre le double statut du dioxyde de carbone, sans avoir pour autant construit le critère de constituant de la matière, le critère augmentation de masse étant suffisant pour admettre le double statut.

Des progrès peuvent donc être réels, même si la formulation finale n'est pas celle qui est attendue.

CONCLUSION

Cette recherche nous aura apporté un regard nouveau sur les représentations qu'on ne verra plus isolément, mais dans un réseau qui constitue un ou plusieurs obstacles liés à une utilisation inadéquate de modes de pensée. Elle nous aura permis de caractériser l'obstacle étudié en comprenant mieux sa constance, sa persistance, et sa résistance.

c'est positif
même si ce n'est
pas ce qu'on
attendait

Cet obstacle nous a permis de définir un objectif-obstacle en le formulant différemment selon le niveau d'enseignement et selon le concept scientifique concerné. Construire des séquences centrées sur un obstacle nous a amenés à distinguer et à mettre en relation dans la préparation d'une séquence ce qui relève du concept, du travail sur l'obstacle, du pédagogique et de l'activité intellectuelle supposée de l'élève. Cette distinction s'est avérée très difficile car elle nous a obligés à préciser et à distinguer chacun de ces quatre domaines. L'étude des productions d'élèves permettant de cerner l'activité réelle des élèves a montré que les moments-clés, c'est-à-dire les changements réels des élèves, ne se trouvent pas tout à fait au même endroit ni au même moment que les activités-leviers prévues par le scénario pédagogique et didactique. Quant aux formulations finales elles sont plus diverses que celle souhaitée par le programme, souvent moins élaborées, mais elles sont cependant le résultat d'un vrai travail et montrent de réels progrès. La diversité des raisonnements mis en jeu par les élèves dans cette séquence nous apporte quelques réponses, même s'il reste beaucoup à découvrir, à la question : comment apprennent-ils ?

Marie SAUVAGEOT-SKIBINE
Service Culturel
de l'Ambassade de France
au Caire

ANNEXE

Indique sur le schéma du pied de tomate, par des flèches et des légendes, comment la plante se nourrit (en rouge) et comment elle respire (en bleu).

