

LES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

1- Démarche scientifique

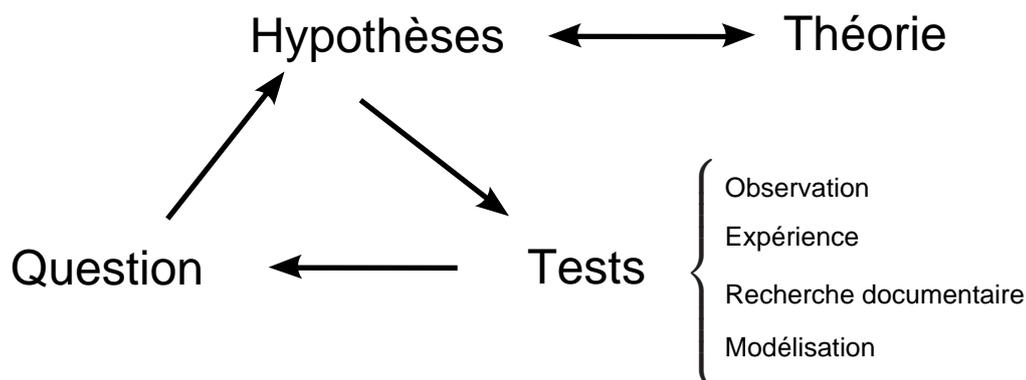
Si l'on regarde un coucher de Soleil par exemple, on ne fait pas de la science. C'est très beau, c'est romantique, le ciel est orange. On fait de la science si on se pose une question : pourquoi le ciel est orange ; pourquoi on peut regarder le soleil sans être ébloui et pourquoi le soleil est-il orange ; pourquoi met-il environ deux minutes pour se coucher ; pourquoi est-il ovale quand il se couche, allongé sur l'horizon. C'est en ce sens que la méthode OHERIC proposée par Giordan est déjà insuffisante. Il manque une question ou un problème. On retrouve ce fait dans un travail avec des enfants. Il est nécessaire avant toute activité de définir une situation problème claire et bien intégrée par les enfants.

La résolution du problème mène à la formulation d'hypothèses qui peuvent se structurer à l'intérieur d'une théorie menant à des développements mathématiques éventuels. Il reste à tester la vérité de ces hypothèses en imaginant leurs conséquences dans le cadre d'un phénomène qui peut-être nouveau, c'est-à-dire non étudié auparavant.

On peut tester les hypothèses par une expérience, une observation, une démarche de modélisation avec une maquette, en astronomie par exemple, ou avec les enfants, par une recherche documentaire ou une visite. En ce qui concerne l'expérience, en voici une définition pour la physique (dictionnaire de physique Richard Taillet de Boeck) : préparation d'un système dans un état bien défini, suivie d'une mesure sur le système, éventuellement après avoir laissé le système évoluer, afin d'étudier les propriétés de ce système.

Dans le cas du soleil couchant ovale, on peut faire l'hypothèse que c'est la réfraction atmosphérique qui soulève le soleil, et plus le bas du soleil que le haut. On test cette hypothèse par l'observation en constatant que le jour de l'équinoxe, le jour est un peu plus long, de quelques minutes, que la nuit.

Tout ceci est résumé dans le schéma ci-dessous :



Il faut beaucoup d'imagination et de créativité pour se poser des questions et trouver un problème. Ensuite, de nouveau, cela demande de la créativité d'imaginer des hypothèses, puis, de nouveau beaucoup d'imagination et de créativité pour inventer des tests des hypothèses. On voit à quel point la science moderne est éloignée de l'idéal positiviste : faits → théorie, d'une manière automatique, la théorie n'étant qu'une collection de faits, comme on collectionne des papillons. L'idéal est que les enfants trouvent par eux-mêmes les hypothèses et des tests de ces hypothèses. Ce n'est pas toujours possible. Ils doivent être beaucoup guidés par l'enseignant.

Il ne sert à rien de faire varier systématiquement un par un tous les paramètres d'une expérience, les autres restant constants, en voulant être rigoureux. La variation d'un paramètre considéré comme pertinent doit suivre l'émission d'une hypothèse sur l'influence de ce paramètre. Citons à ce sujet Thomas d'Aquin (Somme théologique, prima secundae, question 40, article 6), « Omnes stulti, et deliberatione non utentes, omnia tentant », qui signifie : « Tous les sots, et ceux qui ne réfléchissent pas, essaient tout ». D'où a été tirée la réplique culte du film Les Tontons flingueurs : « Les cons, ça ose tout, c'est même à ça qu'on les reconnaît ».

2- La science est falsifiable

Le terme falsifiable a été inventé par le philosophe Karl Popper. Il signifie pour les sciences empiriques (qui ont un rapport avec la nature) : réfutable par une expérience. On ne peut pas prouver la vérité d'une théorie par l'expérience, on peut simplement prouver sa fausseté. Prenons l'exemple d'une théorie météorologique qui prévoit que le lendemain il fera grand beau avec pas un nuage dans le ciel. Si le lendemain il fait effectivement très beau, cela peut être un hasard. Par contre si le lendemain il pleut à torrent toute la journée, il est prouvé qu'il y a une erreur, sans qu'on sache où se situe cette erreur. Est-ce dans les mesures initiales, ou dans la théorie, ou dans les calculs ou dans le fonctionnement de l'ordinateur ? L'origine de cette erreur peut être longue à trouver. Par contre si à chaque fois que la théorie prévoit du beau temps il fait beau, on finira par avoir de plus en plus confiance en la théorie sans que ce soit quantifiable. Notons qu'une fois qu'une théorie est bien établie, on a une grande confiance en elle, et si une expérience la contredit, on cherchera très longtemps pour trouver l'erreur dans l'expérience. Tel fut le cas pour l'expérience qui affirmait que les neutrinos allaient plus vite que la lumière en contradiction avec la relativité d'Einstein. On finit par trouver l'erreur dans l'expérience.

Une théorie est scientifique si elle est falsifiable. En ce sens l'astrologie n'est pas une science par exemple, car elle donne des prédictions trop peu précises pour pouvoir être falsifiée.

Donnons un exemple de confiance qu'on peut avoir dans une théorie : le 11 août 1999, je suis allé voir avec des amis l'éclipse totale de Soleil à Saint-Pierre-en-Port près de Fécamp. Grâce à une carte, j'ai mesuré au double décimètre, avec une règle de 3 la latitude et la longitude du lieu. Ensuite, un site internet donnait en fonction de la latitude et de la longitude, le début et la fin de la totalité à la seconde près. J'ai un réveil radio piloté par une horloge atomique en Allemagne qui donne l'heure à la seconde près. Il se met à l'heure automatiquement. Je l'ai mis à sonner 10 seconde avant la fin de l'éclipse. Il sonnait un bip par seconde, et quand il s'est mis à sonner, j'ai dit : 10, 9, 8 etc. À 0, le Soleil est réapparu pile. Un ami regardait avec un télescope sans filtre les protubérances et la couronne solaire. Si le Soleil réapparaissait pendant qu'il regardait, il devenait instantanément aveugle de cet œil. Il a enlevé son œil télescope quand je comptais 4, donc 4 secondes avant la réapparition du Soleil. Une erreur et il perdait son œil. Dans un tel cas il fallait ensuite trouver l'erreur dans toute la chaîne : théorie astronomique, données du site internet, calcul avec les cartes de la latitude et longitude, fonctionnement correct ou non de mon réveil et de l'horloge atomique en Allemagne. Le fait que le Soleil réapparaisse à la seconde près prévue nous donne l'intime conviction que tout est bon. Mais ce n'est pas une preuve. En effet, au niveau de la logique :

Théorie \Rightarrow fait expérimentale \Leftrightarrow expérience en désaccord avec la théorie \Rightarrow théorie fausse

En effet, en logique : $A \Rightarrow B \Leftrightarrow \text{non } B \Rightarrow \text{non } A$.

Une succession de méthodes utilisées par les enseignants

Comme nous venons de le voir, l'enseignement des sciences a connu moult modifications, dans le fond comme dans la forme. Dès les années 1970, la volonté de développer l'attitude scientifique des élèves pousse les enseignants à s'inspirer de ce qu'ils pensent savoir du travail des scientifiques. Ils transposent un certain nombre d'éléments qui le caractérise. On voit alors apparaître dans les classes une succession de méthodes. Vous trouverez ci-après les principales d'entre elles.

Dans sa thèse, en 1976, André Giordan caricature la démarche de l'enseignement des sciences en s'inspirant de la méthode expérimentale exposée par Claude Bernard. Il lui attribue alors l'acronyme **OHERIC** (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion). Giordan souhaite alors dénoncer la démarche très linéaire de cet enseignement. Paradoxalement, la démarche **OHERIC** deviendra un modèle suivi par la plupart des enseignants du secondaire jusqu'aux instructions du BO HS n° 3 du 28 août 2008.

En 1992, Pierre Clément propose le modèle **THEORIC** afin de mieux décrire la démarche des chercheurs qui ne débute pas leurs travaux sur de simples observations mais qui reprennent la Théorie et les Hypothèses admises au moment de leurs travaux. Celles-ci précèdent toujours une Expérimentation et/ou une Observation suivie de leurs Résultats, leur Interprétation et Conclusion.

En 1998, Philippe Brunet complète la démarche **OHERIC** en ajoutant un P comme « Problème » et crée l'acronyme **OPHERIC**. Il redonne alors une place importante au problème, cher aux deux philosophes Dewey et Bachelard qui s'accordent à penser qu'il est indispensable, pour former l'esprit scientifique, d'apprendre à construire des problèmes et pas seulement à les résoudre. « L'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique⁶. » Mais qu'est-ce qu'un **problème** ? Étymologiquement, ce mot vient du grec *problema* qui signifie : « ce qui est jeté devant, ce qui empêche d'avancer, ce qui est saillant ». « Le problème est donc ce qui anime le projet (l'énigme), mais aussi ce qui le tient en échec (l'obstacle) ou encore ce qui le met en concurrence avec d'autres projets (la controverse, la compétition) » selon Fabre⁷.

En 2002, Jean-Yves Cariou (chercheur en didactique des sciences) souligne l'importance des allers et retours entre les différentes étapes et mêle l'idée de Pierre Clément à celle d'André Giordan et de Gérard de Vecchi⁸ qui insistent sur l'importance de la prise en compte des représentations ou plutôt des **conceptions initiales** des élèves (voir p. 20). Cette notion a été proposée par Émile Durkheim⁹ et reprise notamment par Bachelard qui écrit : « l'élève arrive en classe avec des connaissances empiriques déjà constituées ».

La démarche hypothético-déductive qu'il préconise alors est nommée **DiPHTeRIC**. Elle est composée de :

- une problématisation : **Di** (Données initiales : les faits, les observations, les représentations initiales et les acquis des élèves) suivie de l'émergence du Problème scientifique ;

6. BACHELARD G.,
*La Formation
de l'esprit
scientifique*,
op. cit.

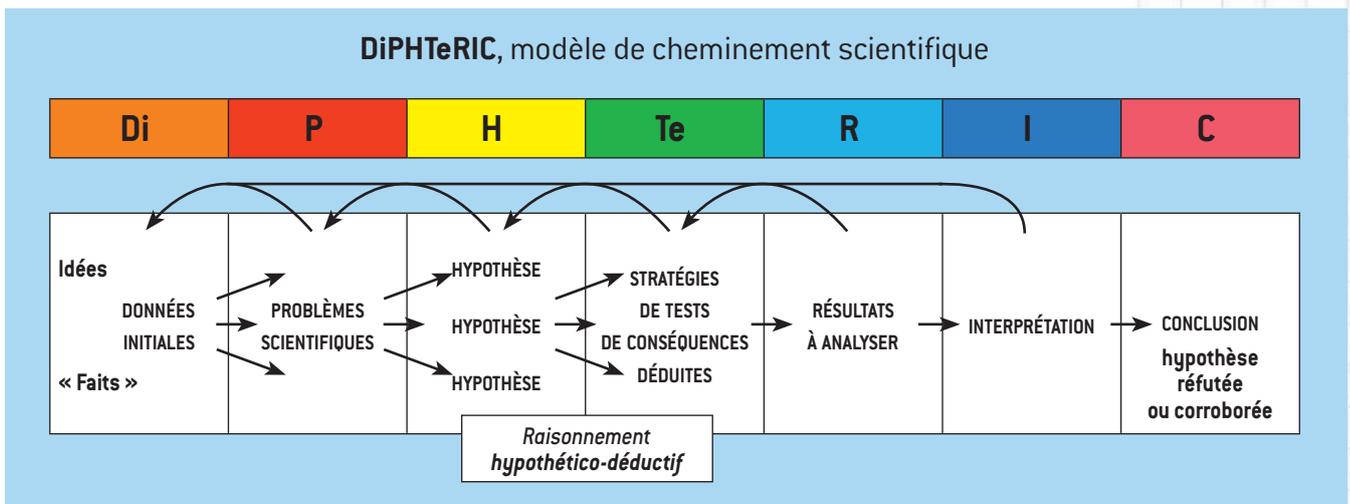
7. FABRE M.,
*Philosophie
et Pédagogie
du problème*,
Paris, Vrin, 2009.

8. GIORDAN A.
et DE VECCHI G.,
*Les Origines du
savoir*.
*Des conceptions
des apprenants
aux concepts
scientifiques*,
Neuchâtel-Paris,
Delachaux et
Niestlé, 1987.

9. DURKHEIM É.,
« Représentations
individuelles et
représentations
collectives »,
*Revue de méta-
physique et de
morale*, 1878.

– une démarche explicative comprenant des étapes qui ne se suivent pas forcément de manière aussi stricte et linéaire : **H**, les Hypothèses ; **Te**, le Test qui n'est pas obligatoirement expérimental mais qui peut être une observation, une simulation ou une modélisation ; **R**, les Résultats de l'investigation ; **I**, l'Interprétation et **C**, la Conclusion concernant l'hypothèse réfutée ou corroborée.

Voici l'une des représentations que Cariou en fait dans sa thèse *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences* qui illustre bien les allers et retours pouvant se faire entre les différentes phases.



Ces exemples montrent qu'il n'y a pas une seule manière d'enseigner les sciences. Les sciences évoluent et leur enseignement aussi. Actuellement, la démarche dite d'investigation est celle qui permet aux élèves d'acquérir de réelles compétences qu'ils pourront remobiliser dans des tâches complexes.

La démarche dite d'investigation

Fruit de nombreuses recherches en didactique tant au niveau national qu'international, s'inspirant de la démarche des scientifiques, la **démarche d'investigation** est apparue comme une démarche d'enseignement particulièrement efficace. Elle s'applique particulièrement aux sciences physiques et aux sciences de la vie et de la Terre. Elle se décline en cinq étapes fondamentales :

1. choix d'une situation de départ ;
2. questionnement et appropriation du (des) problème(s) par les élèves ;
3. élaboration des hypothèses et conception de l'investigation à mener ;
4. investigation conduite par les élèves avec retours possibles à l'étape précédente ;
5. acquisition et structuration des connaissances.

On pourrait alors la résumer sous la forme suivante.

Étapes de la démarche d'investigation	Exemple : séance relative aux conditions de développement des végétaux en cycle 3
<p>La situation de départ : Fortuite ou provoquée, elle doit susciter l'étonnement et la curiosité des élèves. Elle permet aux élèves de s'exprimer, de confronter leurs conceptions initiales.</p>	<p>Une situation fortuite pourrait consister à faire observer, au retour des vacances, le dépérissement d'une plante en pot dans la classe.</p> <p>Concernant une situation provoquée, on peut imaginer faire germer le même jour plusieurs graines d'une espèce donnée (radis, blé, haricot, etc.) dans des pots identiques et faire observer aux élèves que les plantes obtenues quelques jours plus tard ont des tailles différentes selon le pot (cf. chapitres 5 et 6 de la partie II de cet ouvrage).</p> <p>Quelle que soit la situation de départ choisie, les élèves vont être amenés à s'exprimer suite à une consigne qui pourrait être : « Selon vous que s'est-il passé ? »</p>
<p>Cette situation de départ aboutit à l'émergence de problème(s).</p>	<p>Le recueil de leurs conceptions initiales (voir p. 20) va faire apparaître des divergences au sein de la classe. Le professeur va alors, non pas les corriger, mais faire émerger les questions que ces divergences soulèvent. Par exemple, certains élèves vont penser que la plante dépérit (ou pousse moins selon votre situation initiale) parce qu'elle a manqué de lumière, d'air, d'eau, etc. La confrontation de l'ensemble de leurs idées sera à l'origine d'un problème tel que : « Quels sont les besoins des végétaux ? »</p>
<p>Puis à l'émission d'hypothèse(s) : (réponses possibles ou) explications.</p>	<p>Les élèves vont alors émettre différentes hypothèses :</p> <p>Les plantes ont besoin :</p> <ul style="list-style-type: none"> – d'eau ; – d'aliments trouvés dans la terre (ou tout simplement de la terre) ; – de soleil car il apporte de la lumière et de la chaleur (ou de la lumière et de la chaleur) ; – d'air. <p>Avec l'enseignant, ils vont décider de ce qu'ils peuvent mettre en œuvre pour les vérifier.</p>
<p>Qui conduisent à différentes investigations possibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> – observation ; – expérimentation ; – recherche documentaire ; – enquête ; – visite ; – modélisation. 	<p>Les différentes investigations qui peuvent être menées en parallèle en cas de pédagogie différenciée ou autre (l'enseignant en détermine alors une selon les moyens dont il dispose ou pour faire varier les démarches employées) sont par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> – l'observation de cultures hors-sol (exemples : fraises, salades...) dont les facteurs de développement sont facilement identifiables par les élèves ; – la réalisation de culture de ces mêmes végétaux par les élèves selon des conditions différentes ; – la recherche dans divers livres (encyclopédies, manuels scolaires), vidéogrammes ou sites Internet ; – la visite d'une ferme, d'un jardin botanique ; – l'emploi d'un logiciel de simulation relatif aux besoins des végétaux chlorophylliens¹⁰.

► Mettre la plante dans un sac plastique pour vérifier son besoin d'air est un exemple d'expérience qui ne démontre pas ce que l'on peut, voir p. 133 pour plus de détails.

¹⁰. On peut télécharger un logiciel gratuit sur la germination à l'adresse : <http://44.svt.free.fr/jpg/plante.htm>

Analyse, interprétation puis confrontation des résultats . Validation ou non (dans ce cas, retour à la 2 ^e étape) des hypothèses.	À l'issue de cette phase, les élèves vont confronter les résultats de leur investigation afin de valider ou non les hypothèses émises auparavant. S'il s'avère que toutes les hypothèses sont rejetées, la classe devra en émettre d'autres et refaire une investigation pour les mettre à l'épreuve.
Bilan : Réponse au problème. Structuration du savoir.	Un bilan est ensuite dressé. Celui-ci indiquera que les végétaux ont besoin d'eau, de lumière, de sels minéraux et de bonnes conditions de température (entre 9 et 25 °C selon les plantes).
Opérationnalisation, réinvestissement dans d'autres situations et évaluation.	Pour ouvrir le sujet on peut ensuite appliquer cette connaissance à la mise en place raisonnée d'un jardin dans l'école.

► Il ne faut pas confondre analyse et interprétation. De façon simple, on peut dire que l'analyse consiste à décrire et mettre en relation les résultats alors que leur interprétation en est l'explication.

On retrouve donc dans cette démarche des éléments fondamentaux de la démarche des scientifiques : **questionnement, implication et communication**.

Une place importante est également accordée au **droit à l'erreur et aux tâtonnements**. Par exemple, nous avons vu que les **conceptions initiales** (ou représentations initiales) des élèves peuvent être erronées et qu'il n'est pas du ressort de l'enseignant de les corriger. Piaget a en effet montré que les enfants disposent de conceptions préalables qu'ils construisent lors de leur vie (chez eux ou à l'école). L'élève n'arrive donc pas vierge de toute connaissance. Il ne s'agit pas de lui apporter des savoirs qui s'accumuleraient indépendamment les uns des autres, mais bel et bien de lui permettre de les construire à partir de ce qu'il pense savoir. Toutefois, s'il s'avère que ces conceptions sont erronées, elles peuvent faire obstacle à la construction des savoirs. L'enseignant doit en prendre connaissance afin d'en comprendre les fondements et de permettre à l'élève d'en prendre conscience et de les corriger à l'issue de la séquence d'apprentissage. En effet, des didacticiens ont montré que si on ne permet pas aux élèves de s'y confronter, elles créent des résistances à l'apprentissage et persistent durablement.

En confrontant les différentes conceptions des élèves, on peut mettre en évidence leurs divergences et faire émerger alors les problèmes scientifiques à résoudre. Cela peut être également le point de départ d'une **pédagogie différenciée**. Les hypothèses émises par les élèves doivent toutes être retenues par l'enseignant à la condition qu'elles tendent effectivement à répondre au problème. Qu'elles soient erronées ou non, elles ont le même statut et doivent donc à ce titre toutes être mises à l'épreuve par l'investigation. Par ailleurs, laisser les élèves se tromper dans la conception de leur protocole expérimental peut être source d'apprentissage. Par exemple, imposer une expérience témoin dès la première expérience est souvent mal compris par les élèves. Alors que s'ils conçoivent toutes les expériences sans celle-ci, les élèves s'apercevront, avec l'aide éventuelle du professeur des écoles, que les résultats sont difficilement interprétables. Le maître doit donc là aussi faire preuve de **bienveillance**.

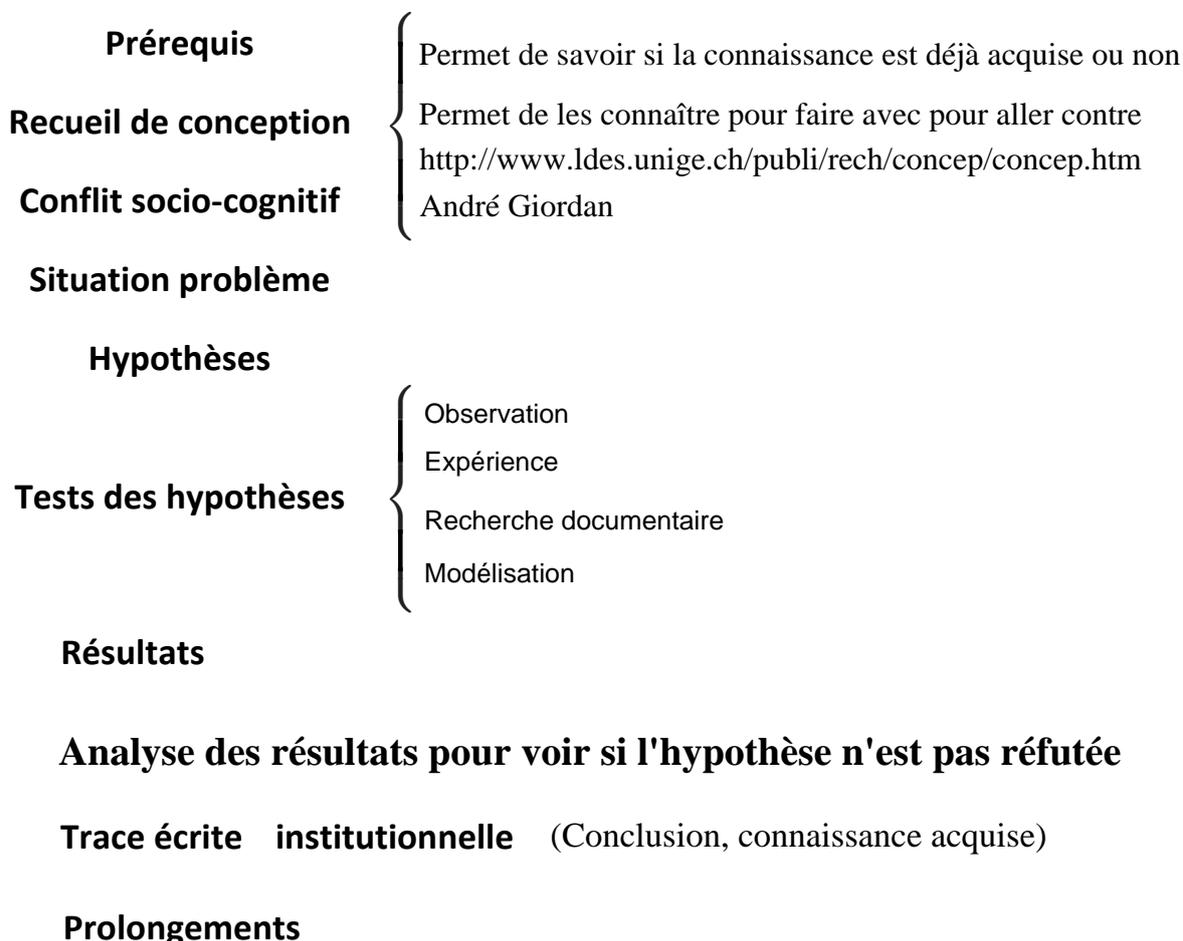
► Pour en savoir plus, consulter :
– ASTOLFI J.-P. (dir.), *Comment les enfants apprennent les sciences ?*, Paris, Retz, 2006.
– DE VECCHI G. et GIORDAN A., *L'Enseignement scientifique, comment faire pour que « ça marche » ?*, Paris, Delagrave, 2002.

L'expérience témoin

Une expérience est dite témoin quand elle sert de référence. C'est son résultat que l'on va comparer aux résultats des autres expériences afin de pouvoir comprendre les résultats expérimentaux. Dans l'exemple développé précédemment, l'expérience témoin serait de mettre les végétaux dans les conditions optimales de leur développement (lumière, sels minéraux et eau). Si on ne réalise pas cette expérience témoin, comment prouver que la plante a besoin de lumière ? En effet, les plantes que l'on va mettre dans le noir vont dans un premier temps croître de façon anormale et présenter un jaunissement, puis dans un deuxième temps vont mourir.

3- la démarche d'investigation avec les enfants

Dans le cas de la démarche DiPHTeRIC, les données initiales peuvent correspondre à un recueil de conception anonyme et individuel (éventuellement nécessitant des prérequis), sous forme de dessins éventuellement et qui dure une demi-heure environ. Ensuite on fait un conflit-sociocognitif qui consiste en un débat avec l'ensemble de la classe ou par groupes sur les différentes classes de réponses au recueil. Le conflit dure également environ une demi-heure. C'est à l'issue de ce conflit qu'on pourra envisager une situation problème qui mènera à la formulation d'hypothèses et aux tests. Les élèves notent les résultats de leurs investigations, en faisant des affiches éventuellement. L'interprétation pourra consister en la trace écrite. Ce qu'on appelle la conclusion consiste à la remise en forme dans les programmes avec éventuellement des prolongements de ce qui a été découvert. Ce que l'on résume dans le schéma ci-dessous :



LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION

1- Situation de départ : fortuite ou provoquée.

2- Les élèves s'expriment ; recueil de conception.

3- Confrontation des idées ; conflit socio-cognitif ; les élèves constatent que chacun a des idées différentes.

4- Émergence d'un problème : situation problème.

5- Émission d'hypothèses.

6- Investigation : observation (astronomie) ; expériences (états de l'eau) ; recherche documentaire (livres ; revues ; internet ; enquêtes ; visites) ; modélisation (maquettes, astronomie).

7- Confrontation des résultats (résultat) ; validation ou non de l'hypothèse (interprétation) ; bilan, réponse au problème, structuration des savoirs (conclusion).

À chaque étape, l'élève verbalise et structure ainsi sa pensée.

Les différents statuts des traces écrites :

- Carnet d'expérience : pour soi
- Fabrication d'affiches par les groupes : pour les autres
- Synthèse collective après l'activité : écrits institutionnels dans le cahier de science

Notion d'obstacle épistémologique (Gaston Bachelard La formation de l'esprit scientifique 1938). Obstacles conceptuels à la compréhension. Il faut savoir, en fonction des réponses au recueil de conception, et du conflit sociaux-cognitif qui suit, détecter les obstacles et les identifier. Mais sur un sujet donné, il faut aussi savoir à l'avance, identifier les obstacles épistémologiques.

Il faut savoir identifier les différentes étapes de la démarche d'investigation et en donner des exemples.

Il faut savoir en fonction d'une situation de science, trouver un problème à faire traiter par les élèves.

Dans une démarche d'investigation, il faut savoir trouver l'hypothèse testée.

Une expérience scientifique est rigoureuse si elle obéit au principe de séparation des variables, et si quand c'est nécessaire, il y a une expérience témoin.

La démarche de modélisation travaille sur une version simplifiée de la réalité (modèle). En astronomie, par exemple, on travaille avec des maquettes. Ainsi pour les phases de la Lune, on prend une boule de polystyrène pour la Terre, une lampe de poche pour le Soleil, et une balle de ping-pong pour la Lune.

Il faut savoir identifier un raisonnement par analogie.