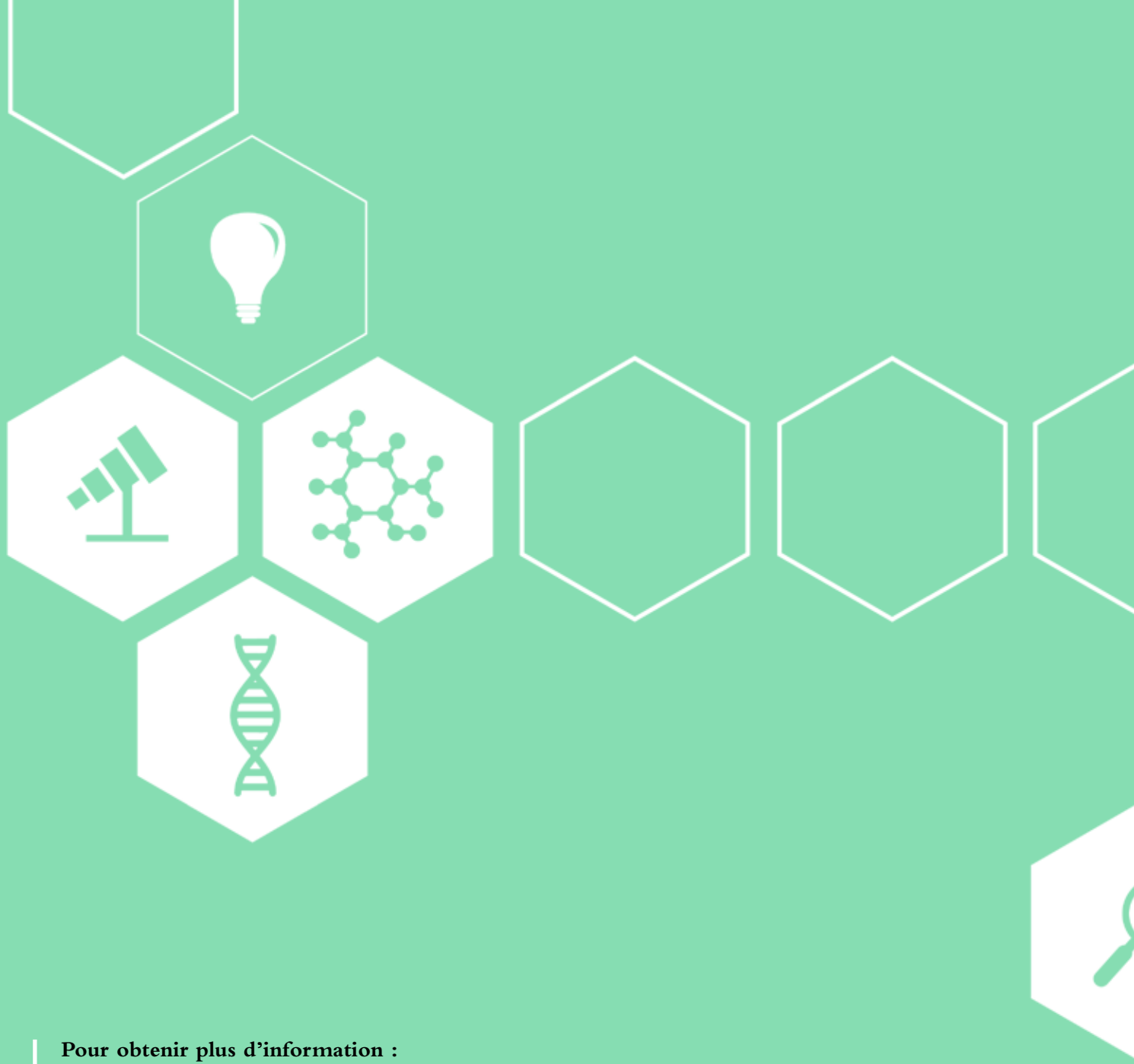
Abdelkrim Hasni
Vincent Belletête
Patrice Potvin

LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE À L'ÉCOLE

Un outil de réflexion sur
les pratiques de classe



Pour obtenir plus d'information :

Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS)
Université de Sherbrooke
2500, boulevard de l'Université
Sherbrooke (Québec) J1K 2R1

Courriel : creas@USherbrooke.ca
Téléphone : 1 819 821-8000 poste 61397

Ce document est accessible sur le site Web du CREAS (www.usherbrooke.ca/creas/) et de la CRIJEST (www.crijest.org/)
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018
ISBN : 978-2-9815542-1-5

© Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS) et
Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST),
Université de Sherbrooke et Université du Québec à Montréal

Mise en page : Fabian Will

Abdelkrim Hasni
Vincent Belletête
Patrice Potvin

LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE À L'ÉCOLE

Un outil de réflexion sur les pratiques de classe

CREAS
Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences
Université de Sherbrooke

CRIJEST
Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie

REMERCIEMENTS

Le document s'appuie sur des résultats et des idées développées dans le cadre de projets de recherche antérieurs. Il s'agit principalement des projets suivants :

1. La Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST, 2012-2017) ;
2. *Communauté de pratique chercheurs-enseignants-conseillers pédagogiques pour favoriser l'intérêt et la persévérance des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie* (ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, Chantier 7, 2014-2017) ;
3. *L'enseignement par projets en sciences et technologies au primaire et au secondaire : significations, finalités et modalités de mise en œuvre* (Conseil de recherches en sciences humaines du Canada, nº 435-2013-22186, 2013-2018).

Les démarches d'investigation scientifique faisaient partie de ces trois études sous deux angles complémentaires : 1) pour tester leur impact sur l'intérêt des élèves pour les sciences et la technologie (les deux premières études) ; 2) pour décrire les modalités de leur opérationnalisation dans les classes d'enseignants[1] faisant appel à l'enseignement par projets (troisième étude). Les constats réalisés dans le cadre de ces études ont été enrichis par d'autres qui découlent de travaux antérieurs sur les pratiques d'enseignement des sciences et technologie au Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS) dans le cadre de deux projets financés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG, 2005-2011)[2] et le Fonds de recherche du Québec – Société et culture (FRQ-SC, 2009-2014)[3].

[1] Le masculin est utilisé ici uniquement pour alléger le texte. Il renvoie aussi bien au féminin qu'au masculin.

[2] Titre du projet : *Perfectionnement des compétences en enseignement des sciences, technologies et mathématiques du personnel enseignant au premier cycle du secondaire.*

[3] Titre de la programmation scientifique : *Compétences professionnelles en enseignement des sciences, technologies et mathématiques.*

Le document découle par conséquent d'analyses réalisées à différents niveaux :

1. des curriculums du Québec et d'autres systèmes éducatifs internationaux (principalement, les États-Unis et la France) ;
2. des publications scientifiques et professionnelles spécialisées en éducation scientifique ;
3. des observations réalisées dans les classes de dizaines d'enseignants au cours des dernières années (plus de 200 enregistrements en classe depuis 2002) et d'autres données (ex. : entrevues, questionnaires) obtenues auprès de ces derniers et auprès d'élèves du primaire et du secondaire.

Nous remercions vivement les enseignants et les élèves de nous avoir accueillis dans leurs classes et d'avoir accepté généreusement de nous donner accès à différents types de données. Nous remercions également les conseillers pédagogiques qui ont accompagné ces enseignants et qui ont toujours alimenté et soutenu leurs réflexions sur la mise en œuvre des démarches d'investigation en classe, tout en travaillant en étroite collaboration avec les chercheurs afin de favoriser le dialogue entre la recherche et la pratique : prendre en considération, dans les recherches, la réalité des classes et, inversement, intégrer les résultats de ces recherches dans les pratiques.

Les travaux menés avec les chercheurs et les étudiants aux cycles supérieurs au CREAS et les publications produites avec ces derniers pendant de nombreuses années ont certainement influencé les réflexions et la conceptualisation proposées dans ce document. Nous les remercions grandement d'avoir contribué activement à faire évoluer notre pensée sur la problématique des démarches d'investigation scientifique. Nos remerciements vont également à Mme Julie Fournier, secrétaire à la recherche au CREAS, qui a accepté de participer à la révision linguistique du document.

Notons enfin que la production de ce document ne faisait pas partie des objectifs spécifiques de l'un ou l'autre des projets de recherche que nous venons de citer. Nos préoccupations pour le dialogue entre la recherche et la pratique nous ont conduits à produire ce document afin de partager avec les acteurs scolaires nos réflexions sur une question centrale de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences, les démarches d'investigation scientifique. Nous remercions les organismes qui ont soutenu les projets ayant permis d'alimenter ces réflexions, particulièrement le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, qui a consenti à l'utilisation d'un résidu budgétaire pour réaliser des analyses vidéo visant le repérage de séquences illustratives de diverses composantes de ces démarches.

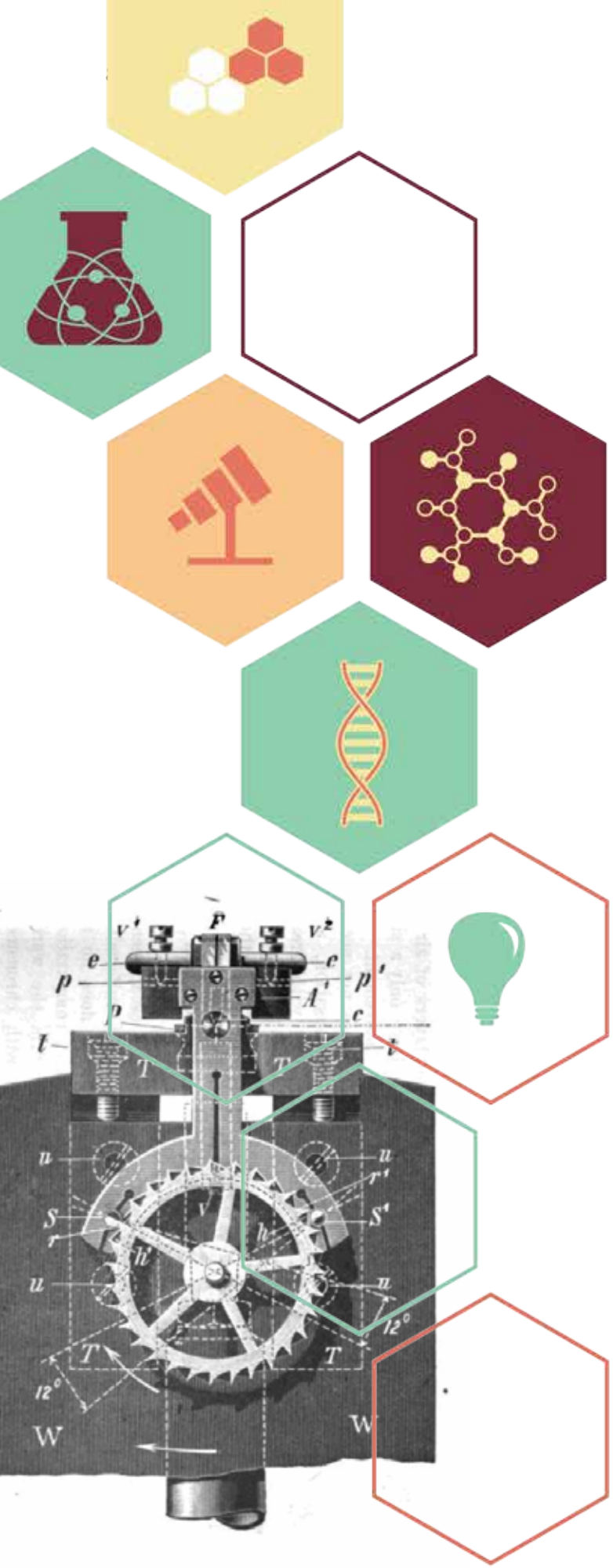


TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS 5
TABLE DES MATIÈRES 9
INTRODUCTION 11
LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE :
REPÈRES POUR L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE 15

1. Les démarches d'investigation scientifique : une nouveauté ? 15
2. La diversité des définitions des DIS : un obstacle ? 17
   2.1 Cas des programmes scolaires 17
   2.2 Cas des publications dans le domaine de l'éducation scientifique 22
   2.3 En conclusion 23
3. Que nous apprennent l'épistémologie et l'histoire des sciences ? 25
4. Des repères pour les DIS en classe 26
   4.1 Penser les DIS en termes de posture (une pensée scientifique) et non pas en termes de procédure 26
   4.2 Au départ de toute DIS : un problème scientifique à construire 27
   4.3 Une diversité des processus de recherche et de validation des faits : une variété de DIS 31
   4.4 Donner sens aux faits : distinguer l'analyse de l'interprétation qui en découle 41
   4.5 Les DIS : des savoirs conceptuels préalables et des savoirs à construire 42
   4.6 La dimension sociale des DIS : les débats et l'argumentation 43
   4.7 Penser les DIS dans le cadre du système et des disciplines scientifiques 44
5. Quelle place pour les élèves dans la conduite des DIS ? 46
6. De nombreux défis à considérer : des pistes de réflexion 48

CONCLUSION 51
FICHES ILLUSTRATIVES 55

Fiche 1. De la mise en situation à la formulation du problème ou de la question (cas de l'étude des parties des plantes au primaire) 56
Fiche 2. De la mise en situation à la formulation du problème ou de la question (cas de la diffusion, de l'osmose et des échanges cellulaires) 58
Fiche 3. De la mise en situation à la formulation du problème ou de la question (cas de la structure de la Terre) 62
Fiche 4. Formulation de la question ou de l'hypothèse (cas des facteurs qui influencent la croissance d'une plante) 64
Fiche 5. Formulation de la question ou de l'hypothèse (cas des effets de l'acide sur les coquilles) 66
Fiche 6. Choix et validation des faits scientifiques : un exemple de recueil par expérimentation (cas des échanges thermiques) 68
Fiche 7. Choix et validation des faits scientifiques : un exemple de recueil par expérimentation (cas de la nutrition végétale : les facteurs influençant le développement des plantes vertes) 70
Fiche 8. Choix et validation des faits scientifiques : un exemple de recueil par observation (l'osmose) 72
Fiche 9. Choix et validation des faits scientifiques : un exemple de recueil par observation (le développement des bourgeons) 74
Fiche 10. Choix et validation des faits scientifiques : un exemple d'utilisation de données convoquées (cas de l'étude de l'adaptation des espèces en utilisant les données sur la Phalène du bouleau) 76
Fiche 11. Un exemple d'exploitation des données en vue de la conceptualisation d'un phénomène scientifique (la pression) 80

RÉFÉRENCES 83

Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3
+800 V.
+600 V.

INTRODUCTION

Démarche scientifique ; démarche expérimentale ; méthode scientifique ; démarche d'investigation scientifique ; pratiques scientifiques ; etc. : les expressions utilisées pour désigner l'intégration dans l'enseignement scolaire des processus qui caractérisent les sciences varient d'un système éducatif à l'autre et d'une réforme à l'autre. Les attributs utilisés pour définir ces processus, que nous désignerons par la suite de démarches d'investigation scientifique (DIS), varient également de la même manière : si on s'entend à décrier la manière stéréotypée longtemps utilisée pour caractériser ces démarches, soit l'OHERIC (observation, hypothèse, expérience, résultat, interprétation, conclusion), il est difficile de dégager un consensus dans les curriculums et dans les publications scientifiques et professionnelles quant à la manière de définir les DIS. Comment les acteurs concernés par l'éducation scientifique à l'école, notamment les enseignants et les conseillers pédagogiques, doivent-ils composer avec cette diversité de conceptions ? C'est la question centrale qui est considérée dans ce document qui vise à proposer aux acteurs scolaires, aux formateurs et aux chercheurs des pistes de réflexion tant théoriques que pratiques.

Notons d'entrée de jeu que le document ne prétend pas fournir une recette d'une supposée procédure « idéalisée » des DIS à appliquer de manière routinière en classe. Il s'agit avant tout d'un outil qui propose des pistes de réflexion qui s'appuient sur l'analyse des publications les plus importantes en éducation scientifique et sur l'analyse des programmes dans différents systèmes éducatifs ainsi que sur des observations dans des classes du primaire et du secondaire, réalisées sur une période de plus de quinze ans. De manière spécifique, le but du document est double :

1. Faire le point sur les significations accordées aux démarches d'investigation scientifique, tout en rappelant leur diversité et leurs points communs ;
2. Illustrer, à l'aide de situations observées en classe, certaines idées retenues pour caractériser les DIS.

Le document est destiné prioritairement aux acteurs de l'éducation scientifique (enseignants, conseillers pédagogiques, personnel du ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, concepteurs des manuels scolaires, etc.). Les idées qui y sont proposées peuvent également alimenter des réflexions au sein de la communauté des formateurs et des chercheurs en didactique des sciences.

Le document est composé de deux principales sections :

- Dans la première, nous faisons le point sur les caractéristiques communes et distinctives des DIS, tout en insistant sur la visée première de celles-ci : le développement de la pensée scientifique et la construction d'une représentation du monde naturel basée sur la preuve et les faits ;
- Dans la deuxième section, nous illustrons les principales idées développées dans la première section en faisant appel à des fiches descriptives qui résument des situations vécues dans des classes du primaire et du secondaire.

HISTORIA
Historia
Historia
David Icke
David Icke
SŁOWNIK
historia
historia
Genealogia.Heraldyka

LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE : REPÈRES POUR L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE

1. LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE : UNE NOUVEAUTÉ ?

L'intégration dans les programmes scolaires des processus (démarches, méthodes, etc.) utilisés dans le domaine des sciences pour comprendre les objets et les phénomènes de la nature n'est pas une nouveauté et ne caractérise pas les récents curriculums. Au Québec, par exemple, cette intégration a fait partie des programmes qui ont marqué les trois principales réformes depuis la mise en place du ministère de l'Éducation (en 1964), à la suite du Rapport Parent (Gouvernement du Québec, 1963) : les programmes-cadres (années 1960 à 1980) ; les programmes par objectifs (années 1980 à 2000) et les programmes par compétences (à partir des années 2000). On est passé alors de l'utilisation des expressions de « méthode scientifique » et « méthode expérimentale », notamment, à l'utilisation de l'expression de « démarche d'investigation scientifique ».

Aux États-Unis, la « méthode scientifique » a été intégrée dans les curriculums des sciences il y a plus d'un siècle. Les standards des années 1990 (*Science for all Americans* de 1990 et *National Science Education Standards* de 1996) ont réaffirmé avec force la place que doivent occuper ces démarches sous l'expression de *scientific inquiry* (l'investigation scientifique). Les récents standards de 2013 (*Next Generation Science Standards*) (NGSS Lead States, 2013) ont choisi une autre expression pour désigner l'intégration des processus scientifiques à l'école et pour remplacer le concept de l'investigation scientifique (*scientific inquiry*) : les pratiques de sciences et de génie (*scientific and engineering practices*). Parmi les principales justifications qui ont accompagné les récentes réflexions sur l'enseignement scientifique et qui ont conduit à l'utilisation de l'expression « pratiques scientifiques » au lieu de « démarches d'investigation scientifique », deux méritent d'être soulignées : 1) ces démarches sont souvent utilisées en classe comme une procédure technique (une série d'étapes à exécuter de manière linéaire) et non pas comme un mode de pensée ; 2) celles-ci sont également souvent enseignées de manière dissociée des savoirs conceptuels (notions, concepts, modèles, etc.). Les DIS vécues à l'école ne refléteraient par conséquent pas ce qui se passe dans le domaine des sciences.

En France, les démarches spécifiques aux sciences font également partie des programmes scolaires depuis fort longtemps sous diverses expressions, dont celle de « démarche expérimentale ». Leur désignation par « démarches d'investigation » a été introduite dans les programmes de l'école primaire et au collège (premier cycle du secondaire) entre 2002 et 2009 et dans une forme dérivée dite « démarche scientifique » dans les lycées (deuxième cycle du secondaire) à partir de 2010 (Calmettes et Matheron, 2015). Dans les derniers programmes de 2015, la place de ces démarches a été réaffirmée et elles sont maintenant associées au développement des compétences. Au troisième cycle de la scolarité obligatoire, par exemple, une des compétences visées est celle de « pratiquer des démarches scientifiques et technologiques » (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2015, p. 184). Alors qu'au Québec les DIS sont spécifiques aux disciplines scientifiques, en France, le ministère semble privilégier la généralisation de celles-ci à un grand nombre de disciplines, incluant les sciences et technologie et les mathématiques.

L'aperçu que nous venons de présenter permet de souligner les constats suivants :

- L'intégration aux programmes des processus utilisés en sciences pour comprendre le monde naturel n'est pas nouvelle. C'est une préoccupation constante des programmes au Québec et ailleurs ;
- Les programmes font appel à une diversité d'expressions pour décrire la prise en considération de ces processus à l'école : démarche scientifique ; méthode scientifique ; méthode expérimentale ; démarches d'investigation scientifique ; pratiques scientifiques ; etc. ;
- En plus de la diversité des expressions utilisées, comme nous le verrons dans la section suivante, ce ne sont pas toujours les mêmes attributs qui sont utilisés pour définir les processus scientifiques à l'école, et que nous appellerons par la suite, d'une manière générique, les démarches d'investigation scientifique (DIS).

2. LA DIVERSITÉ DES DÉFINITIONS DES DIS : UN OBSTACLE ?

La diversité des expressions et des définitions utilisées pour décrire les DIS marquent autant les curriculums scolaires que les publications dans le domaine de l'éducation scientifique.

2.1 Cas des programmes scolaires

Au Québec

Dans les programmes par objectifs (1980 à 2000), on parlait principalement de la « démarche expérimentale » (surtout au primaire) et de la « méthode scientifique » (surtout au secondaire). Ce type de démarche était décrit explicitement dans certains programmes (ex. : programme de Biologie générale de la 4e et 5e année du secondaire) et sa caractérisation était plus discrète dans d'autres, comme ceux de l'Écologie (1re année du secondaire) ou des Sciences physiques (2e année du secondaire). Dans ce dernier, par exemple, le ministère souligne que « le programme privilégie une approche de découverte faite à la suite notamment d'expériences réalisées par l'élève » et que, par conséquent, « les jeunes se familiarisent progressivement avec la méthode scientifique en l'appliquant » (Gouvernement du Québec, 1988a, p. 3). Le programme ne fournit cependant pas d'informations suffisantes permettant d'orienter les pratiques pédagogiques de ladite « méthode scientifique ».

Dans les programmes où la « méthode scientifique » est plus visible (surtout dans ceux du 2e cycle du secondaire), comme celui de la Biologie générale (Gouvernement du Québec, 1988b) (4e et 5e années du secondaire), une section est réservée à sa définition : même si cette méthode est présentée comme un processus comportant « un certain nombre d'étapes-repères », la conception qui prévaut habituellement peut être décrite en faisant appel aux éléments suivants : éveil ; problème ; hypothèse ; vérification (expérimentation) ; analyse des résultats ; conclusion (Gouvernement du Québec, 1988b). Dans le programme de sciences physiques 416-436 (Gouvernement du Québec, 1990) (4e secondaire), cette méthode (désignée de méthode expérimentale) est présentée également à l'aide d'étapes (repères) légèrement différentes des précédentes : définition du problème ; formulation d'hypothèse ; cueillette de données ; traitement des données ; conclusion(s). On y souligne également qu'il ne s'agit pas d'étapes à exécuter de manière linéaire.

Au primaire (Gouvernement du Québec, 1980), la « démarche expérimentale » est définie dans le programme par objectifs à l'aide de quatre phases :

1. Se poser une question ou définir un problème ;
2. Anticiper une ou plusieurs solutions au problème posé ;
3. Vérifier la valeur de ses anticipations en recourant à a) une collecte de données (observation, enquête, expérience) et b) un traitement de données ;
4. Tirer une ou des conclusions et, s'il y a lieu, présenter ses résultats.

Qu'en est-il dans les programmes actuels centrés sur le développement des compétences ? En s'inscrivant dans un mouvement international de l'éducation scientifique, c'est l'expression « investigation scientifique » qui est retenue. La description faite de ces DIS met en avant la volonté de dépasser le morcellement des tâches qui accompagnait le programme par objectifs, l'association des DIS principalement au laboratoire et leur définition à l'aide d'un modèle unique composé d'un nombre d'étapes bien défini. Rappelons à cet effet les trois remarques suivantes :

1. Les DIS font partie, à côté de la démarche de conception technologique, de la première des trois compétences disciplinaires qui composent les programmes : *Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique.* En principe, le choix d'associer ces démarches à une compétence vise à souligner leur caractère complexe et le fait qu'elles ne se résument pas à un simple exercice de certaines habiletés intellectuelles ou techniques morcelées.
2. Elles sont introduites dès le deuxième cycle du primaire et elles sont prescrites à tous les niveaux scolaires (primaire et secondaire). Ce choix permet d'affirmer leur place centrale dans la formation des élèves.
3. Leur diversité est explicitement soulignée : « par *démarches d'investigation*, en science, on entend non seulement la démarche expérimentale, mais aussi l'exploration et l'observation sur le terrain, les sondages, les enquêtes, etc.» (Gouvernement du Québec, 2004, p. 268). À ces démarches, rapportées dans le programme du premier cycle du secondaire (1re et 2e années), d'autres s'ajoutent au deuxième cycle (3e et 4e années) : les démarches de modélisation, d'observation, expérimentale, empirique, de construction d'opinion, à côté des démarches technologiques de conception et d'analyse (pour la technologie). Même si la catégorisation des démarches proposée est discutable au regard de l'épistémologie et de l'histoire des sciences[4], cette clarification devrait permettre, en principe, de rompre avec une certaine vision des DIS représentée par un modèle unique, le modèle expérimental.

Rappelons également que les DIS sont caractérisées de deux manières dans les programmes actuels :

1. Par le biais de composantes de la compétence disciplinaire 1. Ces dernières sont au nombre de quatre au premier cycle du secondaire (figure 1), et chacune d'elles repose sur l'exercice de plusieurs habiletés (ou stratégies).
2. Par le biais de certaines habiletés décrites à l'aide d'un schéma synthèse (figure 2) : cerner un problème ; choisir un scénario ; concrétiser sa démarche ; effectuer l'expérience ; analyser ses résultats ; faire un retour. Notons au passage deux éléments qui limitent la portée de cette définition : la centration sur l'expérimentation comme mode principal de recueil des données, alors que le discours préalable soutenait une diversité des démarches ; la mise de côté de certaines activités qui sont centrales dans les processus scientifiques, comme l'interprétation des résultats et la formulation d'énoncés scientifiques. Dans les programmes, les DIS s'arrêtent à l'analyse des résultats et à la réalisation par l'élève d'un retour sur sa démarche (activité plutôt d'ordre pédagogique).

[4] Par exemple, la « démarche de construction d'opinion » proposée ne peut pas être compatible avec les processus scientifiques qui, eux, doivent conduire à une représentation partagée des objets et des phénomènes basée sur l'établissement des faits. La définition donnée de la « démarche empirique » est également difficilement défendable : en quoi l'absence de l'expérimentation permettrait-elle de caractériser une démarche d'empirique? En ce sens, les « démarches observation » seraient-elles des démarches empiriques?

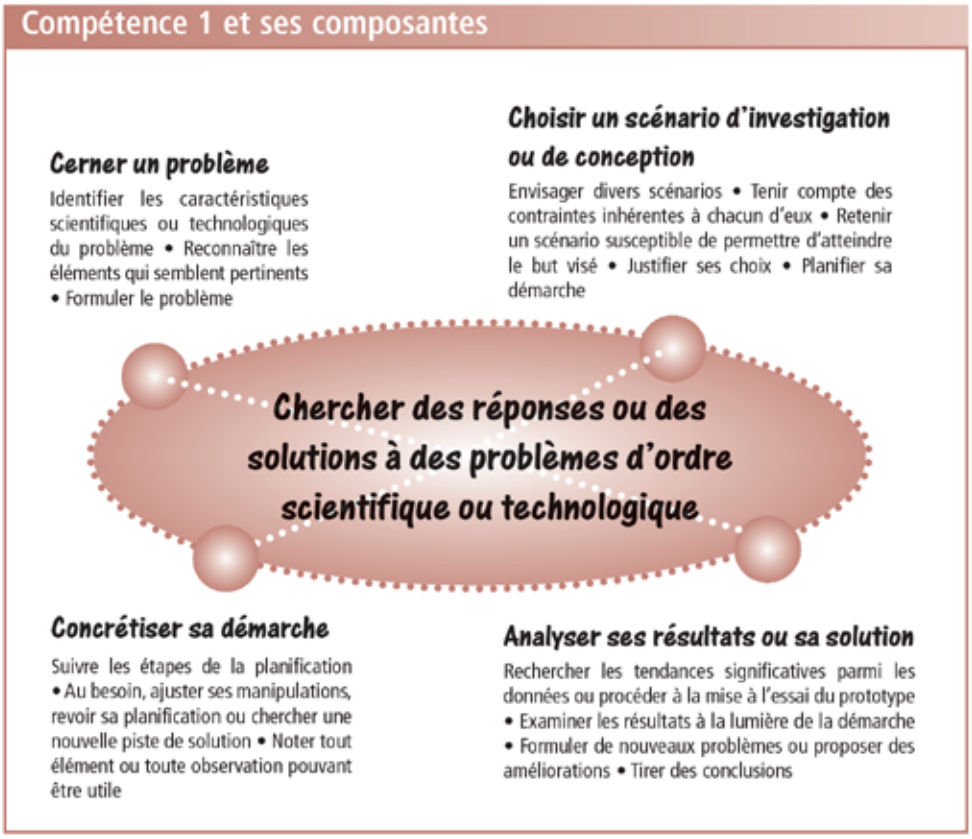


Figure 1 :
Les composantes de la compétence disciplinaire 1en science et technologie (Gouvernement du Québec, 2004)

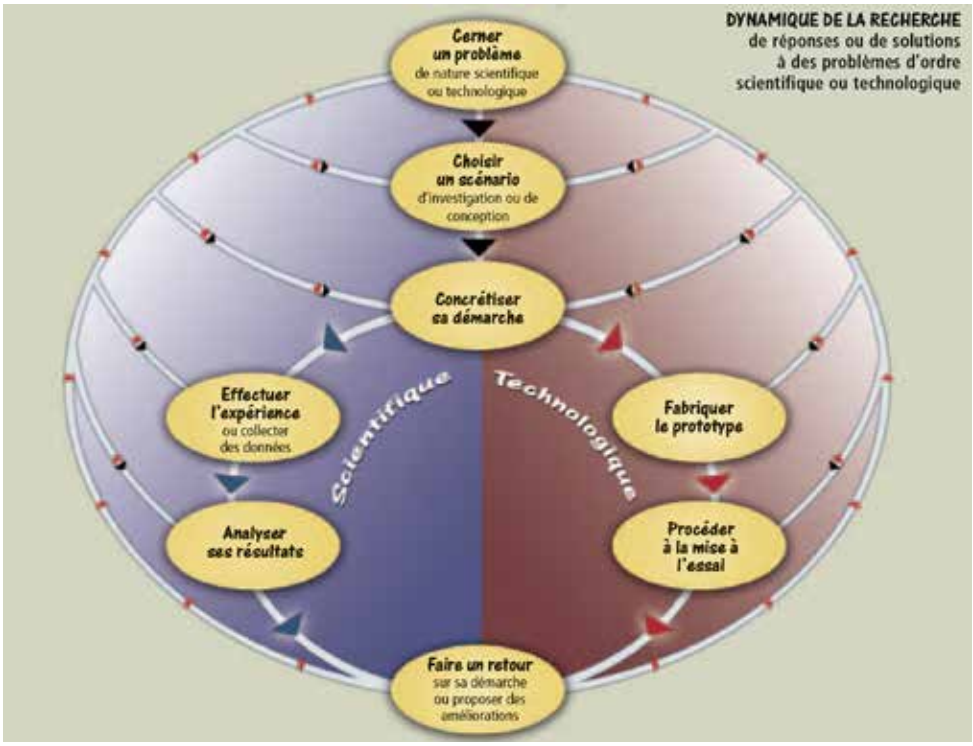


Figure 2 :
Schéma synthétique de la compétence disciplinaire 1 en science et technologie (Gouvernement du Québec, 2004)

Aux États-Unis

Dans les standards de 1996 (NRC, 1996), tout en soulignant que le *scientific inquiry* renvoie aux diverses voies par lesquelles les scientifiques étudient le monde naturel afin d'en proposer une explication basée sur la preuve, certaines activités sont considérées comme centrales pour caractériser cette démarche : faire des observations ; poser des questions ; examiner les ouvrages et les autres sources d'information pour comprendre ce qui est déjà connu ; planifier des investigations ; utiliser des outils pour analyser et interpréter les données ; proposer des explications et des prédictions ; communiquer les résultats.

Dans les récents standards de 2013 (NRC, 2013), ce sont huit attributs, ou types de pratiques, qui sont considérés prioritaires pour caractériser les *scientific practices* au primaire et au secondaire :

1. Formuler des questions ;
2. Développer et utiliser des modèles ;
3. Planifier et mener des investigations ;
4. Analyser et interpréter des données ;
5. Utiliser la pensée mathématique et informatique ;
6. Construire (formuler) des explications ;
7. S'engager dans l'argumentation basée sur les preuves ;
8. Chercher, évaluer et communiquer l'information.

En France

Le recours à la compétence « pratiquer des démarches scientifiques et technologiques » dans les récents programmes vise à « proposer (aux élèves), avec l'aide du professeur, une démarche pour résoudre un problème ou répondre à une question de nature scientifique ou technologique :

- formuler une question ou une problématique scientifique ou technologique simple ;
- proposer une ou des hypothèses pour répondre à une question ou un problème ;
- proposer des expériences simples pour tester une hypothèse ;
- interpréter un résultat, en tirer une conclusion ;
- formaliser une partie de sa recherche sous une forme écrite ou orale » (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2015, p. 184).

Cet aperçu sur les trois contextes éducatifs (Québec, États-Unis et France) montre la diversité des expressions et des attributs utilisés pour définir les DIS. Même si certains attributs reviennent dans la plupart des définitions, d'autres varient d'un système scolaire à l'autre, d'une époque à l'autre, et parfois d'un niveau scolaire ou d'une discipline à l'autre. Par exemple :

- L'hypothèse et l'expérimentation occupent une place importante dans les attributs utilisés pour définir les DIS en France alors qu'elles ne sont pas considérées toujours nécessaires dans les standards étasuniens ;
- Ce ne sont pas exactement les mêmes attributs qui sont utilisés dans les différents programmes disciplinaires québécois des années 1980 pour définir les DIS ; ce ne sont pas non plus ceux de ces programmes qui sont retenus dans le cadre du récent programme de formation de l'école québécoise ;
- Au sein d'un même programme, les attributs utilisés pour définir les DIS semblent varier d'une section à l'autre, ce qui risque de conduire à des ambiguïtés pour les praticiens. Par exemple, dans la description de la composante de la compétence 1 « choisir un scénario d'investigation ou de conception » (figure 1), on semble privilégier une ouverture quant aux modes de recueil des faits, alors que dans la figure synthétique de cette compétence (figure 2), l'expérimentation semble occuper une place centrale.

2.2 Cas des publications dans le domaine de l'éducation scientifique

La diversité des définitions et les ambiguïtés qui les accompagnent marquent également les publications dans le domaine de l'éducation scientifique.

Le modèle OHERIC, qu'on a souvent associé aux travaux de Claude Bernard, a fortement influencé l'enseignement des sciences pendant des dizaines d'années. Cette manière de considérer la « démarche scientifique » suppose que l'observation (O) neutre des phénomènes conduit à la formulation d'hypothèses (H) qui, elles, débouchent sur une expérimentation (E) visant à les infirmer ou à les confirmer. L'interprétation (I) des résultats (R) obtenus par l'expérimentation permet de tirer des conclusions (C) au regard des hypothèses de départ. Ce modèle a été fortement critiqué pour de nombreuses raisons : il réduit la démarche à un seul modèle stéréotypé, il laisse croire que l'observation des phénomènes est neutre et, d'une manière générale, il ne reflète pas le processus de production des savoirs dans le domaine des sciences.

Des auteurs ont suggéré des adaptations de ce modèle pour répondre aux critiques précédentes (Hasni et Samson, 2007, 2008). Par exemple, Clément (1998) a proposé en 1992 d'utiliser le THEORIC pour souligner le rôle des théories scientifiques (T) dans la formulation des hypothèses (H) qui précèdent l'expérimentation (E) et l'observation (O). Le modèle OPHERIC a également été suggéré pour souligner la place importante à accorder à la construction du problème (P) comme préalable à la formulation des hypothèses (H). Les auteurs qui ont proposé le modèle DiPHTeRIC souhaitaient rappeler l'importance des données initiales (Di) dans la construction du problème (P) et souligner la mise en place d'une démarche permettant de tester (Te) l'hypothèse.

Les définitions qui ont accompagné la mise en place des DIS dans les récentes réformes ne connaissent pas non plus de consensus. Par exemple, Cariou (2015), en comparant diverses définitions proposées dans des publications francophones et anglophones, montre qu'il n'y a pas d'accord sur le nombre et la nature des attributs utilisés pour définir les DIS. Cette analyse lui a permis de regrouper les attributs

proposés par ces définitions en huit catégories de critères : 1) interrogations (ex. : formuler un problème ; élaborer des questions) ; 2) conception et planification de recherches (rechercher des hypothèses ; concevoir des expériences) ; 3) autres tâches conceptuelles (ex. : argumenter ; discuter des hypothèses) ; 4) débats, argumentation, communication, interactions sociales (ex. : critiquer des expériences ; s'exprimer sur la validité) ; 5) réalisations et productions (ex. : chercher des informations ; collecter des données) ; 6) acquisitions (ex. : expliquer les savoirs) ; 7) implication et responsabilisation (ex. : autonomie ; responsabilisation) ; 8) accès à la culture scientifique.

D'autres synthèses réalisées dans le monde anglophone arrivent au même constat : il existe une diversité d'attributs pour définir les DIS. Par exemple, Pedaste, Mäeots, Siiman, de Jong, van Riesen, S. Kamp *et al.* (2015) ont identifié 109 différents termes utilisés par les auteurs pour désigner les phases des DIS (*inquiry phases*) ou les attributs de celles-ci. Ils les ont ensuite regroupés en 34 types d'activités, puis en cinq grandes phases, composées chacune de sous-phases : 1) orientation (ex. : stimulation de la curiosité ; perception du défi) ; 2) conceptualisation (ex. : proposition de questions ou d'hypothèses) ; 3) investigation (ex. : exploration ; expérimentation ; interprétation des données) ; 4) conclusion (ex. : comparaison des inférences issues des données) ; 5) discussion (ex.: communication ; réflexion). Dans leur récente synthèse, Rönnebeck, Bernholt et Ropohl (2016), après avoir montré la diversité des définitions utilisées (nature et nombre d'attributs utilisés), proposent neuf catégories d'activités scientifiques qui permettraient de rendre compte de ces définitions. Celles-ci ont été agrégées en trois principales phases : 1) préparation (ex. : recherche d'informations ; questions ; hypothèses et prédictions) ; 2) réalisation (ex. : planification et réalisation de l'investigation ; analyse, interprétation et évaluation des données) ; 3) explication et évaluation (ex. : argumentation et raisonnement ; explications).

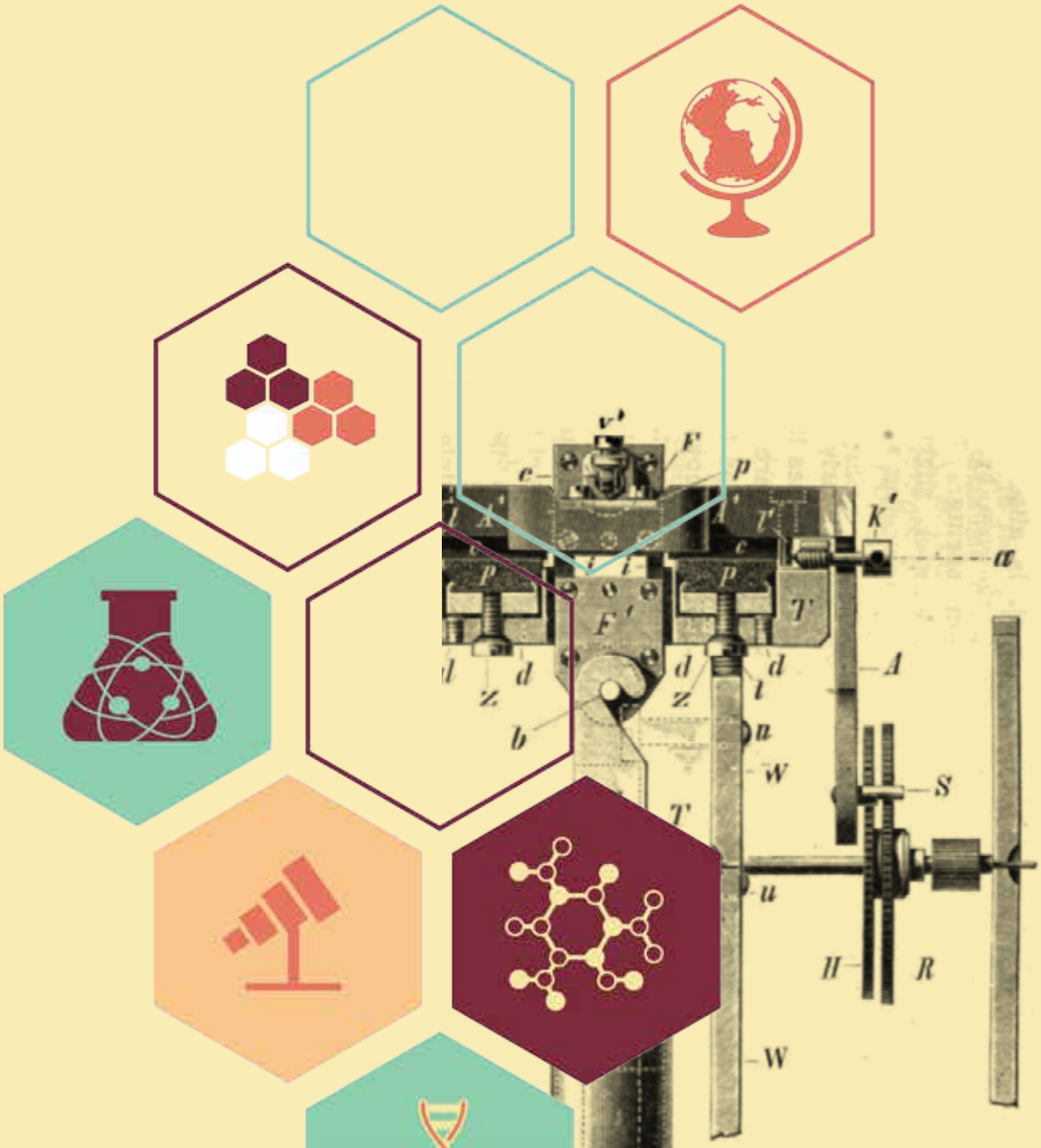
2.3 En conclusion

Cet aperçu sur les programmes de trois systèmes éducatifs et sur les publications en éducation scientifique montre très bien la diversité des attributs utilisés pour définir les DIS. Cette diversité concerne aussi bien la nature de ces attributs que leur nombre. Que faire alors devant cette diversité ? Quels repères pour les pratiques de classe ?

Nous considérons que si nous adhérons à l'esprit des DIS, cette diversité ne constitue pas un problème en soi. Elle prouve tout simplement que les habiletés et les attitudes (les attributs utilisés dans les définitions) requises pour développer et mettre en œuvre une compétence aussi complexe qu'une DIS sont très nombreuses. Pour simplifier, chaque définition met l'accent sur certaines d'entre elles, celles qu'elle considère comme prioritaires, sans pour autant rejeter les autres. Par exemple, dans les standards américains, on précise qu'une des pratiques caractéristiques des DIS est le développement du raisonnement mathématique ; le fait que dans les programmes québécois, on ne mette pas l'accent sur cet attribut dans les composantes de la compétence disciplinaire 1 ne signifie pas que ces derniers excluent le recours à cet attribut.

C'est le fait de réduire les DIS à un nombre limité d'attributs et de les présenter aux élèves comme une procédure stéréotypée à appliquer de manière linéaire et répétitive à tous les types de problèmes scientifiques qui constitue une dérive. En procédant ainsi, on perd l'esprit des DIS aux dépens de l'exécution technique de certaines tâches. Les mises en garde qu'on peut lire dans les programmes scolaires des différents systèmes éducatifs à cet égard ne peuvent suffire pour prévenir les dérives qui accompagnent le recours à des attributs (étapes) pour définir les DIS. Par exemple, au Québec, dans les programmes des années 1980, on signalait déjà que les étapes proposées ne doivent pas être exécutées de manière linéaire. Ce même rappel accompagne les récents pro-

grammes de science et technologie. Pourtant, il n'est pas rare de voir les ressources didactiques (dont certains manuels), par exemple, continuer à présenter aux élèves les DIS en faisant appel à un modèle unique, composé d'une série d'étapes à suivre pour étudier le problème fourni. Dans plusieurs cas, les étapes sont déjà écrites dans le cahier des élèves et ces derniers n'ont qu'à remplir les espaces disponibles. En procédant ainsi, les élèves apprennent davantage certaines habiletés nécessaires à la réussite des DIS (ce qui est déjà une « bonne » chose par rapport à un enseignement qui présente les sciences comme un corpus de vérités à apprendre par cœur) et non pas l'esprit de celles-ci : le développement de la pensée scientifique. Peut-on alors définir les DIS autrement, de manière à éviter les dérives constatées ? L'histoire et l'épistémologie des sciences peuvent nous fournir des éclairages importants sur la nature de cette pensée et sur des pistes pour l'enseignement-apprentissage à l'école.



3. QUE NOUS APPRENNENT L'ÉPISTÉMOLOGIE ET L'HISTOIRE DES SCIENCES ?

Sans vouloir faire ici une analyse approfondie de l'histoire et de l'épistémologie des sciences (voir, par exemple, Bachelard, 2004 ; Kuhn, 1973 ; Piaget, 1967 ; Stichweh, 1991), nous rappelons deux remarques qui ont des conséquences importantes sur l'enseignement des DIS à l'école.

1. La première est que le système scientifique actuel est né, au passage du 18e au 19e siècle, en rejetant toute forme de savoir qui ne peut pas être soumise à l'examen de la preuve. Mais il ne s'agit pas de n'importe quelle preuve. Celle-ci doit reposer sur les faits qu'on peut obtenir en analysant les objets et les phénomènes de la nature (exclusion, par exemple, de toute explication surnaturelle ou d'autorité), en adoptant un point de vue théorique particulier. En sciences, la place de la preuve appuyée par les faits est assurée par ce qu'on appelle communément la « méthode scientifique ». Celle-ci ne se réduit pas à une procédure technique ou un algorithme qu'on appliquerait de manière routinière à tout problème. Il s'agit plutôt d'une posture (d'un esprit scientifique, selon Bachelard) guidée par certaines questions centrales, dont trois nous semblent nécessaires pour guider les DIS à l'école : quel(s) problème(s) mérite(nt) d'être étudié(s) et pourquoi ? ; pour éclairer ce problème, quels sont les faits à chercher dans la nature ou à produire (et pourquoi ces faits et pas d'autres) ? ; en quoi ces faits constituent-ils une preuve de la compréhension du monde proposée ?
2. La deuxième remarque concerne la validité des processus et des savoirs produits. Comment peut-on juger de cette validité ? Encore une fois, l'histoire et l'épistémologie des sciences nous apprennent que la différenciation des sciences modernes s'est accompagnée également de la mise en place d'un système social de validation des savoirs. Il n'y a pas de vérité ou d'objectivité absolue en sciences. Comme le notait Bachelard (1971), « l'objectivité ne peut se détacher des caractères sociaux de la preuve. On ne peut arriver à l'objectivité qu'en exposant de manière discursive et détaillée une méthode d'objectivation » (p. 16). Deux conséquences importantes à cette évolution des sciences modernes méritent d'être considérées dans le développement de la pensée scientifique à l'école : a) les chercheurs ne peuvent pas exposer leurs seuls résultats (leurs « découvertes »), mais doivent également présenter l'ensemble du processus scientifique (ancrage théorique, méthode, faits, etc.) qui permettent d'en témoigner ; b) l'ensemble du processus est soumis au regard critique des pairs qui doivent juger s'il peut faire partie des sciences ou non. La communication (surtout dans le cadre de publications évaluées par les pairs) joue un rôle central dans ce processus. Mais cela ne signifie pas qu'une fois qu'un savoir a acquis le statut de science, qu'il le sera de manière définitive. Il gardera ce statut tant qu'il résistera aux preuves qui pourraient le remettre en question.

L'extrait suivant de Piaget (1967), tiré de son discours sur l'épistémologie, résume bien les deux idées que nous venons de présenter : « il est essentiel de se rappeler que, si l'épistémologie s'intéresse aux conditions de la connaissance valable, ce qui suppose une référence à la validité normative au sens de la logique, elle doit aussi évaluer les parts respectives du sujet et de l'objet dans la constitution de ces connaissances valables, ce qui suppose également une référence à des questions de fait » (p. 6). Rappelons que pour Piaget, la « logique est, en première approximation, l'étude des conditions de vérité » (*Ibid.*, p. 3).

4. DES REPÈRES POUR LES DÉMARCHES D'INVESTIGATION EN CLASSE

Les rappels que nous venons de présenter en nous basant sur l'analyse de programmes scolaires, de publications en éducation scientifique et en épistémologie et histoire des sciences ainsi que nos observations des pratiques de classe, réalisées sur de nombreuses années, nous conduisent à proposer quelques idées fondamentales visant à soutenir les réflexions sur les DIS à l'école.

4.1 Penser les DIS en termes de posture (une pensée scientifique) et non pas en termes de procédure

Les attributs utilisés dans les programmes d'études et dans les publications en éducation scientifique pour caractériser les DIS renvoient généralement à des apprentissages élémentaires que des auteurs nomment des habiletés intellectuelles et techniques (stratégies, dans les programmes québécois ; capacités, dans les programmes français ; etc.) et des attitudes. Dit sommairement, les habiletés intellectuelles renvoient aux modes de pensée mobilisés de manière spécifique dans le cadre des DIS (ex. : formuler adéquatement des questions ou des hypothèses ; analyser et interpréter les résultats issus d'une expérimentation) ; les habiletés techniques sont de l'ordre des tâches observables du travail scientifique (ex. : utiliser convenablement un instrument de mesure ; s'approprier les modes de présentation des résultats) ; les attitudes scientifiques renvoient notamment à la rigueur et au travail éthique (ex. : l'honnêteté intellectuelle nous interdit d'inventer des résultats ou de changer l'emplacement de points sur un graphique lorsque nous constatons qu'ils sont à l'extérieur de la courbe théorique attendue !). Bien entendu, il serait difficile de dresser une liste exhaustive de ces attributs. Le fait que les différentes définitions priorisent certains parmi ces derniers ne signifie pas que les autres sont inutiles. En outre, il est difficile d'envisager que tous les problèmes scientifiques mobilisent les mêmes habiletés et attitudes. Par exemple, l'exercice d'un raisonnement mathématique est important, mais il faut noter que certaines problématiques scientifiques de nature qualitative ne mobilisent pas cette habileté ; il serait également permis, sur le plan pédagogique, que cette habileté ne soit ciblée de manière spécifique que lorsque les intentions éducatives l'exigent. La même remarque s'applique à l'expérimentation. C'est une dérive de faire croire aux élèves que toutes les DIS nécessitent une expérimentation.

De manière à éviter les dérives potentielles associées à la définition des DIS à partir d'un ensemble prédéterminé d'attributs (habiletés et attitudes), nous proposons de penser celles-ci à partir de leurs fonctions en sciences et des principales questions auxquelles elles permettent de répondre : 1) quel problème scientifique doit-on étudier et pourquoi ? ; 2) quels sont les faits à chercher ou à produire pour étudier le problème retenu (et pourquoi ces faits et pas d'autres) ? ; 3) en quoi ces faits constituent-ils une preuve de la compréhension du monde proposée ? La figure 3 résume la conceptualisation alternative des DIS que nous proposons. Celle-ci s'articule autour des six idées principales suivantes, et que nous expliciterons dans les points 4.2 à 4.7 :

- Au départ de toute DIS : un problème scientifique à construire ;
- La diversité des processus de recherche et de validation des faits témoigne de la diversité des DIS ;
- Les faits n'ont d'intérêt que si on les organise de manière particulière afin de leur donner du sens ;
- Les DIS doivent être pensées dans une relation circulaire avec les savoirs conceptuels : une conceptualisation du monde est nécessaire pour construire un problème scientifique ; l'étude de ce dernier doit conduire à une nouvelle conceptualisation ;
- L'importance de tenir compte de la dimension sociale qui caractérise les processus scientifiques : une place à réserver aux débats et à l'argumentation dans le cadre des DIS à l'école ;
- Les DIS ne constituent pas une simple approche pédagogique : elles doivent prendre leur plein sens au sein du mode de pensée particulier qui est celui des sciences et des disciplines qui les composent.

4.2 Au départ de toute DIS : un problème scientifique à construire

En sciences, le point de départ de la compréhension des objets et des phénomènes de la nature est un problème (ou une question ou une hypothèse de recherche) qui met en évidence un manque de connaissances à combler. Comme le souligne Bachelard (2004), « 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 » (p. 16). Et Popper (1985) de rappeler que « la science ne commence que s'il y a problèmes » (p. 68). Ces derniers surgissent avant tout lorsque nos attentes se trouvent déçues ou que nos théories nous conduisent à des difficultés. Par exemple, lorsque Darwin a décidé d'observer les espèces animales et végétales dans différents milieux, il était animé par une problématique fondamentale qui s'inscrit dans une vision évolutive du monde biologique : comprendre l'unité et la diversité des espèces. Comment se fait-il que les êtres vivants qui partagent des caractéristiques fondamentales communes soient représentés par un nombre important d'espèces différentes ?

Pour l'école, ce statut du problème a, entre autres, trois conséquences importantes :

1. Les élèves ne travaillent pas, comme les chercheurs, sur des problématiques spécifiques sur de longues périodes en fonction de leurs champs d'expertise. C'est l'école qui doit les engager dans des problématiques qui dépendent des prescriptions des programmes et d'un déroulement orchestré par l'enseignant. Par conséquent, le processus de problématisation doit être soigneusement préparé par ce dernier ou par les ressources didactiques qui lui sont proposées. C'est la fonction première des mises en situation : un artifice intellectuel qui doit amener les élèves à se rendre compte de l'existence d'un problème scientifique à considérer. Le choix de celles-ci n'est cependant pas une tâche facile et le risque est grand qu'elles soient surtout utilisées pour simplement piquer la curiosité des élèves ou introduire le thème.

2. Les problèmes ne peuvent pas émerger spontanément en observant la nature de manière « neutre ». L'observation scientifique s'appuie sur un cadre théorique de nature scientifique qui est à distinguer de l'observation spontanée ou de sens commun. Un écologiste et un promeneur ne regardent pas un écosystème (une forêt, un marais, etc.) de la même manière. En constatant que les arbres qui couvrent une montagne sont absents du sommet de celle-ci, l'écologiste serait probablement préoccupé par la compréhension des conditions écologiques qui limitent le développement des arbres en altitude. Il ne s'agirait pas nécessairement du même regard du non-écologiste, qui profiterait probablement de cette absence d'arbres pour jeter un coup d'œil panoramique sur le beau paysage qui entoure la montagne.
3. Comme nous l'avons souligné ailleurs (Hasni et Samson, 2007, 2008), si les représentations des élèves et leurs cadres de référence orientent leurs observations et la construction du problème scientifique, les savoirs acquis préalablement (ou leur absence) le font autant. Nous avons intérêt, lors du choix des mises en situation visant la problématisation, à nous questionner si les élèves possèdent les savoirs nécessaires qui leur permettent d'élaborer le problème que nous souhaitons leur faire construire et s'ils vont le comprendre dans le même sens que nous le visons par nos intentions pédagogiques. En effet, ce qui constitue un problème scientifique pour le chercheur ou pour l'enseignant ne l'est pas nécessairement pour les élèves. Ne sommes-nous pas souvent étonnés de voir qu'un problème qui nous paraît simple ne fait aucun sens pour les élèves ? Illustrons nos propos à l'aide d'un exemple. L'observation suivante peut constituer une simple information anecdotique pour les élèves et, par conséquent, ne susciter chez eux aucun étonnement scientifique : certains reptiles résistent à des températures qui se situent nettement au-dessous de zéro (un lézard, *Lacerta vivipara*, est capable de survivre au moins trois semaines à la température de -3,5 degrés Celsius). Pour que cette observation conduise les élèves à s'étonner et à dégager un problème d'ordre scientifique, la maîtrise de certains savoirs est nécessaire :

- Les reptiles, en tant qu'êtres vivants, sont formés de cellules ;
- Celles-ci sont constituées essentiellement d'eau (en volume) ;
- L'eau, dans les conditions habituelles, gèle autour de 0 degré Celsius ;
- Le gel de l'eau provoque l'augmentation de son volume ;
- Les reptiles sont des animaux incapables de maintenir constante leur température intérieure (poïkilothermes) : celle-ci varie avec la température extérieure ;
- Si l'eau gèle à l'intérieur du corps, l'augmentation de son volume devrait conduire à l'éclatement des cellules et, par conséquent, à la mort de l'animal ;
- Etc.

C'est sur la base de ces savoirs que l'observation peut conduire à la construction d'un problème scientifique et à la formulation de questions pertinentes (figure 3), parce qu'elle est incompatible avec nos attentes (gel de l'eau à zéro degré C) : comment ces animaux font-ils pour survivre à des températures inférieures à zéro degré C alors que l'eau des cellules devrait geler et conduire à leur éclatement ? ; ont-ils des mécanismes qui leur permettent d'éviter le gel même lorsque les températures descendent au-dessous de zéro ? ; quels sont les facteurs (physiques ou chimiques) qui influencent la température de gel de l'eau ? ; etc. Sans la maîtrise des savoirs rapportés plus haut, il est difficile pour les élèves de voir où est le problème et pour l'enseignant de susciter leur intérêt pour le sujet abordé.

D'un autre côté, le fait de connaître la réponse au problème retenu rend la formulation de celui-ci inutile : si nous expliquons auparavant aux élèves les facteurs qui influencent la température de congélation de l'eau, nous risquons de rendre l'observation banale et sans intérêt. Bref, l'absence des savoirs nécessaires à la formulation du problème rend l'obstacle infranchissable par les élèves ; la présentation préalable des savoirs sur lesquels le problème est censé déboucher enlève tout obstacle et éteint, par conséquent, tout désir de recherche. Vygotski (1997) nous suggère de proposer aux élèves des problèmes qui se situent dans leur zone proximale de développement (ZPD).

Bref, une mise en situation porteuse d'une problématisation dans le contexte d'une DIS,

- ne se limite pas à introduire un thème («j'ai montré aux élèves la première page du journal qui parlait d'un séisme à Haïti, pour leur annoncer qu'aujourd'hui on va étudier les séismes»[5]) ou à piquer la curiosité des élèves ;
- doit déboucher sur un problème (ou une question ou une hypothèse) scientifique, dont l'étude conduit à des apprentissages bien ciblés en sciences ; les problèmes rencontrés dans la vie de tous les jours ne sont pas toujours de « bons » problèmes scientifiques ;
- doit tenir compte des représentations et des apprentissages antérieurs des élèves, tout en leur permettant de constater que leurs connaissances ne sont pas suffisantes pour comprendre le problème retenu ou, du moins, qu'ils ont besoin de prouver sur la base de faits que ces connaissances sont valides ;
- doit s'appuyer sur les postulats et les théories en sciences (à construire progressivement avec les élèves) et se distancier de la pensée de sens commun ;
- conduit à un problème qui pose un défi raisonnable.

Les fiches 1 à 3 présentent des exemples de problématisations (ou d'élaboration de questions) dans des classes du primaire et du secondaire, en considérant, respectivement, une mise en situation sur la caractérisation des parties des plantes à fleurs, l'autre sur la problématisation des échanges d'eau entre les cellules et le milieu extérieur (osmose) et la troisième sur l'étude de la structure de la Terre. Ces exemples, tout en illustrant le passage de la mise en situation à la problématisation, permettent de souligner les dérives des contextualisations « trop » ancrées dans la vie courante et fortement marquées de sens commun.

Les fiches 4 et 5 illustrent le potentiel et les défis qui accompagnent la formulation d'hypothèses dans le cadre de deux problématiques différentes : les facteurs qui influencent la croissance des plantes vertes ; l'effet de l'acide sur les coquilles de mollusques (sur le calcaire).

[5] Extrait d'une entrevue avec un enseignant au secondaire.

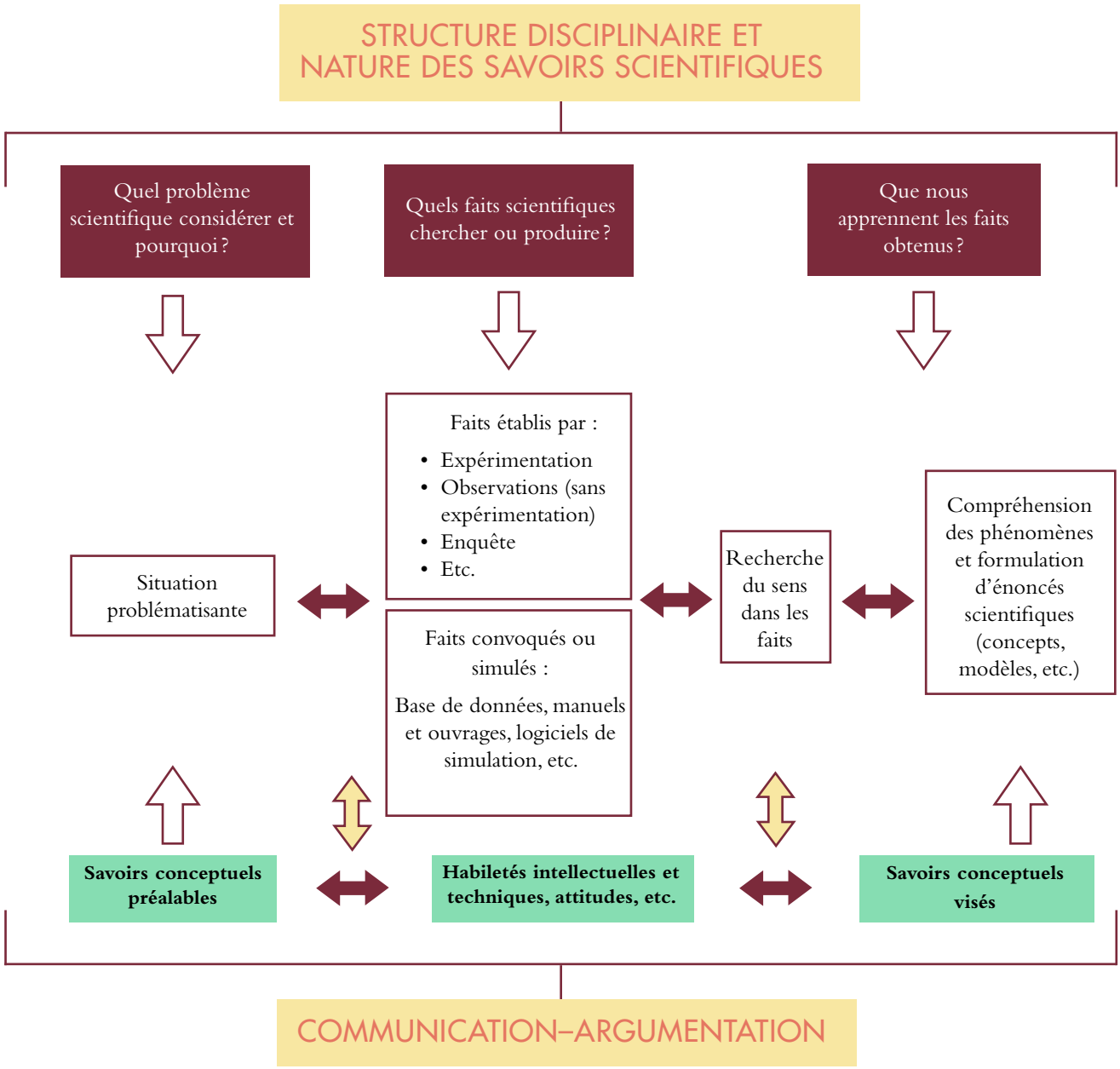


Figure 3 : Schéma intégrateur des démarches d'investigation scientifique (adapté de Hasni, 2011 ; Hasni et Bousadra, sous presse)

4.3 Une diversité des processus de recherche et de validation des faits : une variété de DIS

Une fois le problème (la question ou l'hypothèse) posé, la deuxième question qui s'impose lorsqu'on s'engage dans un processus scientifique est celle de savoir quels sont les faits à chercher ou à produire afin de contribuer à sa compréhension ? (Figure 3). Pour rendre compte de la diversité des DIS, il est important d'engager les élèves non seulement dans des problématiques dont l'étude nécessite des expérimentations, mais également celles qui font appel à d'autres modalités d'établissement des faits (observation sans expérimentation, modélisation, etc.).

4.3.1 L'expérimentation

De nombreuses problématiques en sciences donnent lieu à des questions ou à des hypothèses dont l'étude nécessite une intervention de l'expérimentateur pour produire les faits souhaités. Il s'agit, par exemple, des questions suivantes qui pourraient découler de mises en situation appropriées avec les élèves : quels sont les éléments de l'environnement qui influencent la croissance des plantes vertes ? Quel type de matériau permettrait de garder un chocolat chaud le plus longtemps possible par temps froid ?

Le point commun à ces questions est qu'elles nécessitent de faire appel à certaines hypothèses sur les facteurs (les variables potentielles) pouvant influencer les phénomènes considérés et de recourir à des expérimentations avec un contrôle de variables. Prenons la première question. De manière à vérifier l'effet potentiel de l'intensité lumineuse sur la croissance des plantes vertes, par exemple, il est important de planifier des expérimentations dans lesquelles il faut, à chaque fois, contrôler les autres variables : ne changer que la variable « intensité lumineuse » et garder les autres constantes (type de nutriments offerts ; humidité ; température ; type de plant ; concentration en gaz carbonique ; etc.). Bref, à chaque fois, l'expérimentateur doit faire la preuve que les faits recueillis ne témoignent que de l'effet de la variable étudiée.

Il est évident que pour proposer et mener adéquatement l'expérimentation attendue, il ne suffit pas de « planifier » l'expérience et de la « réaliser » (deux attributs souvent utilisés pour définir les DIS). Plusieurs autres habiletés, attitudes et savoirs doivent également être mobilisés. Par exemple :

- Que signifient les notions de variable (dépendante et indépendante) et de contrôle de variables ? Cette question renvoie non seulement à la maîtrise de ces notions, mais également à l'habileté d'isoler les variables. Par exemple, le fait que les élèves utilisent une source (des ampoules) pour contrôler l'intensité lumineuse peut être accompagné de la production de la chaleur. La rigueur scientifique nous oblige à contrôler cette dernière variable (exposition des plantes à un environnement de même température) pour pouvoir nous prononcer sur l'effet de la variable lumière seule.
- Doit-on utiliser de jeunes plants pour l'expérimentation ou des graines à semer ? Dans certaines situations observées en classes, on propose aux élèves de partir de graines pour l'étude du phénomène. Ce choix peut être accompagné de grands risques d'erreur, puisque lors de la germination, les plantes puisent dans les réserves des cotylédons pour se développer et ne « comptent » pas sur les produits de la photosynthèse. Il est probablement souhaitable que l'étude des graines et de la germination soit réalisée préalablement, à moins que l'intention pédagogique soit justement de confronter les élèves à cette problématique.

- Est-il acceptable d'utiliser un seul plant pour chaque expérimentation ? Dans des situations d'apprentissage proposées notamment par des manuels scolaires et observées dans certaines pratiques, on demande aux élèves d'expérimenter chaque facteur sur une seule plante. La rigueur devrait cependant nous amener à considérer la variabilité interindividuelle et à travailler à chaque fois sur plus d'une plante (en recourant à la moyenne).
- L'absence de la distinction entre la matière minérale et la matière organique risque de constituer également un obstacle à imaginer des expériences vérificatrices. La problématique de la photosynthèse repose sur la question suivante : comment est produite la matière organique qui permet à la plante d'assurer notamment sa croissance et son développement ? L'étude de cette question devrait conduire les élèves à comprendre que cette synthèse se fait à partir de la matière minérale et en utilisant l'énergie lumineuse (transformation de celle-ci en énergie chimique).

Bref, le recueil des faits ne se limite pas à deux attributs souvent utilisés pour définir les DIS, « planifier » et « réaliser » l'expérience. Il fait appel à la maîtrise d'autres habiletés, attitudes ou savoirs qui peuvent être soit génériques (ex. : isoler les variables) ou spécifiques à chaque discipline ou à chaque problème (ex. : choix des plants à utiliser lors de l'expérimentation).

À ces questions qui renvoient à la validité scientifique des faits à chercher en lien avec le problème retenu se posent d'autres questions d'ordre organisationnel. Exemples : comment planifier le suivi de l'expérimentation sur une longue période tout en avançant dans l'apprentissage d'autres contenus du programme ? Comment organiser le travail sur chacune des variables (en parallèle ou une après l'autre ; prises en charge de toutes les variables par chacune des équipes ou partage entre les équipes ; etc.) ? Comment s'assurer que les élèves ou les équipes qui font un travail différencié (sur des variables différentes, par exemple) réalisent tous les mêmes apprentissages ?

Les fiches 6, 7 et 11 illustrent l'engagement des élèves dans les processus du choix et de la validation des modalités de la recherche des faits scientifiques dans le contexte de démarches expérimentales : l'une visant l'étude des échanges thermiques (conductibilité et isolation) ; l'autre, les facteurs qui influencent la croissance des plantes vertes ; la dernière, la modélisation de la pression en tenant compte de la force et de la surface de contact. Ces fiches permettent également d'illustrer certains défis qui accompagnent ce type de recherche de faits.

4.3.2 L'observation sans expérimentation

Si la démarche expérimentale que nous venons d'illustrer à l'aide d'exemples a connu un grand succès au point que plusieurs l'utilisent comme modèle pour définir les DIS, c'est parce que l'expérimentateur peut intervenir dans la production et le contrôle des faits et qu'il ne se contente pas d'attendre qu'ils surviennent pour les constater. Or, dans des disciplines comme la biologie, l'écologie, l'astronomie, etc., la grande partie des activités scientifiques repose sur des recueils de faits qui ne font pas appel au contrôle des variables et à l'expérimentation qui en découle. La compréhension des objets et des phénomènes de la nature passe plutôt par l'observation non associée à l'expérimentation. Pensons, par exemple, à l'étude de la dynamique des populations dans leur milieu de vie, à l'observation des planètes, à la description et à la caractérisation des affleurements géologiques, à la caractérisation de la structure microscopique des racines et des tiges en vue de les différencier sur des bases autres que les caractéristiques apparentes à l'œil nu, à l'étude d'écosystèmes en vue de les décrire notamment par l'inventaire des espèces qui les composent et leur densité, etc.

Le cas le plus marquant est probablement celui de la théorie structurante de la biologie moderne, la théorie de l'évolution, dont les fondements ont été formulés par Darwin sans recourir à des expérimentations, mais plutôt à l'observation systématique.

Notons cependant qu'il ne s'agit ni d'observations spontanées (comme celle d'un promeneur en forêt) ni aléatoires (qui consistent à décrire les objets et les phénomènes lorsque nous les croisons au hasard). L'expression « observer attentivement » est très répandue dans les classes de sciences, comme si l'observation neutre et spontanée était suffisante. L'observation se fait toujours au regard d'une question précise et en fonction d'un cadre de référence à expliciter. Pour le dire dans des mots simples, si nous demandons à un artiste et à un géologue de nous décrire un même paysage, ils ne le feront certainement pas de la même manière : le premier mettrait probablement l'accent sur les couleurs (de la végétation et du ciel, par exemple) et l'aspect esthétique du paysage, entre autres ; le second sur les couches géologiques, les roches, les déformations du terrain, entre autres (Hasni et Samson, 2007). Pour décrire un même objet ou phénomène, les deux observateurs vont mettre l'accent sur des faits différents en se basant sur leurs cadres de référence respectifs. Dans l'enseignement, nous devons être très attentifs aux cadres de référence des élèves et à leurs représentations ainsi qu'à la manière avec laquelle ils interprètent des observations données pour construire ou comprendre un problème scientifique. Revenons toujours aux observations de Darwin qui sont derrière l'élaboration de la théorie de l'évolution : celles-ci étaient guidées par la préoccupation de ce savant à comprendre l'unité et la diversité du vivant dans une perspective évolutive.

Cette rigueur dans l'organisation des observations s'impose. Nous pouvons l'illustrer rapidement par un exemple simple : la description du processus d'apparition des feuilles sur les arbres au printemps (Hasni, 2011). Le phénomène peut paraître à première vue banal, puisqu'il fait l'objet d'observations de sens commun (nous constatons spontanément et continuellement des arbres qui croissent sous nos yeux !). Le fait d'amener les élèves à se questionner sur l'origine des feuilles et sur le processus de leur apparition les oblige à faire appel à des observations systématisées et planifiées. Il s'agit, par exemple, d'observer le même bourgeon au début du printemps sur une longue période. Des questions surgissent alors quant à l'organisation du recueil des faits : quoi observer ? ; à quelle fréquence ? ; comment prendre note des observations réalisées ? ; etc. L'ensemble du processus peut amener les élèves à décrire comment l'évolution d'un bourgeon (figure 4) peut conduire progressivement à la formation de feuilles, d'entre-nœuds et de nouveaux bourgeons. Il y a là une compréhension de base du développement des plantes à fleurs, qui peut être à la base d'autres questions plus poussées : quel processus permet aux bourgeons de générer les différentes parties de la plante tout en continuant à exister ? ; est-ce que ce sont les mêmes bourgeons qui se transforment en fleurs ? ; qu'arrive-t-il aux bourgeons non-apicaux lorsqu'on taille les arbres ? ; etc.

Les fiches 8 et 9 illustrent des modalités d'élaboration des faits par observation pour l'étude de l'osmose (fiche 8) et de l'apparition des feuilles sur les arbres (fiche 9). Les deux fiches illustrent des pratiques utilisées en classe ainsi que les défis qui les accompagnent.

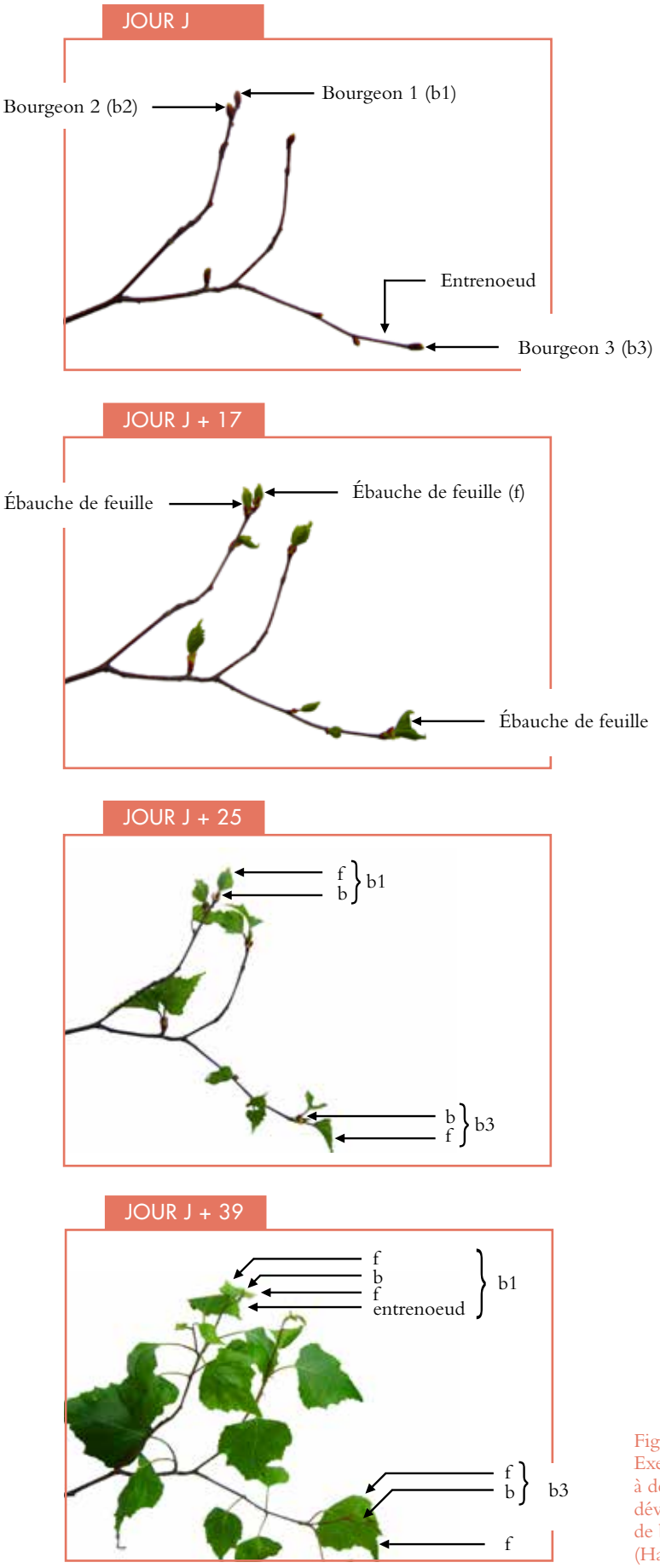


Figure 4 :
Exemples de photos prises à des moments différents du développement d'une branche de bouleau
(Hasni et Samson, 2008)

4.3.3 Autres modalités de recueil des faits

Soulignons rapidement deux autres modes de recueil des faits qui peuvent être intégrés à l'enseignement des sciences de manière à faire vivre aux élèves une diversité des DIS.

a) Les faits obtenus dans des situations quasi-expérimentales : des faits permettant de vérifier des relations entre des variables, mais qui ne sont pas produits par l'expérimentateur. Il s'agit, par exemple, de données disponibles qui peuvent nous informer sur les corrélations possibles entre l'exposition à certaines substances (ex. : tabac, amiante, etc.) et certaines formes de cancer. Les exemples sont nombreux et permettent de constater que, dans le fonctionnement des sciences, on est appelé parfois à recourir à des faits non produits par les chercheurs pour formuler une compréhension (même provisoire) de certains phénomènes. Des expérimentations supplémentaires (par exemple, des expérimentations sur des animaux) peuvent par la suite être mises en place pour mieux établir la validité des explications avancées.

Quelle implication pour l'école ? Il s'agit essentiellement de légitimer le recours à des données existantes comme faisant partie de la science « normale » et, par conséquent, des DIS. Il ne s'agit pas nécessairement de faire travailler les élèves sur des données complexes, comme celles utilisées par les chercheurs dans leurs domaines d'expertise (cas de la relation entre la consommation du tabac et le développement de certains cancers). Par ailleurs, ce type de pratique scientifique pourrait, par exemple, être utilisé lorsque les élèves, devant une mise en situation appropriée, sont en mesure de générer un problème (une question ou une hypothèse) et de proposer des modalités de recueil des faits, mais qu'ils ne peuvent pas réaliser les observations ou les expérimentations proposées (manque de matériel, complexité du protocole, durée très longue de l'expérimentation ou de l'observation, etc.). Prenons le cas de l'étude de l'adaptation des espèces et de la sélection naturelle. Les observations historiques réalisées sur la phalène du bouleau (*Biston betularia*), petit papillon de nuit, sont d'une telle richesse qu'il est souhaitable de les adapter à l'école secondaire. En soumettant aux élèves une mise en situation dans laquelle est présentée l'évolution du pourcentage des phalènes claires et des phalènes sombres observée à la fin du 19e siècle dans les forêts polluées de l'Angleterre industrielle (voir encadré 1) (Cain, Damman, Lue et Yoon, 2013 ; Kettlewell, 1955 ; Majerus, 2009), les élèves pourraient émettre diverses hypothèses sur cette évolution des populations : pollution des papillons par la suie ; ingestion de feuilles polluées ; prélèvement par les prédateurs des phalènes claires plus visibles sur les troncs d'arbres pollués ; etc.

Encadré 1 : La phalène du bouleau

En Grande-Bretagne, avant 1848, les populations de phalènes du bouleau étaient majoritairement de type clair ou clair tacheté ; on pense que les phalènes de type sombre (figure 5) représentaient moins de 1 %. La situation a changé au cours de la révolution industrielle du 19e siècle, qui a été accompagnée notamment par le dépôt de particules de suie sur les troncs d'arbres et par la disparition d'une grande partie des lichens de leur surface dans les régions polluées : à partir de 1848, les populations de phalènes sombres commencent à prendre plus de place. Dans certaines régions polluées, en 1895, environ 98 % des phalènes étaient sombres.

1. Quelle(s) hypothèse(s) pouvez-vous proposer pour expliquer ces observations ?
2. Si vous étiez chercheur et que vous aviez les moyens de tester vos hypothèses, quelle démarche proposeriez-vous ?

Figure 5 : Phalène de bouleau claire (à gauche) et sombre (à droite) (Majerus, 2009)

Et si vous étiez chercheur et que vous aviez les moyens de tester vos hypothèses, que feriez-vous ? Avec ce type de question, les élèves pourraient être amenés à proposer des protocoles expérimentaux (même imparfaits). De manière à s'assurer de la validité des protocoles proposés, des informations minimales sur l'écologie de la phalène doivent être fournies préalablement aux élèves. Il s'agit de souligner, par exemple, que la phalène du bouleau est un papillon de nuit et qu'il est peu actif (ne vole pas) le jour.

Une fois la validité des protocoles discutée, l'enseignant pourrait fournir aux élèves des tableaux de résultats d'études réalisées par les chercheurs de l'époque (Kettlewell, 1955) ou reprises dans le cadre de travaux récents (Majerus, 2009). Les tableaux 1 et 2 illustrent de manière sommaire les résultats d'études réalisées par Kettlewell (1955).

Le tableau 1 rapporte les résultats de l'expérience qui consistait à lâcher des phalènes (claires et sombres) sur des troncs d'arbres et à compter celles qui sont moins visibles à l'œil (et donc aux prédateurs). Cette expérience a eu lieu dans la région de Birmingham (polluée).

Tableau 1
Visibilité des phalènes sombres et claires sur les troncs d'arbres

PHALÈNES SOMBRES		PHALÈNES CLAIRES	
Nombre de phalènes lâchées sur les troncs	Nombre de phalènes « discrètes » (pas facilement visibles à l'œil)	Nombre de phalènes lâchées sur les troncs	Nombre de phalènes « discrètes »
366	358 (98 %)	154	17 (11 %)

Le tableau 2 présente les résultats d'une autre expérience réalisée par Kettlewell (1955) dans la même région polluée (Birmingham). Des individus mâles sombres et clairs ont été marqués avec une tache de peinture sous les ailes (pour faciliter leur identification et les différencier des phalènes déjà existantes dans le milieu) et lâchés le matin près des arbres. La nuit, des pièges (lampes pour attirer les papillons) ont été installés pour leur capture.

Tableau 2
Résultats d'une expérimentation visant à tester l'hypothèse des prédateurs pour expliquer la prédominance de la population des phalènes sombres

PHALÈNES SOMBRES		PHALÈNES CLAIRES	
Nombre de phalènes lâchées	Nombre de phalènes capturées	Nombre de phalènes lâchées	Nombre de phalènes capturées
447	123 (27,5 %)	137	18 (13,1 %)

L'analyse de ces résultats devrait conduire les élèves à constater la force de l'hypothèse des prédateurs, ce qui constitue une bonne base de la conceptualisation de l'adaptation par sélection naturelle (figure 5) : ce concept met l'accent sur l'apparition dans une population d'individus d'une variation génétique (et phénotypique) qui leur confère une meilleure chance de survie et de reproduction ; le nouveau génotype amène par conséquent un déplacement de la composition de la population et une évolution de celle-ci.

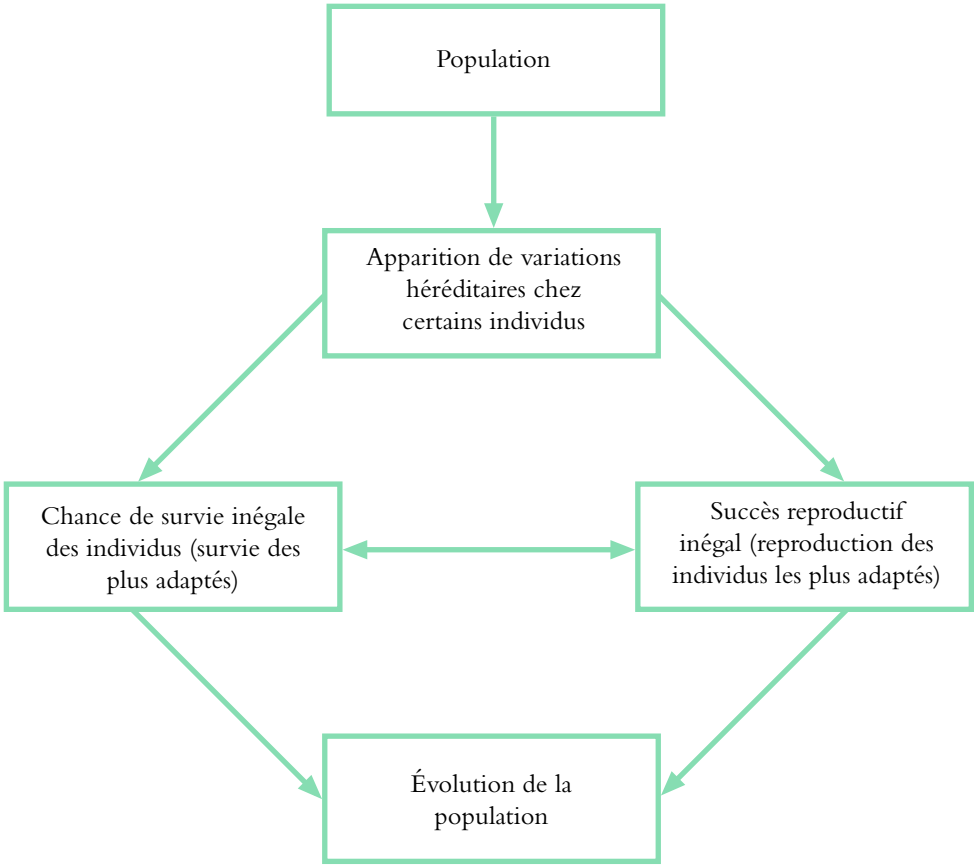


Figure 6 :
Résumé de la sélection naturelle (adapté de Campbell et Reece, 2007)

La fiche 10 illustre les apports et les défis qui accompagnent l'exploitation des données de cette nature dans les classes du secondaire.

Une exploitation semblable pourrait se faire dans le cas de la description du développement des bourgeons. Une fois que les élèves auraient proposé et validé un protocole d'observation scientifique, l'enseignant pourrait leur fournir des images prises à des intervalles réguliers sur un ou plusieurs bourgeons bien identifiés sur un arbre. Sans réaliser par eux-mêmes les observations directes nécessaires au recueil des faits, ils pourraient le faire indirectement (analyse des photos fournies).

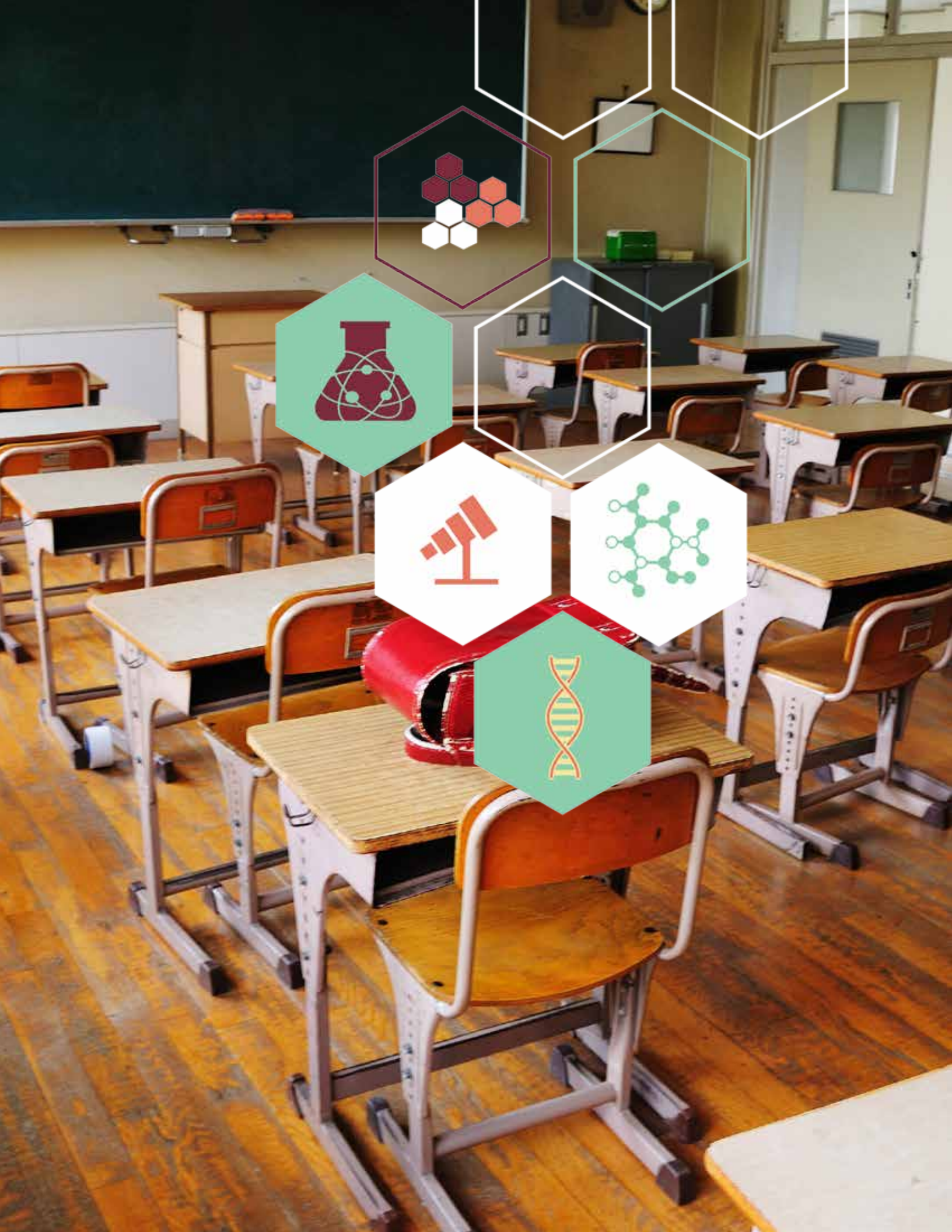
b) Dans de nombreux cas, des chercheurs font appel non pas à l'expérimentation ou à l'observation pour produire les faits nécessaires, mais à la modélisation (faits supposés, sur la base des connaissances disponibles). Par exemple, pour répondre à la question « par quel mécanisme une molécule d'eau accumule-t-elle assez d'énergie pour passer de l'état liquide à l'état gazeux ? », des chercheurs ont fait appel à la simulation par ordinateur des interactions entre molécules d'eau (Glavieux, 2016). Cet exemple illustre un autre type d'activité scientifique qui ne fait pas appel à l'expérimentation, mais à des « faits » générés par des modèles théoriques.

Là encore, l'implication pour l'école n'est pas d'engager les élèves dans ce genre de simulations complexes de spécialistes. Il s'agit surtout de souligner l'importance de mettre les élèves dans des situations comparables à celles vécues par les chercheurs et qui permettent de refléter la diversité des activités scientifiques (des DIS). Une des applications possibles à l'école est celle visant le recours à des logiciels de simulation. Dans le cadre de simulations de l'activité enzymatique, par exemple, les élèves pourraient être amenés à tester, entre autres, les effets du changement de la température, du substrat ou du produit sur la vitesse de réaction et sur l'équilibre final.

En conclusion

Que retenir de cette section pour orienter les pratiques de classe ?

- De manière à développer une vision plus ouverte des DIS et éviter son association à une procédure technique stéréotypée, il est important de mettre les élèves dans des contextes qui illustrent la diversité de ces démarches et non pas uniquement la démarche expérimentale ;
- Si l'expérimentation n'est pas toujours nécessaire pour caractériser les DIS, il en est de même pour certains attributs fréquemment utilisés pour les définir. C'est le cas, par exemple, de l'hypothèse. Souvent, celle-ci est confondue avec l'expression des conceptions des élèves. Est-ce qu'il est important de tenter de comprendre ce que les élèves connaissent (leurs conceptions) d'une question avant de l'éclairer par une DIS ? Certainement. Mais ces conceptions ne renvoient pas toutes à des hypothèses au sens strict (des propositions appuyées sur des connaissances antérieures et qu'on peut mettre à l'épreuve en faisant appel à des faits). Si la proposition de variables qui risquent d'influencer la croissance d'une plante à fleurs renvoie à des hypothèses, il est difficile de formuler une hypothèse au sens strict lorsqu'il s'agit de décrire le développement de bourgeons, par exemple. Étudier les facteurs qui influencent ce développement est une autre problématique qui, elle, peut faire appel à des hypothèses.
- Les faits à considérer dans les DIS peuvent être produits (par expérimentation, par exemple) ou constatés (données d'observation ou données disponibles, donnant suite à des expérimentations réalisées par d'autres, par exemple) ;
- Les faits recherchés pour appuyer la preuve ne sont pas toujours de nature quantitative ; ils peuvent également être de nature qualitative.



4.4 Donner sens aux faits : distinguer l'analyse de l'interprétation qui en découle

Ici, il s'agit de considérer notre troisième question de la figure 3 : en quoi les faits obtenus peuvent-ils soutenir la compréhension scientifique proposée ? Soulignons que les faits ne parlent pas d'eux-mêmes. N'entendons-nous pas de temps en temps des acteurs scolaires dire qu'ils veulent « faire les expériences pour permettre aux élèves de visualiser leurs apprentissages » ? En sciences, il faut organiser les faits pour en extraire le sens. Comme le dit bien Poincarré (1960), « ne pouvons-nous pas nous contenter de l'expérience toute nue ? Non, cela est impossible ; ce serait méconnaître complètement le véritable caractère de la science. Le savant doit ordonner ; on fait la science avec des faits comme une maison avec des pierres ; mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison » (p. 168). Cette citation est forte de sens et devrait être affichée dans toutes nos classes de sciences !

Parmi les conséquences de cette posture sur l'enseignement et l'apprentissage des DIS, deux méritent d'être soulignées ici :

Premièrement, la distinction, rarement faite dans les programmes et les manuels, entre les activités d'analyse et les activités d'interprétation. Nous l'avons souligné plus haut, l'interprétation est absente de la liste des attributs utilisés dans les programmes pour définir les DIS. Dans certains manuels, on se contente de faire appel à l'analyse, dans d'autres, aucune de ces activités (l'analyse et l'interprétation) n'est mentionnée. Par exemple, dans une collection, on propose aux élèves des fiches composées des étapes suivantes qui suggèrent le passage direct de l'expérimentation à la conclusion : hypothèse ; matériel ; protocole et expérimentation ; conclusion.

Les activités d'analyse ont comme but premier d'organiser les faits de manière à souligner les constats dignes d'intérêt en lien avec la problématique (la question ou l'hypothèse). Par exemple, à la suite de l'expérimentation sur la nutrition végétale, l'analyse des faits permet de souligner que la croissance des plantes vertes est corrélée, jusqu'à un certain point, à l'intensité lumineuse. L'interprétation, quant à elle, va plus loin que les constats en proposant des explications argumentées et en formulant éventuellement des énoncés scientifiques : l'utilisation par la plante de la matière minérale (eau, sels minéraux et gaz carbonique) et de l'énergie lumineuse pour croître, et donc pour produire (faire la synthèse de…) sa propre matière organique. Le processus est ainsi désigné de photosynthèse.

Deuxièmement, toute recherche de sens doit s'inscrire dans un cadre théorique particulier et contribuer à la compréhension des objets et des phénomènes de la nature. Pour reprendre les propos de Poincarré, la « pierre » (la compréhension localisée) sur laquelle débouche la problématique scientifique particulière retenue doit être mise en relation avec les autres « pierres », dans un réseau conceptuel qui permet de mieux rendre compte du phénomène ou de l'objet étudié. Prenons de nouveau la nutrition végétale. Si nous voulons être cohérents avec la problématique de départ, nous ne pouvons pas nous contenter, comme c'est le cas plus souvent, de dire que la plante utilise le gaz carbonique, l'eau et l'énergie lumineuse pour produire du sucre (le glucose). Cette synthèse à elle seule ne peut expliquer la croissance de la plante. D'ailleurs, pourquoi dit-on aux élèves que les plantes ont besoin d'autres éléments comme l'azote, le phosphore ou le soufre ? Il faut donc aller plus loin et faire le lien entre la production du sucre et celle des autres types de matière organique nécessaires à la croissance (protéines, lipides, etc.).

4.5 Les DIS : des savoirs conceptuels préalables et des savoirs à construire

L'exemple que nous venons d'invoquer illustre la relation que les DIS doivent entretenir avec la conceptualisation. Lorsqu'on respecte les processus scientifiques, on ne peut pas commencer par l'explication de la « théorie » aux élèves avant de les engager dans l'expérimentation (le laboratoire) visant à illustrer les apprentissages réalisés. La compréhension du phénomène de la photosynthèse doit découler des faits recueillis et de leur interprétation. Dans cette perspective, il est important de distinguer les savoirs conceptuels préalables, nécessaires à la construction du problème scientifique retenu, d'une part, et les savoirs conceptuels visés par le recours aux DIS, d'autre part (voir figure 3). Nous entendons par savoirs conceptuels les compréhensions qui nous permettent de nous construire une représentation du monde et qui renvoient, dans le contexte scolaire, principalement aux concepts, aux modèles et aux théories. D'une part, la construction du problème de départ (la nutrition des plantes) nécessite des savoirs préalables (la nutrition comme caractéristique du vivant ; la distinction entre la matière minérale et la matière organique ; la structure et l'organisation des plantes ; etc.). D'autre part, l'ensemble du processus (le recours aux DIS) devrait conduire les élèves à se construire une nouvelle compréhension : les plantes vertes utilisent la matière minérale et l'énergie lumineuse pour croître (fabriquer leur propre matière organique). Cette production (synthèse), qui repose sur l'utilisation de l'énergie lumineuse, s'appelle la *photosynthèse*. Bachelard (2004) fait de cette relation entre la conceptualisation (la formulation d'énoncés scientifiques généralisables, exprimés mathématiquement ou de manière qualitative) et la recherche ou la production des faits le point central de l'esprit scientifique : « la tâche première où s'affirme l'esprit scientifique [est la conciliation entre] les lois et les faits » (p. 5).

Il est par ailleurs important de souligner que l'acquisition des concepts et des modèles ne se résume pas à l'apprentissage « par cœur » de définitions ou de formules mathématiques. Plusieurs acteurs de l'éducation pensent, à tort, que le fait que les élèves maîtrisent le vocabulaire qui désigne les objets ou les phénomènes naturels qui les entourent, comme les végétaux, les bourgeons, les insectes, les mammifères, les fleurs, la photosynthèse, la reproduction, la force, etc., est une preuve qu'ils ont une compréhension scientifique de ces derniers (Hasni et Roy, 2006 ; Hasni et Samson, 2007). Il n'en est rien. Comme le disait Vygotski (1997) déjà en 1934 :

> L'enseignement direct de concepts s'avère toujours pratiquement impossible et pédagogiquement sans profit. Le maître qui tente de suivre cette voie n'obtient habituellement rien d'autre qu'une vaine assimilation des mots, un pur verbalisme, simulant et imitant chez l'enfant l'existence des concepts correspondants, mais masquant en réalité le vide. L'enfant assimile alors non pas des concepts, mais des mots. Il acquiert par la mémoire plus que par la pensée et s'avère impuissant dès qu'il s'agit de tenter d'employer à bon escient la connaissance assimilée (p. 277).

L'appropriation des concepts scientifiques renvoie plutôt à une construction de sens, dans un processus dynamique qui met en relation le monde des objets et des phénomènes (établissement des faits scientifiques), d'une part, et l'élaboration théorique (production d'une compréhension scientifique et élaboration conceptuelle), d'autre part (Martinand, 1994).

S'il est important de ne pas confondre maîtrise du vocabulaire et appropriation des concepts à l'école, il est aussi nécessaire d'être attentif à la relation entre les concepts scientifiques et les concepts de sens commun, ou concepts quotidiens (Vygotski, 1997). L'usage dans le quotidien de mots tels que force, fruit, énergie, etc., risque d'interférer avec leur signification sur le plan scientifique (Hasni et Roy, 2006). En ce sens, les acteurs scolaires ont intérêt à faire la distinction entre ces deux modes de compréhension des objets et des phénomènes et surtout d'amener les élèves à voir cette distinction et à comprendre que les sciences constituent un mode particulier de l'appréhension de la réalité.

4.6 La dimension sociale des DIS : les débats et l'argumentation

Puisqu'il n'y a pas de vérité absolue en sciences et que la validité des processus et des savoirs scientifiques passe par leur résistance à l'examen des pairs (notamment lors des communications et des évaluations des publications), l'école a intérêt à développer cette compétence chez les élèves dans le cadre des DIS : les amener à apprendre à argumenter le choix de leur problème de recherche, le rationnel sous-jacent aux faits retenus ainsi que leur exploitation en vue d'élaborer la compréhension de l'objet ou du phénomène considéré. Avec l'argumentation, le savoir n'a de légitimité que par le fait qu'il soit en mesure d'être prouvé (Buty et Plantin, 2008). Du coup, les élèves n'ont d'autre choix que de s'engager, avec les enseignants et avec les pairs, dans des pratiques discursives appuyées par des faits et fondatrices des savoirs. Dans le contexte scolaire, cette argumentation ne peut pas survenir uniquement à la fin du processus pour légitimer ce qui a été fait. Elle doit faire l'objet d'un apprentissage bien planifié et doit, par conséquent, être sous la médiation de l'enseignant. Autrement, le débat peut tourner facilement en une discussion de sens commun.

Il ne faut cependant pas tomber dans le piège du relativisme, comme le véhicule une certaine interprétation du constructivisme, en laissant les élèves « découvrir par eux-mêmes » et en considérant que toutes leurs conclusions qui résistent à la discussion en classe sont valables. L'expression « les élèves apprennent par eux-mêmes » est tellement à la mode qu'il n'est pas rare d'entendre certains éducateurs dire « qu'ils n'ont plus rien à faire en classe » puisque les élèves travaillent entre eux en équipe et qu'ils sont capables de réaliser leurs tâches de manière autonome ! Le rôle de l'enseignant, comme médiateur entre les élèves et les savoirs, est fondamental. C'est lui qui doit être vigilant à la nature des arguments et des débats afin que les élèves se construisent une représentation du monde (et des savoirs) compatible avec les modèles admis par la communauté scientifique.

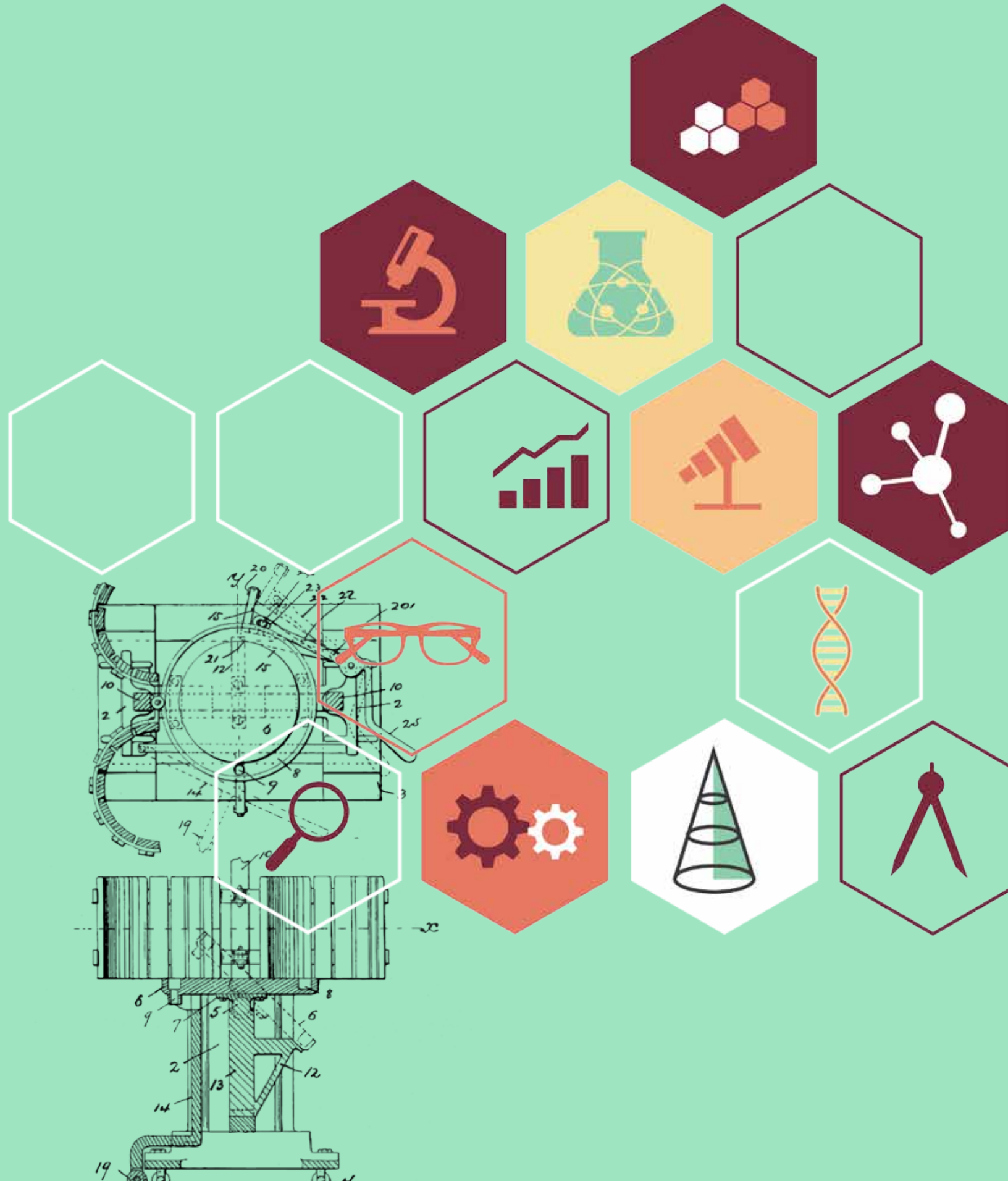
4.7 Penser les DIS dans le cadre du système et des disciplines scientifiques

Nous avons souligné au point 4.2 que l'observation ne se fait pas de manière neutre. Notons également que nous n'observons pas non plus la réalité (absolue), mais des faits bruts que nous devons transformer en faits scientifiques. Lorsque nous travaillons avec les élèves sur un circuit électrique, ce qui est important comme fait à analyser, ce n'est pas qu'une ampoule allume ou non ou qu'elle allume de façon plus forte ou moins forte (fait brut), mais le fait que le courant passe (avec une intensité plus élevée ou moins élevée) ou ne passe pas (fait scientifique à analyser) (Poincarré).

Notons cependant que ce ne sont pas seulement les observations et le recueil des faits, d'une manière générale, qui doivent s'inscrire dans une perspective particulière, celle du regard scientifique et des disciplines qui composent ce champ. On n'observe pas en sciences comme on observe dans la vie de tous les jours. Ce constat s'applique à l'ensemble du processus scientifique et aux activités qui structurent les DIS.

Soulignons notamment, en plus de ce qui a été rapporté au point 4.2, que dans de nombreux cas, l'élaboration des problèmes scientifiques repose sur des postulats que les enseignements scientifiques doivent développer chez les élèves. Citons, à titre d'exemple, en plus des théories structurantes de chacune des disciplines, le principe d'actualisme en géologie et l'absence de finalisme en biologie. Le principe d'actualisme permet d'admettre que la relation entre les causes et les conséquences observées actuellement prévalaient également dans le passé. Lorsqu'on découvre un fossile dans une couche géologique de nature argileuse, sachant que l'argile se sédimente actuellement dans des milieux aquatiques peu agités, on peut admettre que ce sont les mêmes conditions qui prévalaient dans le passé à l'endroit où se trouve ladite couche géologique. C'est ainsi que se pose progressivement le problème de l'étude des conditions des formations géologiques en question et des conditions de vie du fossile découvert.

L'absence du finalisme rend aussi certaines questions inutiles en sciences alors qu'elles peuvent être tout à fait pertinentes et légitimes dans la vie de tous les jours. Pourquoi vivons-nous sur cette planète ? ; pourquoi les humains ont-ils deux yeux et deux mains ? ; etc. Les sciences n'ont pas de réponses à ces questions parce qu'elles ne peuvent pas fournir de preuves basées sur les faits pour les soutenir. Tout ce que les sciences peuvent apporter, c'est d'expliquer les conditions qui se sont réunies sur Terre pour que nous puissions la peupler ou les avantages potentiels que peut nous procurer le fait d'avoir deux yeux. L'acquisition de rudiments historiques et épistémologiques par les élèves est nécessaire pour leur permettre de mieux saisir le sens des DIS comme mode de pensée.



5. QUELLE PLACE POUR LES ÉLÈVES DANS LA CONDUITE DES DIS ?

Jusque-là, nous avons parlé surtout de l'esprit des DIS sans trop mettre l'accent sur le rôle de l'élève dans la mise en œuvre de ces dernières. C'est cette question que nous souhaitons aborder ici : nos pratiques permettent-elles aux élèves de s'engager dans les DIS ? Pour répondre à cette question, il est possible de la décomposer en trois sous-questions qui reposent sur l'esprit de la figure 3 :

1. Jusqu'à quel degré les élèves sont-ils engagés dans l'élaboration d'un problème, d'une question ou d'une hypothèse scientifique (analyse de la mise en situation, formulation et discussion du problème, etc.) ?
2. Jusqu'à quel degré sont-ils engagés dans la proposition de pistes permettant de chercher les faits nécessaires à l'étude du problème (ex. : proposition d'un plan d'expérimentation ou d'observation ; recherche des faits ; etc.) ?
3. Jusqu'à quel degré sont-ils engagés dans la recherche du sens à partir des faits obtenus (ex. : analyse, interprétation, formulation de généralisation ou d'énoncés scientifiques, etc.) ?

Pour chacune de ces questions et des activités scientifiques qui l'accompagnent, il est possible d'analyser les pratiques de classe en recourant à une échelle allant de 1 à 3 (valeurs arbitraires) en adoptant les cadres d'analyse proposés par les auteurs comme Banchi et Bell (2008), Chinn et Malhotra (2002), Furtak, Seidel, Iverson et Briggs (2012) et Windschitl, Thompson et Braaten (2008) (figure 7) :

Figure 7 : Le degré d'engagement des élèves dans les activités associées aux DIS : entre la « transmission », la médiation et le « laisser-faire » (adapté de Hasni, 2011 ; Hasni et Bousadra, 2016)

- À gauche de l'échelle (niveau 1), c'est l'enseignant qui prend en charge l'activité scientifique considérée. On est dans la logique de la démonstration ou de la simple transmission. C'est l'enseignant, par exemple, qui va proposer la question à étudier, le protocole, l'analyse des résultats, etc. Le principal rôle des élèves consiste à bien écouter afin de « comprendre ». L'extrait suivant, tiré d'une entrevue avec un enseignant, illustre ce niveau : « C'est une démarche expérimentale qu'ils vont vivre, sauf que je leur donne la question et le protocole… J'explique aussi les résultats obtenus ».
- À droite de l'échelle (proche de la valeur 3), c'est une manière d'envisager le rôle des élèves qu'on peut associer à une certaine compréhension du constructivisme ou du socioconstructivisme et que reflète l'expression suivante : « laisser les élèves apprendre par eux-mêmes ». Il s'agit d'une dérive qu'on peut qualifier de « laisser-faire » et qu'illustre l'extrait suivant : « Je parle moins en classe. Je laisse les élèves travailler en équipe. La semaine dernière, j'ai eu comme un choc. Je me suis dit "Oh, mon Dieu ! Ce n'est pas que c'est rendu plate enseigner, mais mes élèves n'ont plus besoin de moi." Je suis assis à mon bureau et je les regarde travailler ».
- Entre les deux pôles (autour de la valeur 2), il est possible de mettre un large spectre d'interventions qui s'appuient sur la médiation : encourager les élèves à réaliser par eux-mêmes les tâches associées aux DIS, mais en les amenant à réguler au fur et à mesure ces tâches. Il ne s'agit pas de leur dire quoi faire, mais de les questionner sur le rationnel de leur choix et les inviter à l'expliciter. Sur le plan pédagogique, il n'y a pas une seule façon de faire. L'important, pour reprendre l'idée de « zone proximale de développement » de Vygotski, est de les engager dans des échanges avec l'enseignant ou avec les pairs, leur permettant de réaliser des tâches et des apprentissages qu'ils sont incapables de réaliser seuls.

Un des enjeux importants en éducation scientifique est d'amener progressivement les élèves à prendre en charge de manière autonome, avec la médiation de l'enseignant, les activités qu'exigent les DIS. Il est cependant vrai que l'atteinte de ce but n'est pas facile. Les arguments avancés par les enseignants en ce sens sont nombreux et légitimes. Par exemple, on se plaint que les élèves ne sont pas capables de s'engager dans des activités de cette nature ; on évoque le manque de temps (les DIS demandent beaucoup de temps, alors qu'il y a trop de contenu à couvrir) ; on rapporte les difficultés liées à la gestion de la classe lorsqu'on laisse les élèves explorer librement certaines questions ; etc.

6. DE NOMBREUX DÉFIS À CONSIDÉRER : DES PISTES DE RÉFLEXION

Les défis reliés à l'intégration des DIS dans les enseignements scientifiques sont très nombreux et dépassent les exemples que nous venons de souligner. Certains défis relèvent de l'école ou de l'enseignement des sciences en général (nombre d'élèves ; gestion de la discipline en classe ; disponibilité du matériel et des laboratoires ; temps accordé à l'enseignement des sciences dans la grille horaire ; diversité des disciplines et des contenus qui composent les programmes ; disponibilité des ressources de qualité destinées aux élèves et aux enseignants ; etc.). D'autres défis sont spécifiques aux DIS. Nous n'avons nullement la prétention, dans le cadre de ce travail, de faire le tour de tous ces défis et encore moins de leur proposer des solutions définitives. Notre but est d'insister sur certains défis qui accompagnent de manière spécifique la mise en œuvre des principales orientations que nous venons de présenter.

a) Un des défis importants : le temps. Les enseignants le soulignent souvent. Les DIS prennent beaucoup de temps et il serait impossible de recourir de façon systématique à ces dernières. Nous sommes tout à fait d'accord avec cette mise en garde. Que faire alors pour introduire les élèves à cette composante centrale de l'éducation scientifique malgré la contrainte de temps ? La piste que nous proposons consiste à faire appel à la programmation annuelle et à repérer les contenus « exemplaires » qui se prêtent mieux aux DIS, d'une part, et qui permettent de mieux illustrer la diversité de ces démarches, d'autre part. Il nous paraît inutile de tenter d'utiliser les DIS lorsqu'il s'agit, par exemple, de comprendre l'anatomie du corps (les os ; la structure de l'œil ou de l'oreille ; etc.) ou d'étudier des problématiques complexes comme la structure de l'ADN ou la synthèse des protéines, entre autres. Repérer dans les programmes annuels une douzaine de situations, par exemple, qui permettraient aux élèves de se familiariser adéquatement avec les DIS serait plus formateur que de faire appel à des démarches incomplètes en tentant de les appliquer à tous les contenus durant toute l'année.

b) La non acquisition par les élèves des habiletés de base permettant de s'engager dans des DIS. On entend souvent des arguments en lien avec ces défis : « les élèves sont incapables de formuler une hypothèse ou de proposer un protocole » ; « ils sont perdus et ne savent pas quoi faire » ; « ce ne sont pas tous mes élèves qui ont vécu les démarches lorsqu'ils étaient au primaire » ; etc. Ces constats, même s'ils sont vrais, ne nous dispensent pas de chercher des pistes pour améliorer la situation. Un des rôles de l'école n'est-il pas justement de faire apprendre aux élèves ce qu'ils ne maîtrisent pas ? Une des pistes qui nous semble prometteuse est d'alterner l'apprentissage de certaines habiletés de base et l'exercice partiel ou total des DIS. En d'autres termes, il ne faut pas hésiter à faire travailler les élèves par moment sur une habileté particulière, comme la formulation adéquate d'une hypothèse ou la proposition d'un protocole, ou sur des portions de démarches avant de les engager dans un processus complet de DIS.

c) Le manque de matériel de laboratoire. Plusieurs enseignants se plaignent, avec raison, du manque de matériel d'observation et d'expérimentation dans les écoles. Cela dit, il nous semble qu'il serait impossible pour une école de disposer de tout le matériel nécessaire aux DIS auxquelles peut faire appel un programme d'étude au complet. Une des pistes que nous proposons pour pallier (même ponctuellement) ce problème est de faire appel de temps en temps à des données existantes. Comme nous le montrons dans la première section de ce document et que nous illustrons avec l'étude de l'adaptation biologique en faisant appel aux données disponibles sur l'évolution de la population de la phalène du bouleau,

cette façon de faire ne permet pas seulement de contourner un problème matériel, mais d'amener les élèves à se familiariser avec ce type de pratiques qui font partie des sciences « normales ».

d) Sans faire le tour de tous les défis, terminons par un dernier, associé à la réalité scolaire prédominée davantage par des discours sur les fondements éducatifs « transversaux » (les approches, les méthodes, les compétences, etc.) que sur les fondements spécifiques à l'enseignement des sciences (comme ceux que nous venons de présenter en lien avec les DIS). C'est un défi énorme pour les enseignants. Par exemple, comment articuler le recours aux DIS avec les autres approches préconisées dans les écoles : les approches par compétences, par problèmes, par projets ou interdisciplinaires, l'enseignement stratégique, l'enseignement explicite, etc., pour ne nommer que ces exemples. Dans une analyse antérieure (Hasni et Lenoir, 2011), nous proposons de distinguer, dans les cours de sciences, les apprentissages disciplinaires (en vert dans la figure 8) des autres apprentissages scolaires (en jaune dans la figure 8). « L'appropriation de la structure disciplinaire, qui met en relation les savoirs conceptuels (*substantive structure*) et les processus de leur élaboration (*syntactical structure*), dont les DIS, ainsi que des dimensions sociologiques et épistémologiques sont au cœur d'une éducation scientifique scolaire "pour tous" et en constituent la visée principale. Les différentes approches (par compétences, par objectifs, par projets, interdisciplinaires, etc.), même si elles peuvent faire l'objet d'apprentissages scolaires, doivent être considérées comme des moyens permettant de favoriser la poursuite de cette visée » (p. 6).

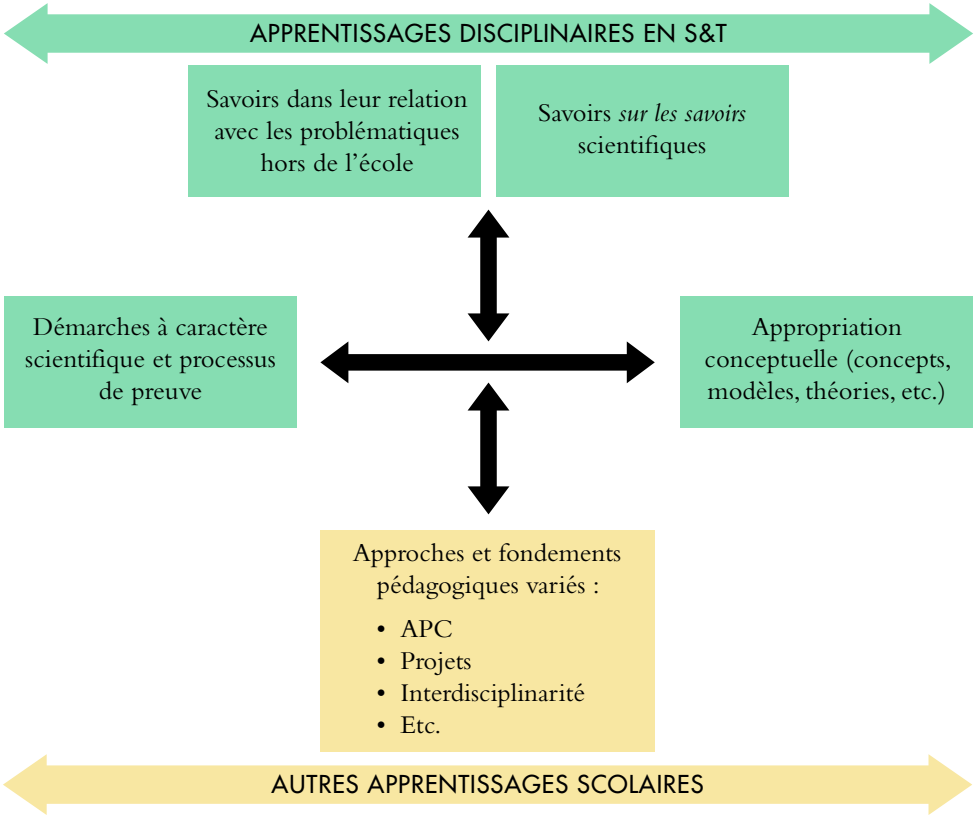


Figure 8 :
Relation entre les apprentissages disciplinaires en sciences et les autres apprentissages scolaires (Hasni et Lenoir, 2011)

CONCLUSION

Les DIS telles que définies ici renvoient à l'apprentissage d'une des composantes centrales des sciences, l'esprit scientifique comme processus et comme posture et non pas comme procédure technique. Les fondements et les idées développées ici ne visent pas seulement une meilleure appropriation des sciences par les élèves. Ils rejoignent aussi les recommandations qui découlent des travaux sur l'intérêt et la motivation et ils permettent ainsi aux élèves d'afficher une meilleure disposition à apprendre les sciences, à poursuivre des études en sciences et, éventuellement, à envisager une carrière dans le domaine. Rappelons brièvement en quoi les grands principes et recommandations que nous venons de développer rejoignent ceux qui découlent des travaux sur la motivation et l'intérêt (ex. : Hasni et Potvin, 2013 ; Potvin et Hasni, 2017 ; Sládek, Milérřet Benárová, 2011 ; Theytaz, 2007 ; Viau, 1994) :

a) La perception de valeur de la tâche. En sciences, les DIS, telles que présentées dans ce document, permettent d'amener les élèves à comprendre que les tâches dans lesquelles ils sont engagés ne constituent pas un simple exercice (inutile) ou un apprentissage à restituer pour réussir les examens. Elles ont comme premier but de comprendre le monde qui les entoure.

b) La présence d'un défi clair et raisonnable. L'engagement des élèves dans l'analyse de la mise en situation de manière à formuler un problème, une question ou une hypothèse est l'une des orientations des DIS telles que présentées dans ce document. L'engagement des élèves dans ce processus constitue un levier permettant à l'enseignant de bien cibler le défi en fonction du niveau de ces derniers.

c) La perception de contrôlabilité du déroulement et de la compétence à réussir la tâche. Lorsque l'élève sent qu'il peut proposer des façons de faire et qu'il est aidé par l'enseignant (processus de médiation) dans ses choix et ses réalisations, il comprend que les apprentissages sont sous son contrôle. C'est la conception de la mise en œuvre des DIS proposée dans ce document. En outre, le processus de médiation et les mises au point périodiques proposées dans ce document permettent aux élèves de s'apercevoir de leur capacité à réussir les tâches dans lesquelles ils sont engagés.

Terminons en soulignant quelques mises en garde. L'objectif de ce document est de proposer une discussion sur l'importance pour l'école de mettre l'accent sur une des principales composantes des sciences, les DIS. Mais nous ne souhaitons pas que le lecteur reste avec l'impression que nous voulons faire de cette composante la base de tous les apprentissages scientifiques à l'école :

- Nous ne faisons pas des DIS le seul contenu à apprendre en sciences. Les apprentissages conceptuels ainsi que les habiletés et les attitudes de base sont également nécessaires.
- Nous ne prétendons pas que tous les apprentissages doivent se faire en recourant aux DIS. Si certains contenus s'y prêtent bien, d'autres passent mieux par des explications ou par d'autres approches pédagogiques (discussion, débat, projet, etc.).
- Nous n'excluons pas une certaine pratique des DIS centrée sur l'exercice de la pensée sans lien avec les savoirs conceptuels. Il faut cependant garder à l'esprit qu'en sciences, la fonction première des processus scientifiques est de conduire à une représentation (conceptuelle) du monde.
- Même s'il est souhaitable que l'élaboration conceptuelle découle du recours aux DIS (autrement dit, que ce soient les DIS qui amènent les élèves à construire des savoirs nouveaux), nous n'excluons pas le recours, de temps en temps, à des DIS pour mieux comprendre ou approfondir certains contenus déjà appris préalablement.

FICHES ILLUSTRATIVES

FICHE 1

DE LA MISE EN SITUATION À LA FORMULATION DU PROBLÈME OU DE LA QUESTION (CAS DE L'ÉTUDE DES PARTIES DES PLANTES AU PRIMAIRE)

Voici une mise en situation présentée à des élèves dans les classes d'enseignantes du primaire :

Ton oncle revient de l'épicerie avec des sacs remplis d'aliments. On y retrouve, entre autres, des tomates, des fraises, des pommes, du céleri, des concombres, des aubergines et des carottes. Ta tante lui dit que la tomate devrait être placée dans le tiroir à fruits plutôt que dans celui des légumes. Elle ajoute même qu'on devrait aussi mettre dans le tiroir des fruits les concombres et les aubergines. Une discussion s'en suit. Les questions principales sont : qu'est-ce qu'un fruit ? Et qu'est-ce qu'un légume ? Qui a raison ?

La principale intention pédagogique des enseignantes qui ont expérimenté cette mise en situation consistait à amener les élèves à définir les concepts de fruit et de légume et à les distinguer des autres parties de la plante.

Remarques préalables

Rappelons que sur le plan scientifique (biologique), les principales composantes d'une plante à fleurs sont les racines, les tiges, les feuilles et les fleurs (et fruits). Il est par conséquent important d'amener les élèves à découvrir les attributs qui permettent de les caractériser. Le concept de « légume » renvoie au langage quotidien et au sens commun. Il ne fait pas partie des concepts scientifiques.

Potentiel

- La mise en situation est contextualisée et renvoie à des connaissances de la vie de tous les jours (utilisation de parties de plantes connues des élèves). Elle peut conduire à la formulation d'une problématique visant à catégoriser les parties d'une plante à fleurs.
- Elle invite les élèves à réfléchir, à exprimer leurs conceptions initiales et à s'engager dans un débat sur les meilleures façons de procéder pour étudier le problème (comparer les parties des plantes fournies).
- Elle offre une possibilité d'engager les élèves dans un protocole basé sur l'observation comme moyen de recueil des données (d'établissement des faits) pour répondre à la question de départ.
- En comparant différents « aliments » entre eux, cette mise en situation vise éventuellement à permettre aux élèves de caractériser le concept de fruit et distinguer les différentes parties qui composent une plante à fleurs. Ce qu'on appelle souvent « la théorie » (les concepts) n'est pas expliquée préalablement. Si la suite de la démarche est gérée de façon adéquate, elle pourrait amener les élèves à élaborer le concept de fruit (de tige, de feuille et de racine) comme conclusion à leur démarche

Défis et obstacles

- La mise en situation, telle qu'exprimée présentement, peut difficilement déboucher sur un problème scientifique pertinent puisque la notion de légume n'est valable que du point de vue culinaire et non pas scientifique.
- Les références au quotidien peuvent parfois mener involontairement à des débats de sens commun. Certains élèves pourraient être tentés de résoudre le conflit interpersonnel (le désaccord entre l'oncle et la tante) plutôt que de se concentrer sur le problème d'ordre scientifique. D'ailleurs, les réponses des élèves lors de la discussion en classe le montrent bien : certains ont tout simplement répondu que c'est la tante qui a raison parce qu'elle connaît mieux le contenu du réfrigérateur !
- Même si les élèves étaient engagés dans une démarche de catégorisation basée sur l'observation, le résultat était sans issue puisqu'il est difficile du point de vue biologique de trouver des caractéristiques distinctives des fruits et des légumes. Comme en témoignent les extraits suivants, les élèves ont inventé de nouveaux concepts pour décrire certaines parties de la plante :

  E1 : *C'est que la tomate est un légume et un fruit à cause que ça pousse dans une plante. Le fruit, il pousse dans un arbre et le légume dans la terre, mais dans une plante, c'est un légume et en même temps un fruit. Alors moi, mon expression là, j'appelle ça un légume-fruit, mais c'est supposé être un légume et un fruit.*

  E2 : *Attends un petit peu là, les feuilles d'épinards, ce sont des légumes-feuilles parce que des épinards, c'est juste des petites feuilles.*

  E3 : *Moi, je dis que les orchidées, c'est un légume-fleur à cause que c'est genre une fleur, une orchidée ; alors moi, je les mettrais dans… dans les légumes-fleurs.*

Ces exemples d'obstacles nous conduisent à inviter les enseignants à se méfier de l'utilisation des dictionnaires généralistes pour définir les concepts scientifiques.

Pistes d'amélioration

- Évacuer le concept de légume et orienter la mise en situation sur la distinction des parties de la plante. La situation d'apprentissage pourrait même être une occasion pour discuter avec les élèves de la distinction entre les concepts scientifiques et les concepts de sens commun.
- La question finale « Qui a raison ? » pourrait être évacuée de la mise en situation puisqu'elle oriente les élèves vers la résolution de la dispute, un débat de la vie quotidienne.
- Il serait possible de reformuler la mise en situation pour orienter la problématisation vers l'élaboration du concept de fruit et non pas vers sa distinction avec le concept de légume puisque ces deux concepts appartiennent à des registres différents (scientifique et culinaire).

Notons qu'après l'analyse réflexive des situations expérimentées en classe et enregistrées sur support vidéo, les enseignantes ont reformulé la mise en situation et la question de départ en mettant l'accent sur la caractérisation du fruit (qu'est-ce qu'un fruit ?) : « Un membre de la famille qui a étudié dans le domaine des sciences devait discuter avec l'oncle du rationnel qui l'a conduit à mettre certaines parties de la plante dans le tiroir des fruits »… Ces changements ont fortement amélioré la qualité scientifique des échanges en classe.

FICHE 2

DE LA MISE EN SITUATION À LA FORMULATION DU PROBLÈME OU DE LA QUESTION (CAS DE LA DIFFUSION, DE L'OSMOSE ET DES ÉCHANGES CELLULAIRES)

Voici un second exemple de mise en situation qui a été présentée par un enseignante à ses élèves de 1re secondaire dans une séquence portant sur l'osmose et la diffusion :

Vous êtes victime d'un écrasement d'avion, mais vous survivez. Vous vous trouvez sur une minuscule île déserte. Après une journée dominée par l'espoir et l'attente de secours, votre plus grand problème reste encore la soif. Vous souffrez déjà de la soif depuis un bon moment, à tel point qu'il vous prend soudain une terrible envie de boire l'eau de l'océan pour vous rassasier… Mais c'est tellement salé ! Après avoir réalisé l'expérience proposée dans cette situation d'apprentissage, vous devriez être en mesure de répondre à la question suivante : quel est l'effet des solutions salines sur les cellules ?

L'intention pédagogique de l'enseignante visait à faire apprendre aux élèves les concepts de diffusion et d'osmose.

À la suite de la discussion de la mise en situation et de deux cours sur des concepts préalables (mélange homogène, mélange hétérogène, solvant, soluté, substance pure, etc.), l'enseignante a invité les élèves à réaliser des observations sur un tissu végétal (oignon) :

Pour expérimenter avec les cellules animales, il faudrait prendre la peau de Pierre, puis en donner pour tout le monde, pour être capable d'observer. Sauf que ce n'est pas doux de prendre le temps d'observer les cellules animales sur une personne vivante. Ben c'est pour ça qu'on va faire le parallèle… On va faire un parallèle avec les cellules végétales et on viendra faire notre confirmation d'explications avec des liens logiques pour les cellules animales… Si tu regardes les cellules végétales, ça va te permettre de parler ensuite des cellules animales (période 3).

Remarques préalables

L'enseignement de la diffusion et de l'osmose doit viser l'acquisition par les élèves des grandes idées qui caractérisent le champ de la biologie. Parmi celles-ci, deux méritent d'être rappelées ici :

1. Associer la diffusion et l'osmose au transport transmembranaire et aux échanges cellulaires, tout en précisant le rôle de la membrane cytoplasmique (semi-perméable).
2. Comprendre l'équilibre dynamique qui en découle et qui est nécessaire à certaines fonctions biologiques (échanges des nutriments et des déchets, mais également le maintien d'un déséquilibre de part et d'autre de la membrane afin d'assurer des fonctions comme l'absorption racinaire d'eau chez les plantes ou la propagation de l'influx nerveux dans les neurones).

Les recherches mettent en évidence de nombreuses conceptions d'élèves à prendre en considération lors de l'enseignement de la diffusion et de l'osmose (Hasni, Roy et Dumais, 2016). En voici quelques exemples :

- Lors de la diffusion, les molécules (d'un colorant, par exemple) arrêtent de se déplacer lorsque l'équilibre de concentration est atteint. Il en est de même entre deux milieux de concentrations différentes jusqu'à l'obtention de l'isotonie ;
- La diffusion est associée à la volonté des molécules du soluté d'occuper l'espace (vision anthropomorphique) ;
- C'est la quantité d'eau des deux côtés de la membrane, et non pas la concentration, qui est responsable de l'osmose ;
- L'eau se déplace pour égaliser les concentrations des deux côtés de la membrane (vision anthropomorphique) ;
- La pression hydrostatique doit être égale des deux côtés de la membrane une fois l'équilibre atteint ;
- La quantité d'eau doit être égale de part et d'autre de la membrane à l'équilibre ;
- L'eau ne peut pas traverser dans le sens inverse du gradient de pression ;
- La structure de la membrane en bicouche lipidique, sa fluidité et son rôle dans les phénomènes de diffusion et d'osmose sont peu compris.

Potentiel

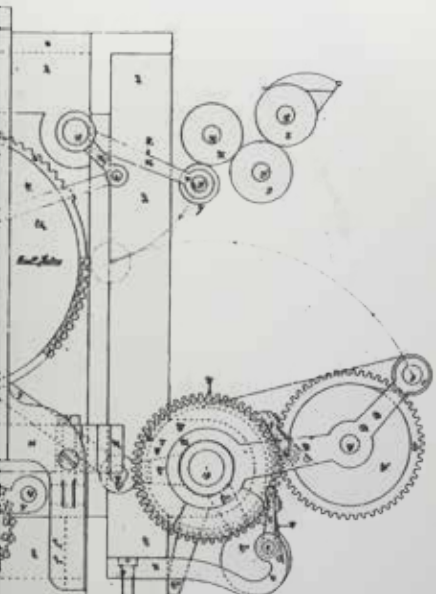
- La mise en situation présente un contexte accrocheur pour les élèves (se débrouiller sur une île déserte) et qui est susceptible de capter leur attention et leur intérêt.
- L'exemple de l'ingestion de l'eau salée (forte concentration en sel) est une illustration de l'ancrage de la mise en situation dans la « vraie » vie.

Défis et obstacles

- Bien que cette mise en situation semble « accrocheuse », il est tout à fait hypothétique de se retrouver sur une petite île déserte à la suite d'un accident d'avion : la contextualisation est très loin des situations de la vie courante qui permettent d'illustrer le phénomène visé par l'étude. Cette histoire risque d'ouvrir sur d'autres débats liés à des choix personnels sans lien avec l'investigation scientifique (comme boire de l'eau, peu importe les risques impliqués dans cette situation de crise).
- Cet exemple montre de nouveau les dérives qui risquent d'accompagner les mises en situation « trop » ancrées dans le sens commun (ici, dans l'imaginaire).
- Le fait de fournir la question à laquelle le laboratoire donne suite (*quel est l'effet des solutions salines sur les cellules ?*) ne permet pas d'exploiter la mise en situation proposée. Celle-ci sert avant tout de déclencheur ou d'outil de motivation, sans qu'un débat sur le problème scientifique en découle, puisque l'enseignante propose d'autres pistes pour étudier le phénomène (observation des cellules végétales).

Pistes d'amélioration

Puisque le laboratoire porte sur l'observation des cellules végétales, une mise en situation directement en lien avec les tissus végétaux serait plus appropriée. Pensons, par exemple, à l'observation de fleurs immergées dans des solutions de concentrations en sel différentes. Ce type de mise en situation pourrait déboucher sur un questionnement scientifique pertinent puisqu'il serait directement en lien avec la question « Quel est l'effet des solutions salines sur les cellules végétales ? ».



FICHE 3

DE LA MISE EN SITUATION À LA FORMULATION DU PROBLÈME OU DE LA QUESTION (CAS DE LA STRUCTURE DE LA TERRE)

Dans le cadre d'une séquence en science et technologie de 1re secondaire portant sur des contenus associés à la géologie, un enseignant souhaite introduire la problématique visant à comprendre la structure interne de la Terre (croûte terrestre, manteau, noyau, etc.).

Comme amorce à cette séquence, l'enseignant fait visionner en classe une partie du film «Au cœur de la Terre» (2003). Ce film catastrophe de science-fiction présente un scénario fictif de destruction du champ magnétique terrestre. À bord d'un véhicule sophistiqué qui peut se déplacer sous terre et résister à la chaleur et à la pression, des scientifiques ont pour mission de traverser la croûte terrestre et le manteau terrestre afin de lancer une charge importante d'explosions nucléaires pour «relancer» le noyau terrestre.

Après avoir visionné une quarantaine de minutes de ce film, l'enseignant revient en grand groupe avec ses élèves pour leur poser des questions et faire émerger des hypothèses explicatives :

Comment ça marche en dessous de la Terre ? Qu'est-ce qui est réaliste dans ce film-là ? Qu'est-ce qui est fictif ? Est-ce que c'est actuellement possible de creuser un trou jusqu'au manteau et jusqu'au noyau ? Qu'en est-il des cristaux, des diamants, des séismes et de la lave qu'on voyait dans le film ?

Remarques préalables

Il est à rappeler que la structure de la Terre est inférée essentiellement à partir des données sismiques : les variations de vitesse des ondes ou la disparition de celles-ci correspondraient, à l'image de la réflexion et de la réfraction des ondes lumineuses, à un changement dans la nature du matériau traversé par ces ondes et constitueraient par conséquent des discontinuités qui permettraient de distinguer les différentes couches de la Terre. Les roches issues des laves ou ramenées en surface par l'érosion des chaînes de montagnes permettent de fournir des informations complémentaires sur la structure interne de la Terre.

Potentiel

- Cette mise en situation, qui s'appuie sur l'analyse d'aspects d'un film de science-fiction, permet de créer un débat intéressant en classe sur ce qui est scientifique et ce qui ne l'est pas.
- La mise en situation constitue une belle introduction pour distinguer ce qui relève, en sciences, de l'observation directe (affleurements et forages, par exemple) de ce qui relève des observations indirectes (cas des données sismiques, par exemple). Cet exemple est une occasion de faire comprendre aux élèves qu'il existe en sciences différentes modalités de recueil des faits par observation, et que l'observation directe n'est pas la seule.

Défis et obstacles

- L'observation d'une aussi longue partie du film, outre la perte de temps qu'elle génère (40 minutes), risque de conduire à des discussions de sens commun qui débordent du cadre scientifique et du débat associé aux sciences de la Terre, comme en témoignent certaines citations d'élèves extraites de la séquence :

  E1 : *Moi, je pense que le film serait vrai, à condition qu'on puisse se procurer des matériaux assez puissants pour résister à la chaleur et à la pression et à la lave.*

  E2 : *Moi, je pense que de percer la croûte terrestre, ça engendrerait de trop grandes conséquences.*

  E3 : *Moi, je pense qu'ils ont creusé dans le fond d'un océan parce que la croûte terrestre y est plus molle.*

  E4 : *Moi, je pense qu'ils ont fait une radiographie ou ils ont pris une caméra pour détecter la chaleur pour savoir qu'il y a un noyau chaud au centre de la Terre.*

  E5 : *Ils ont envoyé un singe dans un volcan pour savoir si c'était chaud.*

  Si la discussion est mal gérée, elle peut conduire à l'adoption de fausses conceptions (fictives) sur la structure de la Terre chez les élèves.

- Cet exemple rappelle la nécessité de bien circonscrire le problème ou la question à étudier ou au moins l'enchaînement des questions à poser aux élèves lors d'une telle discussion en grand groupe. L'observation et la discussion peuvent conduire à des questions de différents ordres qu'il est parfois impossible de traiter dans le cadre d'un cours de sciences.

Pistes d'amélioration

- Comme mise en situation, l'idée de présenter une quarantaine de minutes d'un film de science-fiction peut sembler accrocheuse pour les élèves. Toutefois, le temps serait probablement mieux investi en sélectionnant des extraits significatifs du film pour initier une discussion scientifique avec les élèves. Quelques minutes peuvent suffire.
- Il serait important de mettre l'accent dès le départ sur le type de discussion souhaitée (une discussion scientifique et non une discussion d'opinions personnelles). Il faut se rappeler qu'une telle discussion, dans un contexte de démarche d'investigation scientifique, doit prioritairement servir à formuler une question ou un problème d'ordre scientifique, comme dans l'exemple : *Comment peut-on arriver à distinguer et caractériser la structure interne de la Terre ?* En d'autres termes, il serait intéressant de cibler clairement les intentions pédagogiques du cours, mais également les intentions pédagogiques visées par le visionnement : motiver les élèves ? ; déterminer ce qui peut être prouvé scientifiquement ou non dans le film ? ; comprendre quelles sont les principales parties du globe terrestre ? ; etc.
- De manière à ce que les élèves comprennent le but à atteindre, il serait souhaitable de clarifier les attentes et de formuler clairement les actions ou les tâches demandées. Par exemple : demander aux élèves de répondre à une question claire ou proposer des pistes de vérification (*Si vous étiez scientifique ou si vous aviez à faire des propositions à des scientifiques, que feriez-vous ?*) ; leur demander d'identifier, dans les séquences présentées (éventuellement, à partir d'une liste préalable), une ou deux affirmations susceptibles d'être appuyées scientifiquement (et proposer des pistes de vérification) et une ou deux affirmations non valides scientifiquement (en argumentant ce choix).

FICHE 4

FORMULATION DE LA QUESTION OU DE L'HYPOTHÈSE (CAS DES FACTEURS QUI INFLUENCENT LA CROISSANCE D'UNE PLANTE)

Dans une séquence visant l'acquisition de contenus associés à la nutrition végétale et à la photosynthèse en 1re secondaire, des élèves sont invités par l'enseignant à lire la mise en situation suivante :

Monsieur Hubert, un maraîcher passionné, s'inquiète vraiment de la croissance de ses plantes de haricot. En effet, quelque temps après la germination de ses plantes, il a remarqué que ses haricots situés à l'ouest de son jardin étaient de petite taille, avec des feuilles moins vertes que ceux situés à l'est. Qu'est-ce qui peut bien être à l'origine de ce problème constaté par Monsieur Hubert ?

Les élèves sont ensuite invités à réfléchir, en petits groupes de trois, aux différents facteurs qui peuvent influencer la croissance d'une plante. À tour de rôle, les équipes vont écrire leurs hypothèses au tableau. Chaque équipe présente ses facteurs en grand groupe en argumentant leurs choix en fonction de leurs connaissances antérieures. L'enseignant interagit avec les élèves :

Pourquoi avez-vous choisi ce facteur ? Comment cela fonctionne-t-il selon vous ?

Remarques préalables

Une des idées fondamentales à développer chez les élèves en lien avec cette problématique est que les plantes vertes sont capables de transformer la matière minérale en faisant appel à l'énergie lumineuse pour se développer (augmenter leur masse et se transformer) et, par conséquent, produire leur propre matière organique (la photosynthèse). Puisque les plantes ne sont pas formées uniquement de glucides, il serait souhaitable que l'étude du phénomène ne se limite pas uniquement à dire aux élèves que les plantes produisent du glucose et à leur fournir la célèbre formule qui résume cette synthèse :

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{lumière} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Potentiel

- Cette situation permet aux élèves de formuler des hypothèses directement en lien avec le problème soulevé dans la mise en situation. Les élèves peuvent nommer, par exemple, l'eau, l'engrais, le type de sol, l'intensité de la lumière, etc. Ces facteurs peuvent ensuite devenir l'objet de l'investigation (par exemple, l'effet de la lumière sur la croissance de la plante).
- Le fait de demander aux élèves d'argumenter leurs choix en équipe et en grand groupe leur permet de formuler des hypothèses qui vont au-delà de la simple devinette. Les élèves doivent s'appuyer sur leurs connaissances et faire des propositions plausibles, qu'elles soient vraies ou fausses, au terme de l'expérience.

Défis et obstacles

- L'enseignant a un rôle important à jouer dans la discussion des hypothèses. À ce stade-ci, il faut encourager les propositions des élèves, mais certaines hypothèses peuvent déjà être écartées. Par exemple, certains élèves pourraient simplement penser que Monsieur Hubert s'occupe moins bien de ses plantes situées à l'ouest (expliquant ainsi leur petite taille), ce qui n'est pas le cas.
- Cette situation présente une certaine ouverture sur le choix des hypothèses : plusieurs sont possibles et les élèves les choisissent. Toutefois, des contraintes logistiques (temps, matériel, etc.) empêchent parfois de tester certaines variables. Par exemple, il pourrait être difficile de contrôler la concentration de CO_2 dans l'air ambiant avec le matériel disponible en laboratoire. On peut donc s'attendre à ce que certains élèves aient de la difficulté à accepter qu'on leur impose de travailler sur certaines variables plutôt que d'autres (par exemple, leur imposer de travailler seulement sur les facteurs lumière et eau en raison du matériel disponible). Une mise en situation ancrée dans un contexte de la vie « réelle » permet de générer des hypothèses variées, mais qui ne sont pas toutes facilement testables dans les classes au primaire et au secondaire.

Piste d'amélioration

- Pour rendre la mise en situation encore plus signifiante aux yeux des élèves, elle pourrait faire intervenir le but visé de la démarche, par exemple : « Afin de remédier à cette problématique l'année prochaine, quelle(s) action(s) concrète(s) ou quelle(s) procédure(s) pourrais-tu proposer à Monsieur Hubert ? ». Ainsi, au terme de la démarche, les élèves pourraient être invités à discuter du phénomène de la photosynthèse, des facteurs qui favorisent la croissance d'une plante et d'une ou plusieurs solution(s) concrète(s) à proposer à Monsieur Hubert.
- Même si le phénomène de la photosynthèse implique plusieurs variables, il n'est pas obligatoire de faire travailler les élèves sur l'ensemble de celles-ci. Il serait possible de trouver un moyen pour réduire le nombre d'hypothèses ou de solutions potentielles au départ. Sans vouloir diminuer l'importance des autres variables, il serait envisageable, par exemple, d'amener tous les élèves à simplement comparer les types de sols. Les protocoles expérimentaux permettant de vérifier l'effet des autres variables ainsi que les résultats qui en découlent pourraient être fournis aux élèves. Ces derniers pourraient, par exemple, s'engager dans l'analyse de ces résultats et dans la formulation des pistes d'interprétation.

FICHE 5

FORMULATION DE LA QUESTION OU DE L'HYPOTHÈSE (CAS DES EFFETS DE L'ACIDE SUR LES COQUILLES)

Dans une séquence en science et technologie de 4e secondaire, une enseignante souhaitait engager les élèves dans une démarche d'investigation. Au départ, le but de la séquence est énoncé aux élèves :

Prouver expérimentalement l'effet de l'acide sur les coquilles.

L'enseignante souhaite que ce soit les élèves qui formulent les hypothèses du laboratoire, qu'ils élaborent eux-mêmes le protocole et qu'ils procèdent au recueil et à l'analyse des données. Pour amorcer le travail des élèves sur les hypothèses, l'enseignante pose la question suivante en grand groupe :

Selon vous, quels seront les effets des différentes concentrations d'acide sur les coquilles de carbonate de calcium ?

Pour formuler leurs hypothèses, les élèves doivent répondre en équipe à la question précédente.

Remarques préalables

Cette situation rappelle l'importance de distinguer l'hypothèse au sens strict de la simple formulation d'opinions ou de conceptions personnelles. Certes, la compréhension des conceptions personnelles des élèves est importante pour planifier un enseignement qui permet de les faire évoluer vers des conceptions scientifiques, mais il faut les distinguer des hypothèses. Ces dernières constituent des prédictions potentielles basées sur ce que l'état actuel des sciences nous permet d'expliquer. C'est l'ancrage scientifique de ces explications provisoires, à confirmer ou à infirmer, qui caractérise la notion d'hypothèse.

Potentiel

- La question, si elle est retravaillée, pourrait déboucher sur l'étude de la relation entre des variables (l'effet de différentes concentrations d'acide sur le carbonate de calcium).
- Dans cet exemple de séquence, les élèves sont amenés à formuler eux-mêmes leurs propres hypothèses, ce qui est souhaitable pour favoriser leur engagement dans la démarche.

Défis et obstacles

- Une imprécision marque l'intention de l'activité. S'agit-il d'amener les élèves à savoir que l'acide peut réagir avec le carbonate de calcium pour le faire « fondre » ou de les conduire à émettre des hypothèses sur les relations entre les variables (effet de la concentration d'un substrat sur la vitesse de la réaction, par exemple) ? En outre, les élèves savent-ils que la coquille est composée majoritairement de calcaire ? Savent-ils déjà l'effet de l'acide sur le calcaire (si le but est surtout d'étudier la relation entre les variables) ou doivent-ils l'apprendre dans la séquence d'enseignement proposée ? Il s'agit ici de l'importance de préciser la distinction entre les savoirs préalablement acquis et les savoirs nouveaux visés. L'imprécision que nous venons de rappeler serait en relation avec certaines difficultés exprimées par les élèves, telles que rapportées par les citations suivantes :

  E1 : *Sur quels critères doit-on s'appuyer ?*

  E2 : *La coquille va-t-elle s'écailler ? La coquille va-t-elle prendre de la masse ou perdre de la masse ? La coquille va-t-elle changer de texture ou de couleur ?*

  E3 : (à l'enseignante) *Doit-on sortir ces critères de notre tête ?*
  L'enseignante rappelle aux élèves qu'une hypothèse, ce n'est pas obligé d'être bon…

- Le fait de dire aux élèves qu'une hypothèse « ce n'est pas obligé d'être bon » peut également entraîner une certaine confusion : est-ce que toutes les hypothèses, aussi farfelues qu'elles soient, se valent ? Une hypothèse, au sens scientifique, doit être plausible et s'appuyer sur des faits et des savoirs préalables, qu'elle s'avère vraie ou fausse au terme de l'expérience.

Piste d'amélioration

- Il serait important de préciser l'intention d'apprentissage et d'orienter l'activité en fonction de celle-ci : si le but est d'amener les élèves à comprendre que l'acide peut faire « fondre » la coquille (le calcaire), il faudrait procéder autrement que demander aux élèves de formuler une hypothèse : sur quelle base pourraient-ils formuler celle-ci ? Si le but est d'étudier la relation entre les variables (par exemple, l'effet de la concentration ou de la quantité d'acide sur la quantité de calcaire dissous ou sur la vitesse de réaction), il faudrait que les élèves aient une connaissance minimale sur le sujet (les coquilles sont composées de calcaire ; l'acide a un effet sur ce dernier ; etc.).

FICHE 6

CHOIX ET VALIDATION DES FAITS SCIENTIFIQUES : UN EXEMPLE DE RECUEIL PAR EXPÉRIMENTATION (CAS DES ÉCHANGES THERMIQUES)

Dans une classe du primaire, une enseignante visait l'engagement de ses élèves dans une démarche expérimentale pour mieux comprendre les concepts de température, de chaleur et d'isolant (et de conducteur) thermique. La mise en situation de cette séquence était la suivante :

L'hiver est enfin arrivé et le carnaval bat son plein. Après avoir vécu de nombreuses activités extérieures lors de la journée du carnaval, quoi de mieux pour se réchauffer qu'un bon chocolat chaud. C'est décidé ! L'école prévoit offrir un chocolat chaud à tous ses élèves. Bien entendu, les chocolats chauds seront disposés à l'extérieur. Comment pourrions-nous nous assurer que la température du breuvage reste adéquate ? Devrions-nous choisir un contenant en particulier ? Comment s'assurer que nous aurions choisi le meilleur contenant ?

Après une courte discussion avec les élèves, l'enseignante ajoute :

Finalement, l'école met à ta disposition quatre types de contenants : un verre en plastique, un en carton, un en verre et un en aluminium.

Dans un premier temps, les élèves sont invités à formuler une hypothèse et à planifier, en équipes, une expérience (protocole) qui permettrait de déterminer quel contenant garderait le breuvage chaud le plus longtemps. Dans un deuxième temps, les protocoles des différentes équipes sont mis en commun et un protocole standardisé est conjointement élaboré en grand groupe. Pour le recueil de données, les élèves devront préparer du chocolat chaud et verser précisément un même volume de liquide dans chaque type de contenant afin d'y mesurer la température, à l'aide d'un thermomètre, toutes les deux minutes. Les données sur la température seront compilées dans un tableau des résultats et rapportées dans un diagramme à ligne brisée avant de procéder à leur analyse.

Remarques préalables

Dans la vie de tous les jours, il est commun de confondre la chaleur et la température. Bien que ces notions soient liées, elles sont à distinguer. La chaleur est la forme d'énergie qui se transmet ou se transfère d'un corps à un autre. La température (exprimée en degrés Celsius ou en degrés Fahrenheit), quant à elle, équivaut à la mesure de la chaleur d'un corps. Il ne s'agit que d'une mesure de l'énergie des molécules. Certains matériaux conduisent mieux la chaleur que d'autres (ce sont de bons conducteurs), alors que d'autres réduisent les transferts de chaleur (ce sont de bons isolants).

Potentiel

- Cette mise en situation a le potentiel d'amener les élèves à comprendre un phénomène physique ainsi que les concepts qui lui sont associés (conduction, isolation, etc.) en recourant à une démarche expérimentale.

- Dans cet exemple de séquence, les élèves sont amenés à proposer eux-mêmes leur propre protocole, ce qui est souhaitable pour favoriser leur engagement dans la démarche. Comme tous les élèves travaillent sur la même question, la validation du protocole en grand groupe s'avère essentielle : même si les pistes que les élèves fournissent peuvent varier, l'enseignante réajuste et uniformise le protocole pour toute la classe.

Défis et obstacles

- Un des défis à surveiller est l'isolation (ou le contrôle) des variables. L'accompagnement des élèves est nécessaire pour les initier à cette habileté de pratique scientifique : pourquoi utilise-t-on des contenants comparables (pas de tailles très différentes) ? ; pourquoi verse-t-on précisément la même quantité de chocolat chaud dans chacun de ces contenants ? ; etc.
- Il est essentiel de prendre en considération les éléments de sécurité : par exemple, démarrer l'expérimentation avec de l'eau (ou du chocolat) chauffée à une température qui ne comporte pas de risque pour la manipulation et porter des gants de protection.
- Tout en déterminant avec les élèves la fréquence de prise de données (pour en avoir un nombre raisonnable), il faut être attentif à la possibilité que l'expérimentation dure très longtemps et conduise par là à un certain désintérêt de la part des élèves. Pour éviter ce problème, il serait gagnant de proposer un protocole qui accélère la perte de chaleur par le chocolat (ou l'eau) en mettant les contenants, par exemple, dans de la glace ou en réalisant l'expérience à l'extérieur, si le temps est froid.
- Il serait important de prévoir une discussion permettant aux élèves de passer de l'analyse des données (tableaux, calculs, graphiques, etc.) à l'élaboration conceptuelle : ne pas rester au niveau de la description de la relation entre les variables (description des graphiques et des tableaux). Comment peut-on expliquer le fait que la température ait chuté plus rapidement dans tel contenant ? Comment peut-on expliquer le fait que la température ait chuté moins rapidement dans tel autre ? Il est à noter cependant que le but ici est d'amener les élèves à se rendre compte que certains matériaux sont de bons conducteurs (ils laissent alors « échapper » la chaleur du chocolat) et d'autres le sont moins. Il faut éviter d'amener les élèves à tenter des interprétations concernant les caractéristiques des matériaux qui font qu'ils sont des conducteurs ou des isolants : pourquoi le polystyrène est-il plus isolant que l'aluminium ? Même si les connaissances dont disposent les élèves et les données de l'expérimentation ne permettent pas de répondre à ce type de questions, il n'est pas rare de constater qu'elles sont posées aux élèves dans des classes de sciences.

Pistes d'amélioration

- La mise en situation est bien formulée. Tout en étant contextualisée (problématique ancrée dans le réel), elle permet de poser un problème d'ordre scientifique susceptible d'être éclairé à l'aide de faits que les élèves peuvent produire.
- Amener les élèves à mieux distinguer ce qui relève de l'analyse des données de ce qui renvoie à l'interprétation.

FICHE 7

CHOIX ET VALIDATION DES FAITS SCIENTIFIQUES : UN EXEMPLE DE RECUEIL PAR EXPÉRIMENTATION (CAS DE LA NUTRITION VÉGÉTALE : LES FACTEURS INFLUENÇANT LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES VERTES)

Dans la même séquence visant l'acquisition de contenus associés à la nutrition végétale et à la photosynthèse en 1re secondaire présentée dans la fiche 4, les élèves ont été amenés à recueillir des données par expérimentation. Après avoir discuté des différents facteurs qui peuvent influencer la croissance d'une plante, l'enseignant forme des équipes de trois élèves et attribue à chacune d'entre elles une variable à expérimenter (soit l'effet de l'eau, l'effet de la lumière, l'effet du type de sol). Dans un premier temps, les équipes sont invitées à planifier leur expérience (la liste du matériel et les différentes étapes du protocole) qui leur permettrait de vérifier l'effet de leur variable sur la croissance d'un plant de haricot. Dans un deuxième temps, les équipes partagent leurs protocoles en grand groupe. À la suite de ces discussions, un protocole standardisé est conjointement élaboré par les élèves et l'enseignant :

- Pour l'effet de l'eau : les équipes qui étudieront cette variable donneront plus ou moins d'eau à leurs plantes ;
- Pour l'effet de la lumière : les équipes qui étudieront cette variable isoleront leurs plantes dans un endroit où il y a absence de lumière ;
- Pour l'effet du type de sol : les équipes qui étudieront cette variable planteront leurs plants de haricot dans un sol enrichi en minéraux ou dans un sol pauvre ;

Plantes témoins : des plants de haricot « témoins » seront aussi disposés dans la classe (ceux-ci n'auront pas subi de traitement spécifique pour les variables mentionnées).

Pendant 4 semaines, les élèves ont réalisé des observations sur leurs plantes à l'aide d'une grille d'observation en notant les dates et ont recueilli des données (taille, orientation, nombre de feuilles, etc.).

Chaque équipe a réalisé l'expérience sur deux plantes et a calculé la moyenne. Les données recueillies par chaque équipe sont mises en commun afin d'analyser l'effet de chacune des variables sur la croissance du haricot.

Potentiel

- Le fait d'imposer à chaque équipe une variable à tester met l'accent sur le contrôle de variables dans cette démarche expérimentale. Si l'équipe fait varier son facteur (par ex., la lumière), elle doit garder les autres constants (eau et type de sol).
- La répartition des observations sur plusieurs jours ou plusieurs semaines s'avère nécessaire pour observer la croissance d'une plante dans le cadre d'une telle démarche. Sans cela, il serait difficile de réaliser une expérimentation qui illustre la photosynthèse, disons en une seule période. Cette situation conduit à la nécessité de planifier des moments de recueil de données tout en poursuivant l'enseignement d'autres contenus du programme.

Défis et obstacles

- Dans cette situation, il faut demeurer attentif au choix des variables observables. Par exemple, pour les plantes situées dans un endroit sombre, nous pourrions assister au phénomène d'étiolement : en réaction à la diminution ou à la privation de lumière, les tiges s'allongent, s'affaiblissent et perdent de leur couleur verte. La mesure de la taille ne suffit donc pas à montrer que l'absence de lumière empêche (ou diminue) la photosynthèse. C'est pour cette raison que l'observation d'autres variables est nécessaire (comme compter le nombre de feuilles, observer les changements de couleur, etc.).
- Comme l'étude des différentes variables est répartie entre les différentes équipes, la qualité de la prise de données de chaque équipe est essentielle. Pour arriver à comparer l'effet des différentes variables sur la croissance des plants de haricots, les données de toutes les équipes devront être partagées à l'ensemble du groupe lors de l'analyse. Il faut s'assurer que les données recueillies seront d'une bonne qualité et qu'elles seront réellement utilisables pour les comparaisons.
- Dans cette séquence, les élèves ont démarré l'expérimentation en plantant les graines de haricot directement dans la terre. Cela fait abstraction du phénomène de germination : pendant cette phase de croissance, la plante puise ses besoins essentiellement dans les réserves de la graine.

Pistes d'amélioration

- L'expérimentation donnerait des résultats plus précis si les élèves démarraient avec des plants, une fois la germination terminée.
- Le facteur lumière peut être difficile à contrôler si on laisse simplement les plantes sur le bord d'une fenêtre (luminosité inconstante). L'utilisation de lampes permettrait un apport constant en lumière dans cette expérimentation (à condition qu'elles n'émettent pas trop de chaleur ; à ce moment, nous pourrions nous questionner sur l'ajout d'une autre variable, soit la température). À ce sujet, il serait aussi possible de comparer non seulement l'effet de l'intensité de la lumière, mais aussi l'effet de différentes couleurs de lumière (longueur d'onde) sur la photosynthèse.

FICHE 8

CHOIX ET VALIDATION DES FAITS SCIENTIFIQUES : UN EXEMPLE DE RECUEIL PAR OBSERVATION (L'OSMOSE)

Dans la même séquence que la fiche 2 portant sur l'osmose et la diffusion, les élèves ont été engagés dans un recueil de données par observation afin de répondre à la question :

Quel est l'effet des solutions salines sur les cellules ?

Après que l'enseignante et la technicienne en travaux pratiques aient rappelé les consignes d'utilisation du microscope, les élèves sont invités à observer au microscope des tissus de pelure d'oignon gardés dans trois solutions différentes : 1) dans l'eau du robinet ; 2) dans l'eau de mer ; 3) dans l'eau très salée. L'enseignante leur propose également d'observer d'autres tissus comme celui de la carotte. Elle poursuit cette activité par l'analyse des résultats d'une expérimentation réalisée avec des bâtonnets de pomme de terre ayant séjourné dans des solutions avec différentes concentrations en sel.

La consigne suivante a été formulée pour commencer l'activité d'observation des tissus d'oignon :

Tu vas observer des différences entre les cellules de l'eau du robinet et dans l'eau très salée. Ces dessins-là, nous les voulons à la page 9, dans les cases que vous retrouvez (à cette page). *Quand vous aurez fait votre dessin* (de la pelure d'iognon), *vous essaierez avec la carotte. C'est difficile pour la carotte…*

Remarques préalables

Nous avons expliqué préalablement l'importance de bien cibler les idées principales en biologie à faire apprendre aux élèves en faisant appel à ce type d'observations.

De manière à renforcer le caractère scientifique des observations visées (ne pas rester au niveau d'observations de sens commun), il est important de s'assurer que les élèves :

- Disposent des connaissances préalables concernant la structure des cellules végétales : la rigidité de la paroi cellulosique ; la relation que celle-ci entretient avec la membrane cytoplasmique ; la place de la vacuole dans le cytoplasme et le rôle de celle-ci ; etc.
- Comprennent que l'observation porte sur chacune des cellules et sur les changements qui peuvent y survenir à la suite du changement de la concentration du milieu (par exemple, il ne s'agit pas de décrire de nouveau à quoi ressemblent les cellules végétales ou les constituants qui les composent).

Potentiel

- L'exemple permet de bien mettre en évidence, en s'appuyant sur des faits observables, certains aspects des échanges d'eau entre les cellules végétales et leur environnement.
- La non-perte du colorant interne (utilisé pour observer le cytoplasme) pourrait constituer un indicateur qu'il s'agit essentiellement d'un mouvement de l'eau.

Défis et obstacles

- Il est plus facile d'observer les tissus minces, comme celui de l'oignon. L'observation d'autres tissus, comme celui de la carotte, est plus difficile à réaliser (il faudrait pour cela obtenir des tranches très minces, ce que ne permet pas généralement le matériel dont disposent les écoles secondaires).
- Sans la maîtrise de connaissances préalables sur la structure des cellules végétales, les élèves pourraient avoir de la difficulté à dessiner ce qu'ils observent au microscope pour rendre compte des mouvements de l'eau associés aux changements dans le milieu extérieur (concentration du milieu). Pour ce faire, il s'avère nécessaire de présenter de manière claire le but de l'observation : dire aux élèves d'observer les cellules sans aucune précision risque de les amener à observer des aspects qui n'ont aucun lien avec la problématique de départ. Les échanges suivants entre élèves lors de la réalisation du laboratoire illustrent bien les difficultés associées à ces observations :

  E1 : *On va faire le numéro deux ?*

  E2 : *Oui… Bon ! Il faut essayer de dessiner ça là.*

  E1 : *Ok, les cellules euh ?*

  E2 : *Non ben on dessine juste le quadrillé… qui est en arrière là, le mur de briques.*

  E1 : *Ok, c'est l'mur de briques.*

  E2 : *Ok, il est plus vertical on dirait. Je ne sais pas s'il faut dessiner ça, dessiner ça tout le long. Tu fais quoi toi ?*

  E1 : *Je fais… ça là vraiment ; je ne veux vraiment pas faire tout le carreau, parce que…*

  E2 : *Ha ! Je ne sais pas moi, je ne sais pas trop ce qu'elle* (l'enseignante) *veut. Je ne sais pas ce qu'il faut faire. Je ne sais pas ce qu'il faut voir… Hey les filles, pensez-vous qu'il faut dessiner tout le carreau au complet* (s'adresse à l'équipe d'en face). *C'est bizarre…*

  E1 : *Ben, je trouve que les cellules sont vraiment collées ensemble.*

  E2 : *Je ne sais pas trop ce qu'elle veut. Parce qu'elle a juste dit les dessins. Elle n'a même pas dit qu'il fallait dessiner un mur.*

Rappelons ici ce que nous avons souligné préalablement au regard de l'observation en sciences : c'est un mode de recueil de faits et il serait important d'amener les élèves dès le départ à s'entendre sur la nature de ces faits (observer quoi ?), sur la visée de ces observations (pour répondre à quel problème ?), sur leur fréquence, sur les modalités de leur compilation et de leur analyse, etc.

Pistes d'amélioration

- L'utilisation du papier buvard, par exemple, permet de remplacer l'eau entre lame et lamelle. Il est possible de l'utiliser pour retirer l'eau salée d'un côté et remettre de l'eau non salée de l'autre ou inversement, tout en continuant l'observation microscopique. Il est ainsi possible d'observer les mouvements de la membrane cytoplasmique et le changement de la taille de la vacuole qui témoignent de la rentrée ou de la sortie de l'eau (turgescence et plasmolyse).
- L'utilisation d'une présentation vidéo (caméra) lors du retour en grand groupe permettrait de s'assurer que tous les élèves ont observé le même phénomène.

FICHE 9

CHOIX ET VALIDATION DES FAITS SCIENTIFIQUES : UN EXEMPLE DE RECUEIL PAR OBSERVATION (LE DÉVELOPPEMENT DES BOURGEONS)

Dans le cadre d'une séquence portant sur la croissance des plantes, une enseignante a amené ses élèves à discuter des deux questions suivantes :

Au printemps, les feuilles apparaissent progressivement sur les arbres. Comment peut-on décrire scientifiquement l'apparition et le développement de celles-ci ? D'où viennent les nouvelles feuilles et les nouvelles branches ?

Dans cet exemple, les élèves ont été amenés à planifier une procédure d'observation systématique. Les élèves ont identifié les objets à observer (par exemple, repérer une branche sur un arbre au début du printemps et identifier des bourgeons à observer), ont choisi des outils et des modalités d'observation (à l'œil nu, à la loupe, à l'aide de prises avec un appareil photo, etc.) ainsi que leur fréquence (nombre d'observations par semaine, par exemple) et ont précisé les modalités de présentation de leurs données (schémas, tableaux indiquant la taille moyenne des nouvelles branches, le nombre de feuilles ou de nouveaux bourgeons, montage de photos, etc.).

Potentiel

- Dans cet exemple, les élèves sont engagés dans une démarche d'investigation scientifique qui ne nécessite ni hypothèse (au sens strict), ni expérimentation avec contrôle de variables. Sans recourir à une démarche expérimentale, les élèves sont amenés à résoudre le problème posé en proposant un plan de recherche approprié, en planifiant une procédure d'observation systématique, en mettant en œuvre une collecte de données pertinentes et en analysant et interprétant les résultats pour formuler des énoncés scientifiques.
- Cet exemple démontre bien que si la question avait été posée autrement, les élèves auraient pu être amenés à recourir à une démarche expérimentale (*Quels sont les facteurs qui influencent la vitesse de développement des bourgeons ? Quels sont les facteurs qui conduisent à la transformation d'un bourgeon en fleur ?*) Ce n'est donc pas l'objet à étudier (le bourgeon) qui détermine la nature de la démarche, mais plutôt le problème et la question ou les questions retenue(s).

Défis et obstacles

- Comme dans le cas de la fiche 1, l'observation d'objets et de phénomènes du quotidien risque de conduire les élèves à les aborder en faisant appel au sens commun et non pas à la rigueur que nécessite l'observation scientifique. Un des principaux défis est d'ailleurs de les amener à prendre conscience du problème, puisqu'ils pensent connaître suffisamment le sujet (chaque jour, ils voient les plantes pousser sous leurs yeux !).
- Même lorsqu'on réussit à amener les élèves à s'engager dans une démarche scientifique de cette nature, certains élèves pourraient trouver difficile l'analyse et l'interprétation des observations réalisées (que peuvent-ils dire de plus que ce qu'ils constatent ?). L'analyse devrait aller plus loin que la simple description et devrait déboucher sur la formulation d'énoncés tels que : « en se développant, les bourgeons donnent naissance à des feuilles, des tiges et de nouveaux bourgeons » ; « certains bourgeons se transforment en fleurs », etc. Les analyses et les interprétations devraient aussi permettre de déboucher sur de nouveaux questionnements, comme : « D'où viennent les cellules qui forment les nouvelles feuilles, tiges et bourgeons de la plante ? » ; « Est-ce que les fleurs sont aussi issues du développement des bourgeons ? » ; « Quel est l'effet de l'élagage des plantes sur le développement des bourgeons qui se situent aux différents niveaux de la branche ? ».

Pistes d'amélioration

- Le temps ne permet pas toujours d'amener les élèves à faire un recueil de données par eux-mêmes (observation sur de longues périodes, comme le montre la section 4.2 de ce document). Des solutions peuvent être envisagées afin de faire vivre aux élèves une démarche appropriée lorsque le recueil de données à l'extérieur de la classe n'est pas possible ou est difficile. Par exemple, une fois que les élèves auraient proposé et validé une démarche de recherche, nous pourrions mettre à leur disposition des photos d'observation prises auparavant (l'année précédente, par exemple) dans des conditions comparables.

FICHE 10

CHOIX ET VALIDATION DES FAITS SCIENTIFIQUES : UN EXEMPLE D'UTILISATION DE DONNÉES CONVOQUÉES (CAS DE L'ÉTUDE DE L'ADAPTATION DES ESPÈCES EN UTILISANT LES DONNÉES SUR LA PHALÈNE DU BOULEAU)

Voici un exemple d'utilisation de données « convoquées » dans le contexte des DIS. Dans une séquence en science et technologie portant sur l'évolution et l'adaptation présentée à des élèves de 1re secondaire, un enseignant présente la problématique de la phalène du bouleau en s'inspirant de la description historique suivante :

La phalène du bouleau vit principalement la nuit et se pose sur le tronc des arbres (bouleaux) le jour. Il existe en deux formes principales, soit la forme claire (plutôt gris pâle tacheté de noir) et la forme sombre (gris foncé plutôt uniforme). Jusqu'en 1848, les phalènes sombres étaient assez rares (moins de 1 %). Vers la fin du 19e siècle, la pollution atmosphérique due à la révolution industrielle devient assez grande et les résidus de combustion du charbon finissent par se déposer sur les arbres, dont les bouleaux. Les lichens qui couvraient ces arbres ont connu également une grande baisse. En parallèle à cette transformation de l'environnement, les entomologistes ont constaté que la population des phalènes dans les zones polluées a profondément changé : vers 1895, 98 % des phalènes sont plutôt de forme sombre.

À la suite de cette mise en situation, l'enseignant a invité les élèves à proposer en grand groupe des hypothèses qui pourraient expliquer ce changement dans la population des phalènes. Voici des exemples d'idées émises par les élèves lors de l'échange en groupe à la suite de la mise en situation proposée :

E1 : *Pendant la reproduction des phalènes, il y avait de la suie, et cela a fait en sorte que les descendants étaient plus sombres que clairs.*

E2 : *C'est la vieillesse des phalènes qui ferait qu'ils deviendraient sombres.*

E3 : *Les collectionneurs auraient capturé beaucoup de spécimens clairs, il serait donc resté plus de sombres.*

E4 : *Le charbon et la suie seraient nocifs pour les papillons clairs, et moins nocifs pour les papillons sombres. Il resterait donc plus de papillons sombres.*

E5 : *C'est la nourriture polluée que les papillons mangent qui les fait devenir plus sombres.*

E6 : *Les couleurs sombres attirent le Soleil, et à cause des changements climatiques, cela a favorisé les papillons sombres, qui ont besoin de chaleur, ça a aidé à les faire proliférer.*

E7 : *Au fil des descendances, les phalènes, pour se camoufler, se sont adaptées et sont devenues noires.*

E8 : *Ce sont les prédateurs qui mangent davantage les phalènes claires qui sont visibles sur les arbres noircis. Les phalènes sombres se camouflent sur les arbres noircis, ils ont plus de chance de survivre.*

L'enseignant demande ensuite aux élèves d'imaginer individuellement une expérience (bref protocole) qui permettrait de vérifier si leur propre hypothèse est vraie. Les différents protocoles sont discutés en grand groupe. L'enseignant et les élèves conviennent de deux hypothèses plus plausibles : 1) un changement de couleur dû à la pollution dans la nourriture des papillons ; 2) un changement dans la prédation des papillons.

L'enseignant fournit ensuite aux élèves des résultats d'observations qui se sont déjà déroulées (données convoquées). Il fournit aussi deux schémas qui illustrent l'évolution des populations de phalènes claires et de phalènes sombres (explication de l'évolution de la population sous l'effet de la prédation). Dans ce type de démarche, les élèves ne recueillent pas de données eux-mêmes, ils travaillent plutôt sur des données convoquées (déjà recueillies).

Données fournies aux élèves

Expérience 1 : Le changement de couleur des papillons est-il dû à la pollution de la nourriture ?

- Des chercheurs utilisent les chenilles descendant de papillons de variété claire. Ils en nourrissent un premier lot avec des feuilles imprégnées de suie et un deuxième lot avec des feuilles non polluées. Les papillons issus de ces chenilles, dans les deux cas, donnent des descendants de type clair.
- Lorsque des chenilles descendant de papillons sombres ont été nourries avec des feuilles non souillées, les papillons qui en sont issus sont sombres.

Expérience 2 : Le changement de couleur des papillons est-il dû aux prédateurs ? (Voir, par exemple, les tableaux 1 et 2 de ce document).

- Le nombre de phalènes claires capturées dans un milieu pollué est plus petit que le nombre de phalènes sombres.
- Le nombre de phalènes claires capturées dans un milieu non pollué est plus grand que le nombre de phalènes sombres.

Potentiel

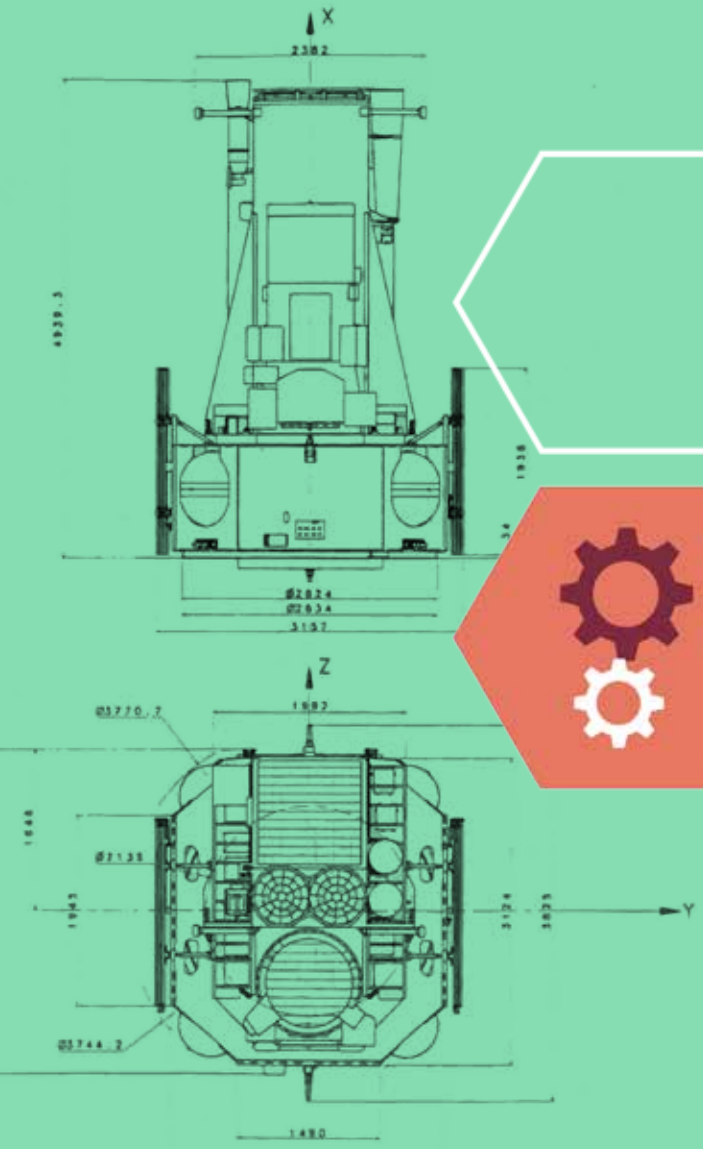
- L'exploitation de données convoquées est pertinente à une situation d'apprentissage en biologie qui traite des adaptations et de l'évolution. Il serait pratiquement impossible d'exiger aux élèves de recueillir des données (observation) sur de tels phénomènes qui se déroulent à très long terme, sur plusieurs années.

Défis et obstacles

- Comme les citations de certains élèves en témoignent, il peut être difficile de formuler des hypothèses plausibles sur l'évolution des populations de phalènes si l'on ne dispose pas des connaissances préalables sur l'écologie du papillon (par exemple, le fait que les papillons sont actifs la nuit et pas le jour ; qu'ils se reposent le jour sur les troncs d'arbre ; que la nuit, ils peuvent être attirés par la lumière ; etc.). Ces informations devraient être fournies par l'enseignant.
- L'analyse des données mérite une attention particulière, puisque les résultats obtenus ne sont pas de même nature que ce qu'on obtient dans les expérimentations habituelles en laboratoire. Dans le cas de l'expérimentation de la capture, par exemple, il faut amener les élèves à raisonner en termes probabilistes : on ne peut pas penser qu'il serait possible de capturer toutes les phalènes non mangées par les oiseaux.
- Le concept de sélection naturelle, au cœur de cet exemple, est un concept complexe : certains élèves pourraient attribuer une trop grande importance à l'effet physique ou chimique de l'environnement (action directe de la suie) ou à une volonté interne de l'insecte à se camoufler (les phalènes se sont adaptées à leur environnement sombre en évitant les oiseaux) sans faire de lien avec la survie et la reproduction à long terme, sur de nombreuses années.

Pistes d'amélioration

- Dans cet exemple, les résultats des expériences convoquées ont été directement donnés aux élèves. Si des données sur ces expériences (chiffrées ou non) sont disponibles, il serait possible de les mettre à la disposition des élèves et qu'ils procèdent eux-mêmes au traitement et à l'analyse de celles-ci afin d'établir de manière un peu plus autonome des conclusions sur ces expériences. En limitant le nombre d'hypothèses plausibles à 2 ou 3 (comme dans l'exemple, la nourriture et la prédation), les élèves pourraient choisir l'hypothèse à vérifier en s'appuyant sur l'analyse des données convoquées (fournies par l'enseignant).


X
Z
Y

FICHE 11

UN EXEMPLE D'EXPLOITATION DES DONNÉES EN VUE DE LA CONCEPTUALISATION D'UN PHÉNOMÈNE SCIENTIFIQUE (LA PRESSION)

Dans une séquence en 3e secondaire, une enseignante a proposé la mise en situation suivante pour amener ses élèves à comprendre le concept de pression :

Pour la semaine de relâche, vos amis et vous avez décidé de louer un refuge situé en pleine forêt. Une quantité impressionnante de neige est attendue dans les prochains jours. Le dimanche, en manque de vivres, vous devez quitter le chalet, mais une fois la porte ouverte, il y a de la neige partout. Vous décidez de fabriquer des raquettes avec des matériaux disponibles sur place.

Pour analyser l'effet des deux variables associées à la pression (la force appliquée et la surface de contact), les élèves devront recourir à un protocole expérimental. Le matériel leur est fourni. À l'aide de blocs de matelas-mousse, de plateaux de contreplaqué et de différentes masses, les élèves devront mesurer l'enfoncement du matelas-mousse en faisant varier la force appliquée (différentes masses) et la surface de contact (en utilisant des plateaux d'aires différentes). Ce sont les élèves qui rédigent leurs propres protocoles, l'enseignante valide par la suite en grand groupe.

Une fois les données recueillies, les élèves rapportent leurs résultats dans deux graphiques : le premier graphique représente l'enfoncement du matelas mousse (en cm) en fonction de la force appliquée (en N) ; le deuxième graphique représente l'enfoncement du matelas mousse (en cm) en fonction de la surface de contact (en m^2). L'analyse des graphiques devrait amener les élèves à comprendre que l'enfoncement est proportionnel à la force appliquée et inversement proportionnel à la surface de contact.

Pour répondre au problème de départ, on informe les élèves que les raquettes ne seront efficaces sur la neige que si la pression exercée n'excède pas 7,5 kPa. Les élèves sont ainsi amenés à exécuter une démarche mathématique structurée leur permettant par la suite de dessiner un plan détaillé de raquettes qui respectent ces contraintes.

En conclusion, un retour sur la situation est proposé aux élèves :

Tu présentes tes raquettes à ton père (qui est alourdi par le poids des années). Celui-ci veut les mettre à l'épreuve, mais il s'enfonce dans la neige jusqu'aux genoux. Comment expliquerais-tu à ton père les principes importants qui t'ont permis de fabriquer des raquettes adaptées ? Comment lui expliquerais-tu qu'il s'est enfoncé dans la neige avec les raquettes ?

Potentiel

- Dans cette séquence, les élèves ont l'occasion de caractériser le concept de pression par ses variables (force et surface de contact) en recourant à un contexte ancré dans la vie de « tous les jours » et à un problème concret (on doit construire des raquettes pour éviter l'enfoncement dans la neige). Le concept de pression n'est pas présenté dès le départ. Pour répondre à la question proposée en conclusion, les élèves devront réinvestir leurs connaissances des principes importants qui auront été élaborés au terme des expériences sur la pression.
- Les élèves sont invités à proposer un protocole pour répondre au défi qui leur est proposé.
- Les élèves sont invités à conceptualiser à partir de résultats expérimentaux et à valider leur conceptualisation (explications à fournir au père).

Défis et obstacles

- Ce type d'analyse fait intervenir diverses connaissances préalables en mathématiques qui pourraient constituer un obstacle à la conceptualisation en sciences. L'observation vidéo de cette séquence d'enseignement-apprentissage a révélé que plusieurs élèves éprouvaient des difficultés importantes au niveau des calculs et des conversions d'unités de mesure (la relation entre la masse corporelle en kg et la force (poids) en N ; la conversion des aires, de cm^2 en m^2) et de la simple conception de graphiques (identifier les variables dépendantes et indépendantes dans un graphique, identifier la graduation appropriée, tracer une droite à travers des points expérimentaux, etc.). Il peut être difficile d'en arriver à la compréhension du phénomène si les outils mathématiques ne sont pas complètement maîtrisés.
- Après avoir présenté la mise en situation sur les raquettes, l'enseignante a immédiatement proposé les expériences avec les blocs de matelas-mousse. S'il semblait clair pour l'enseignante que ces expériences auraient pour but de modéliser la pression en faisant varier la force appliquée et la surface de contact, plusieurs élèves n'avaient toujours pas compris pourquoi ils devaient faire des expériences avec des matelas-mousses (quel est le lien avec les raquettes ?). Le matelas-mousse demeure un modèle analogique qui permet d'illustrer un enfoncement similaire de la neige sous l'effet de raquettes. Il aurait été souhaitable de discuter des différents protocoles expérimentaux avant de retenir le plus pertinent.
- Certains élèves étaient manifestement déçus, à la fin de la séquence, de ne pas construire avec du vrai matériel les raquettes qu'ils avaient conçues sur papier.

Pistes d'amélioration

- Ce type de séquence peut constituer une occasion pour travailler certains outils mathématiques qui sont souvent utilisés en sciences et technologie. Il serait possible de s'entendre avec l'enseignant de mathématiques pour travailler conjointement certains aspects du projet, comme la conception de graphiques, l'utilisation de la règle de trois, la conversion d'unités, etc.
- Il serait important de repérer les principaux savoirs en jeu dans cette situation et de distinguer les savoirs préalables que les élèves doivent détenir pour comprendre le problème et s'engager dans la tâche et les savoirs conceptuels visés.

RÉFÉRENCES

Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997). *Pratiques de formation en didactique des sciences.* Bruxelles : De Boeck Université.

Bachelard, G. (1971). *Le nouvel esprit scientifique.* Paris : Presses universitaires de France.

Bachelard, G. (2004). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective.* Paris : Librairie philosophique (1re éd. 1938).

Banchi, H. et Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children, 46*(2), 26-29.

Buty, C. et Plantin, C. (dir.) (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage.* Paris : Institut national de recherche pédagogique.

Cain, M. L., Damman, H., Lue, R. A. et Yoon, C. K. (2003). *Découvrir la biologie.* Bruxelles : De Boeck.

Calmettes, B. et Matheron, Y. (2015). Édito. Les démarches d'investigation : utopie, mythe ou réalité ? Les démarches d'investigation et leurs déclinaisons en mathématiques, physique, sciences de la vie et de la Terre. *Recherches en Éducation, 21*, 3-12.

Campbell, N. et Reece, J. (2007). *Biologie* (3e éd.). Saint-Laurent : Éditions du Renouveau Pédagogique Inc.

Cariou, J.Y. (2015). Quels critères pour quelles démarches d'investigation ? Articuler esprit créatif et esprit de contrôle. *Recherches en éducation, 21*, 12-33.

Chinn, C. A. et Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education, 86*(2), 175-218.

Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique, dix ans de recherche. *Aster, 27*, 57-94.

Debroise, A. (2017). Un papillon vole au secours de Darwin. *La Recherche, 21,* 33-36.

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. et Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research, 82*(3), 300-329.

Glavieux,V (2016). L'évaporation est une affaire collective. *La Recherche, 508*, 24.

Gouvernement du Québec (1963). *Rapport Parent. Rapport de la Commission royale d'enquête sur l'enseignement dans la province du Québec.* Québec : Publications Québec.

Gouvernement du Québec (1980). *Programme d'études primaire sciences de la nature.* Québec : Ministère de l'Éducation, Direction générale du développement pédagogique.

Gouvernement du Québec (1982). *Programme d'études secondaire : biologie humaine.* Québec : Ministère de l'Éducation, Direction générale du développement pédagogique.

Gouvernement du Québec (1988a). *Programme d'études secondaire : sciences physiques.* Québec : Ministère de l'Éducation, Direction générale du développement pédagogique.

Gouvernement du Québec (1988b). *Programme d'études secondaire : biologie générale.* Québec : Ministère de l'Éducation, Direction générale du développement pédagogique.

Gouvernement du Québec (1990). *Programme d'études secondaire : sciences physiques* 416-436. Québec : Ministère de l'Éducation, Direction générale du développement pédagogique.

Gouvernement du Québec (2004). *Programme de formation de l'école québécoise. Deuxième cycle du secondaire.* Québec : Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport.

Hasni, A. (2011). Le carnet de sciences : comment exploiter une sortie pour favoriser l'appropriation des savoirs conceptuels par les élèves ? In H. Guy, C. Deslauriers, A. Savoie et M.-D. Létourneau (dir.), *Les carnets des aventuriers. Démarche d'écriture interdisciplinaire au primaire* (p. 132-144). Montréal : La Chenelière.

Hasni, A. et Samson, G. (2007). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Première partie : place de la problématisation dans les démarches à caractère scientifique. *Spectre, 37*(2), 26-29.

Hasni, A. et Samson, G. (2008). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Deuxième partie : la diversité des démarches à caractère scientifique et leurs liens avec les savoirs disciplinaires. *Spectre, 37*(3), 22-25.

Hasni, A. et Bousadra, F. (2016). *Les démarches d'investigation scientifique dans les pratiques d'enseignants du secondaire au Québec : défis théoriques et pratiques.* Communication présentée au 84e congrès de l'ACFAS, Montréal, 9 au 13 mai.

Hasni, A., Roy, P. et Dumais, N. (2016). The teaching and learning of diffusion and osmosis: What can we learn from analysis of classroom practices? A Case Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 12*(6), 1507-1531. (http://www.iserjournals.com/journals/eurasia/articles/10.12973/eurasia.2016.1242a)

Hasni, A. et Lenoir, Y. (2011). Enseignement scientifique et approche par compétences : quelle relation ? Mundializaciòn Educativa. *Revista de Investigaciòn e Innovaciòn Educativa para el Desarrollo y la Formaciòn Profesional, 3*, 1-8.

Hasni, A. et Potvin, P. (2013). L'intérêt pour les sciences et la technologie : que nous apprend une enquête réalisée auprès d'élèves du primaire et du secondaire au Québec ? *Spectre, 43*, 22-26.

Hasni, A. et Roy, P. (2006). Comment les manuels scolaires proposent-ils d'aborder les concepts scientifiques avec les élèves ? Cas des concepts de biologie. In J. Lebrun, J. Bédard et A. Hasni (dir.), *Matériel didactique et pédagogique : Soutien à l'appropriation ou déterminant de l'intervention éducative* (p. 125-162). Ste-Foy : Presses de l'Université Laval.

Hasni, A. et Bousadra, F. (sous presse). Les démarches d'investigation scientifique dans des classes de secondaire au Québec : défis théoriques et pratiques. In A. Hasni, F. Bousadra et J. Lebeaume, *Les démarches d'investigation scientifique et de conception technologique : Regards croisés sur les curriculums et les pratiques en France et au Québec.* Montréal : Groupéditions éditeurs.

Kettlewell H. B. D. (1955). Selection experiments on industrial melanism in the Lepidoptera. *Heredity, 9*, 323-342.

Kuhn, T. (1973). *La structure des révolutions scientifiques.* Paris : Flammarion.

Majerus, M. E. N. (2009). Industrial melanism in the peppered moth, Biston betularia: An excellent teaching example of darwinian evolution in action. *Evolution: Education and Outreach,* 2(1), 63-74.

Martinand, J.-L. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation.* Paris : INRP.

NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states.* Document accessible en ligne à l'adresse https://www.nap.edu/catalog/18290/next-generation-science-standards-for-states-by-states.

National Research Council [NRC] (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C. : National Academy Press.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T. et al (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review, 14*, 47-61.

Piaget, J. (1967). *Logique et connaissance scientifique.* Paris : Gallimard.

Poincaré, H. (1960). *La science et l'hypothèse.* Paris : Flammarion.

Popper, K. (1985). *Conjectures et réfutations : la croissance des savoirs scientifiques.* Paris : Payot.

Potvin, P. et Hasni, A. (2017). Encouraging students with different profiles of perceptions to pursue science by choosing appropriate teaching methods for each age group. *Research in Science Education*. Document accessible à l'adresse https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-016-9605-z

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (2015). *Programme pour les cycles 2, 3, 4*. Document accessible à l'adresse http://cache.media.education.gouv.fr/file/MEN_SPE_11/67/3/2015_programmes_cycles234_4_12_ok_508673.pdf

Rönnebeck, S., Bernholt, S. et Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education, 52*(2), 161-197.

Sladek, P., Miller, T., Benarova R. (2011). How to increase students' interest in science and technology. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 12*, 168-174.

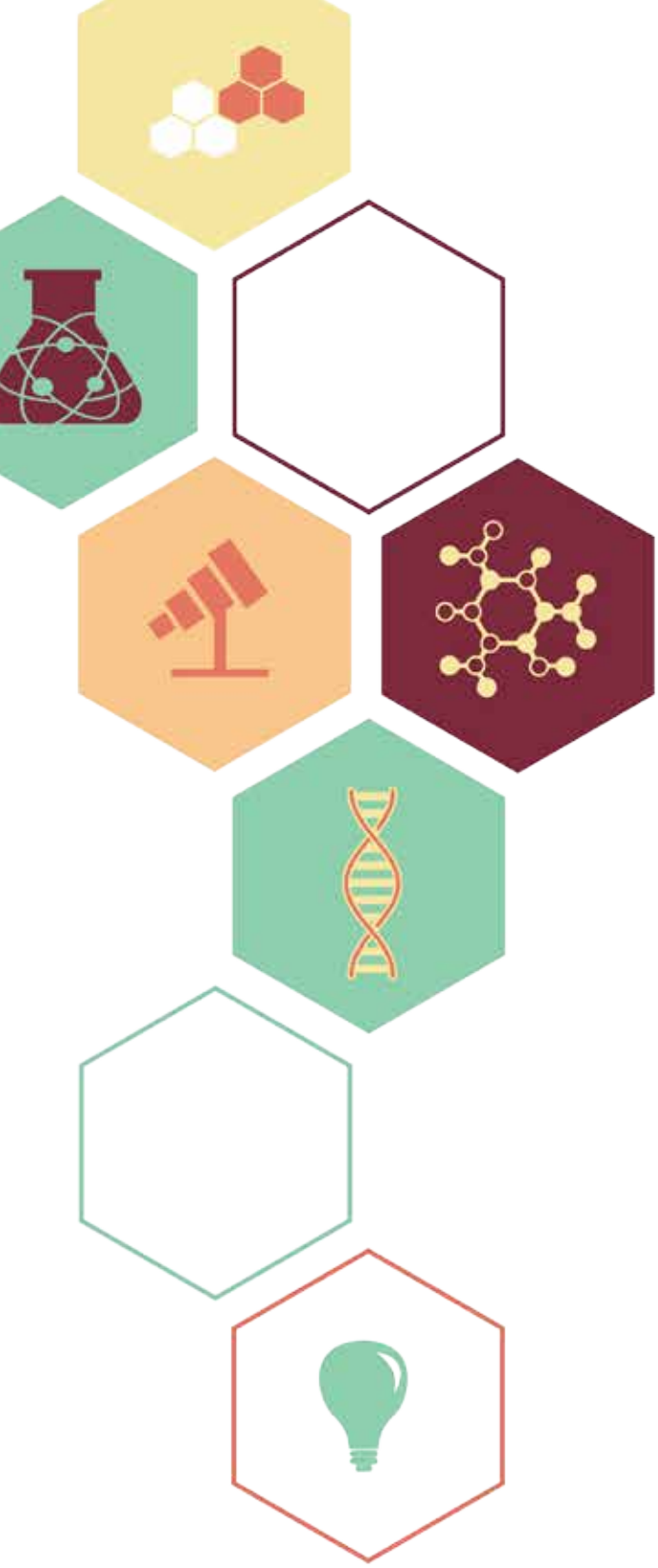
Stichweh, R. (1991). *Étude sur la genèse du système scientifique actuel*. Lille : Presses universitaires de Lille.

Theytaz, P. (2007). *Motiver pour apprendre : guide pour parents, enseignants et élèves.* Saint-Maurice : Éditions Saint-Augustin.

Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire.* Québec : Les Éditions du Renouveau Pédagogique Inc.

Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage.* Paris : La Dispute (1re éd. 1934).

Windschitl, M., Thompson, J. et Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education, 92*(5), 941-967.



Démarche scientifique, démarche expérimentale, méthode scientifique, démarche d'investigation scientifique, pratiques scientifiques, etc. : les expressions utilisées pour designer l'intégration dans l'enseignement scolaire des processus qui caractérisent les sciences varient d'un système éducatif à l'autre et d'une réforme à l'autre. Il en est de même des attributs utilisés pour les définir ou des modalités proposées pour les mettre en œuvre en classe. Comment les acteurs concernés par l'éducation scientifique à l'école, notamment les enseignants, les conseillers pédagogiques et les formateurs d'enseignants, doivent-ils composer avec cette diversité de conceptions ? C'est la question centrale qui est considérée dans ce document qui vise à proposer à ces acteurs des repères théoriques et pratiques qui tiennent compte, entre autres, de : la diversité des démarches en fonction des problématiques considérées ; l'association de ces démarches à une posture (le développement de l'esprit scientifique) et non pas à une procédure technique ; la centralité des faits dans l'élaboration de la preuve en sciences ; la relation réciproque entre les savoirs conceptuels et les processus scientifiques ; la gestion des démarches en classe en tenant compte des contraintes curriculaires et du niveau d'avancement des élèves ; etc. Le document s'appuie sur l'analyse de curriculums et de publications scientifiques internationaux et sur l'analyse de pratiques de classes conduites dans les écoles québécoises depuis de nombreuses années.