

Faire des sciences avec les petits : une approche “bottom-up”

Estelle Blanquet^(1,2) (Estelle.Blanquet@unice.fr) et Éric Picholle⁽³⁾

(1) ESPE de l'Académie de Nice & GIS CAPEF, Université de Nice Sophia-Antipolis, 43 avenue Stephen Liégeard, 06100 Nice

(2) IUFE, Laboratoire de Didactique et d'Épistémologie des Sciences (LDES), Université de Genève, Suisse

(3) CNRS, Université de Nice Sophia-Antipolis, LPMC, UMR 7336

La plupart des analyses sur la nature de la science à l'école relèvent d'une approche “top-down”, partant d'une vision de la science professionnelle pour en arriver, par édulcorations successives, à des définitions d'une « science scolaire » accessible aux élèves. Bien adaptée au public des lycées, ayant déjà une idée assez claire de la nature des disciplines « scientifiques », cette approche perd toutefois de sa pertinence quand on s'adresse à de jeunes enfants. Nous avons donc développé une approche alternative, “bottom-up”, partant des pratiques effectivement observées dans les classes pour remonter vers l'appropriation d'une méthode scientifique de plus en plus exigeante à mesure que l'enfant progresse dans sa scolarité.

S'il est relativement simple pour les enseignants d'identifier des activités proprement scientifiques au collège ou au lycée, les choses se compliquent lorsqu'on travaille avec les petits. Pour « découvrir le monde », des élèves d'école maternelle fabriquent des crêpes ou de la glace : peut-on considérer qu'ils font des sciences ? Difficile de répondre à une telle question en l'absence d'une définition claire de la science scolaire.

De ce fait, beaucoup d'enseignants d'école maternelle ont du mal à évaluer le caractère scientifique ou non de ce qu'ils proposent à leurs élèves ; plus grave, ils s'estiment souvent incompétents à enseigner les sciences. Cela se traduit trop souvent par une absence d'initiation scientifique des jeunes enfants à l'école maternelle, à un âge où ils sont pourtant avides de comprendre et où il est possible d'introduire en douceur des éléments de méthode. Or, quand on sait les difficultés rencontrées par les élèves plus âgés pour comprendre ce qu'est la science [1], pourquoi attendre qu'ils grandissent alors qu'on peut préparer le chemin dès la maternelle et, en prime, susciter du plaisir chez les jeunes élèves ?

Une approche “top-down” de la science scolaire

La plupart des définitions classiques de la science scolaire s'adressent en effet avant tout aux enseignants de collège et de lycée. L'approche la plus répandue, que nous qualifierons de “top-down”, isole des caractéristiques consensuelles de la science professionnelle pour les transposer à l'école. Cette approche a fortement influencé les

standards éducatifs du National Research Council américain (NRC), qui décline par édulcorations successives autant de formulations qu'il existe de niveaux d'enseignement [2]. Ainsi, en bout de chaîne, le NRC attend d'élèves de niveau CP/CE1 qu'ils aient compris « *qu'une investigation scientifique commence avec une question ; que les scientifiques utilisent différentes façons pour étudier le monde ; qu'ils étudient le monde naturel et matériel ; que la connaissance scientifique change quand on découvre de nouvelles informations, etc.* » L'abaissement progressif des contraintes conduit alors à des formulations de plus en plus floues et sujettes à interprétation.

Or les jeunes enfants se posent des questions à tout propos, cherchent des réponses, rassemblent des indices, changent d'avis au fur et à mesure qu'ils apprennent : cela suffit-il à affirmer qu'ils font chaque fois de la science ? Toute la charge de faire la part des choses et de distinguer les apprentissages de nature scientifique est alors renvoyée sur l'enseignant ; or tous, loin s'en faut, n'en sont pas capables sans outils spécifiques.

Une approche alternative “bottom-up” basée sur des critères de scientificité

Il semble en effet que nombre d'enseignants, même spécialisés en sciences, n'aient qu'une compréhension insuffisante de la méthodologie scientifique et de la nature de la science [1]. C'est encore plus vrai des enseignants du primaire issus, pour la plupart, d'un cursus universitaire littéraire.

Pour leur permettre de se construire une vision opératoire de la science scolaire, nous avons développé une approche alternative,



© Christophe Rousseau – Service communication UNS

Observation d'un tourbillon.

“*bottom-up*”, qui consiste à la définir en s'appuyant à la fois sur des pratiques effectives de classe et sur des éléments épistémologiques maîtrisables par ces mêmes enseignants.

L'outil développé ici s'appuie sur la notion de « critère de scientificité » (CS), c'est-à-dire de condition nécessaire (mais non suffisante) pour qu'une pratique puisse être considérée comme scientifique. Sous réserve d'une formulation adéquate, un CS

fournit à l'enseignant et à ses élèves un test sans ambiguïté pour évaluer une pratique.

En nous basant sur un corpus étendu d'histoire et de philosophie des sciences, nous avons dégagé un ensemble de critères classiques compatibles avec les contraintes de la science scolaire et nous les avons reformulés en termes aussi proches que possible des pratiques de classe. Le pouvoir discriminant de cet ensemble de CS a été vérifié au regard, d'une part de démarches

reconnues par la communauté scientifique et d'autres réputées non scientifiques (e.g. l'astrologie), et d'autre part de pratiques scolaires scientifiques ou non. Leurs formulations ont ensuite été testées auprès d'enseignants, en fonction de leur faisabilité en classe. Nous avons ainsi abouti à un ensemble de vingt et un CS couvrant tous les aspects de la science scolaire (tableau ci-dessous). La plupart sont si bien intégrés par la communauté scientifique qu'ils



Critères de scientificité pour la science scolaire

Méthodologie scientifique	Observation/Expérience	Discours & Représentations	Argumentation & Théorisation
<p>Primauté de l'expérience Les conclusions ne contredisent aucun fait d'expérience.</p> <p>Recul Des marqueurs* d'une distinction entre le monde physique et ses représentations sont identifiables (e.g. « on a dit que l'on représentait la lumière par des rayons rectilignes »).</p> <p>Exploitation du spectre de généralité Des marqueurs* d'une navigation entre le général et le particulier sont identifiables.</p> <p>Intégrité Aucune mauvaise pratique n'est identifiable.</p> <p>Transmission Les conclusions ont été formellement communiquées.</p>	<p>Opportunité L'expérience menée vise à acquérir ou à éprouver des connaissances spécifiques.</p> <p>Reproductibilité Robustesse Une modification mineure des conditions de l'expérience ne modifie pas dramatiquement son résultat.</p> <p>Exhaustivité de la documentation</p> <p>Économie de la documentation Seuls les éléments significatifs ou potentiellement significatifs d'une expérience ou d'une observation sont présents dans sa documentation.</p>	<p>Cohérence lexicale</p> <p>Cohérence symbolique</p> <p>Non-contradiction interne</p> <p>Non-contradiction externe</p> <p>Non-vacuité Le discours ou la représentation véhicule des connaissances spécifiques.</p> <p>Relativité La portée du discours est explicitement limitée.</p>	<p>Cohérence logique</p> <p>Non scolasticité Il n'est jamais fait appel à l'argument d'autorité.</p> <p>Univocité (d'une loi) Robustesse (d'une loi).</p> <p>Économie (d'une loi) Seuls des éléments significatifs ou potentiellement significatifs sont présents dans l'énoncé.</p>

(*) Un marqueur est typiquement un élément de discours explicite, permettant de s'assurer qu'une distinction ou une navigation est effectivement réalisée.



« vont sans dire » pour le physicien. Mais ils ne sont pas évidents pour les élèves. Ainsi, distinguer le monde physique de ses représentations (le recul), compétence indispensable pour donner son sens à toute modélisation scientifique, est un objectif d'apprentissage en soi à l'école primaire et même au-delà.

À partir de cet ensemble initial de critères, chaque enseignant peut ensuite déterminer son propre jeu de critères, adapté aux pratiques de sa classe et à ses objectifs pédagogiques. Il va de soi que ce choix dépend du niveau considéré : ainsi, il semblerait pour le moins présomptueux de travailler en maternelle des critères de scientificité comme l'exhaustivité d'une documentation ou l'univocité d'une loi.

Concrètement, les enseignants de maternelle considèrent des jeux de deux à six critères adaptés à l'âge de leurs élèves. Le choix d'un jeu de CS fournit à l'enseignant un guide explicite pour sa pratique personnelle.

Un enseignant de maternelle peut, par exemple, choisir de travailler les critères de primauté de l'expérience et de recul. Il peut ensuite choisir d'ajouter à ces deux CS initiaux le critère de reproductibilité. À chaque jeu de CS correspond une définition de la science. Ici, typiquement : « *La science est une méthode pour résoudre un problème en comparant explicitement l'expérience, dont le résultat ne dépend pas de l'observateur et peut être testé par n'importe quel observateur présent, à ses représentations et en donnant la primauté à l'expérience en cas de conflit.* »

Une conséquence immédiate de l'approche *bottom-up* est qu'un élève rencontrera différentes définitions de la science au cours

de sa scolarité, voire au fil d'une même année, le choix des CS travaillés déterminant ce qui est ou non recevable en tant que « science » à un stade donné de son apprentissage.

Idéalement, cette définition se précise donc et devient de plus en plus sophistiquée : à la différence de l'approche *top-down* qui fixe un nombre donné de caractéristiques de la science et module leur caractère contraignant en fonction du niveau, l'approche *bottom-up* fixe des CS durables mais dont le nombre augmente. La prise en compte d'un trop grand nombre d'éléments de scientificité constitue toutefois l'une de ses limites au collège et *a fortiori* au lycée.

Quels éléments de scientificité pour des élèves de maternelle ?

En pratique, les CS spontanément choisis par les enseignants de maternelle se limitent à la primauté de l'expérience, la reproductibilité, la robustesse, le recul et l'exploitation du spectre de généralité.

Nous avons pu confirmer l'intuition de ces praticiens par une étude de la capacité d'élèves de grande section de maternelle (5-6 ans) à s'approprier les éléments de méthodologie correspondants, y compris l'identification de paramètres pertinents et l'importance du test de paramètres supposés indifférents (en association avec la robustesse), la navigation entre le monde physique et ses représentations, et la formulation de généralités (en association avec l'exploitation du spectre de généralité).

Pour ce faire, des séquences spécifiques d'enseignement en démarche d'investigation ont été conçues [3]. Des enseignants les

ont réalisées en classe et leurs élèves ont ensuite participé à une manifestation scientifique festive, le « Jardin des sciences », pendant laquelle ils ont fait découvrir à d'autres élèves ce qu'ils avaient compris par le biais d'expérimentations (fig. 1 et fig. E1). Suite à cette manifestation, les élèves ont été interviewés par binômes (fig. 2), et les échanges retranscrits et analysés pour identifier les compétences acquises.

On se limite ici aux résultats obtenus avec 68 élèves de trois classes, qui ont participé à l'étude, ayant respectivement travaillé sur les transvasements (voir l'encadré), la dissolution et les sabliers (e.g. dans quel sablier le sable prend-il le plus de temps pour s'écouler ?).

Appropriation de la primauté de l'expérience

La primauté de l'expérience est l'élément méthodologique qui a été le plus travaillé par les enseignants (et le seul de façon explicite), une formule récurrente des séquences étant « *Comment fait-on pour savoir ? On essaie !* ». Cet élément de méthodologie est très largement approprié : 84% des élèves remettent en question une affirmation contraire à une expérience et 80% considèrent qu'il est important d'essayer pour « *être sûr* » ou pour « *savoir quelque chose* ».

Appropriation de la robustesse et de la reproductibilité

Lorsqu'on les interroge sur la pertinence d'un paramètre indifférent (e.g. utiliser du lait plutôt que de l'eau pour les transvasements de liquides), ils sont 94% à identifier la non pertinence du paramètre ; 31% utilisent une généralité pour justifier et 63% proposent



1. Une élève de grande section (à gauche) anime un atelier sur les sabliers. Bien qu'elle ne sache pas encore lire, elle a devant elle une fiche illustrée rappelant les étapes de l'animation : c'est également une procédure classique de familiarisation avec l'écrit.



2. Interview de deux élèves de maternelle.

d'essayer pour « être sûr ». En revanche, seuls 14% considèrent qu'il est utile de tester des paramètres non pertinents.

En ce qui concerne la reproductibilité, 88% des élèves considèrent que le résultat d'une expérience connue ne change pas si on la reproduit dans une autre école. Parmi ceux-là, 57% affirment que le résultat est « le même partout ». 71% affirment que des enfants différents qui font la même chose ne peuvent pas trouver des résultats différents ; parmi ceux-là, 31% formulent un énoncé du type : « si tu fais la même chose, tu trouves la même chose ». En revanche, ils ne sont que 25% à considérer utile de refaire une expérience « pour savoir » ou « être plus sûr ».

Appropriation du recul et de l'exploitation du spectre de généralité

Une majorité des élèves se révèle capable de naviguer entre une représentation symbolique du phénomène et le phénomène lui-même (77% pour les transvasements et 95% pour les sabliers). Ils sont 68% à formuler une loi pour justifier la prévision d'un comportement, mais sont mis très facilement en difficulté dès qu'il s'agit de distinguer le niveau de généralité de deux phrases différentes (e.g. pour comparer des quantités d'eau, il faut utiliser trois verres/récipients identiques).

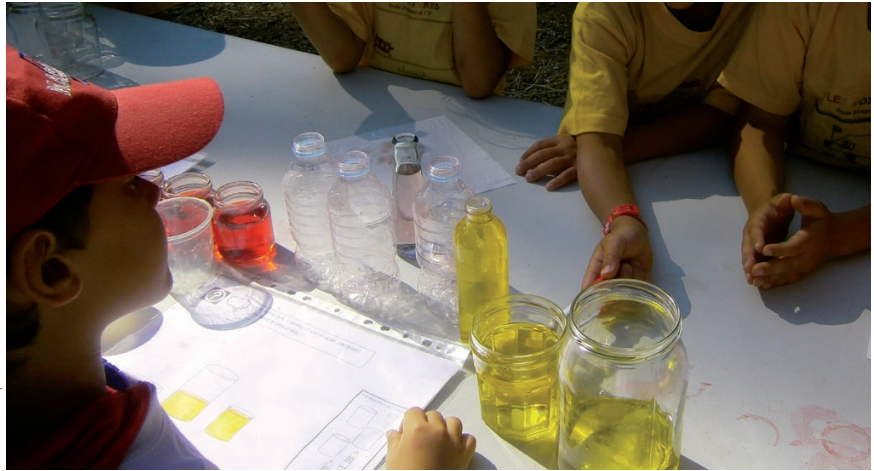
Il apparaît donc que des élèves de grande section de maternelle sont capables de mobiliser les éléments méthodologiques relatifs à la primauté de l'expérience, à la robustesse, à la reproductibilité, au recul ou à l'exploitation du spectre de généralité. Une étude à plus long terme a également permis de montrer que ces compétences peuvent même être durablement assimilées (sur plus d'une année). Un enseignant peut donc choisir des critères de scientificité associés à ces éléments méthodologiques en toute sérénité. Même si les enfants n'ont pas conscience de faire des sciences, il lui est alors possible, à lui, d'identifier dans sa pratique les activités qui en relèvent et de concevoir des activités en vue d'initier ses élèves à la méthodologie scientifique.

Un exemple : de la scientificité des crêpes

Pour prendre un exemple, un enseignant peut alors déterminer sans ambiguïté la scientificité de l'activité consistant à faire des crêpes. Ainsi, un enseignant qui travaille



► Témoignage d'une enseignante de maternelle (atelier sur les transvasements)



E1. Un élève de grande section (à gauche) anime un atelier sur les transvasements.

Pour évaluer lequel de deux récipients de formes différentes contient le plus de liquide, la première intuition de beaucoup d'élèves de maternelle est de simplement comparer les niveaux de liquide, indépendamment de la largeur des récipients (fig. E1). Un travail fructueux consiste alors à leur faire prendre conscience, d'une part, que le volume se conserve ; et d'autre part qu'il faut utiliser des récipients identiques pour évaluer un volume à partir du niveau de liquide.

Les petits ont souvent des difficultés à accepter des faits en contradiction avec leurs conceptions initiales ; une séquence expérimentale en démarche d'investigation [3] permet de les déstabiliser de façon très ludique, car les petits adorent jouer avec l'eau. La même séquence permet en outre de travailler en douceur sur la méthode scientifique. L'approche expérimentale offre la possibilité de mettre en action le critère de primauté de l'expérience. Vérifier la reproductibilité du phénomène et tester sa robustesse sont aussi des moyens de convaincre les élèves. Par ailleurs, l'enseignant peut les sensibiliser à la notion de va-et-vient entre expérience et modèle (notion de « recul »), en travaillant sur des représentations simplifiées des récipients et en navigant entre les schémas et les récipients réels.

C'est ce qu'a fait Pascale, enseignante en grande section de maternelle à Peymeinade (06530), qui témoigne ici de son expérience :

« La conservation des volumes n'a pas été une notion simple à acquérir. Au tout début, je devais avoir trois, quatre enfants qui l'avaient saisie. Puis, à force de refaire, le visuel a fini par les faire avancer et je crois maintenant que la plupart ont saisi cette notion : "Ce n'est pas parce que le niveau est plus haut qu'il y a plus d'eau, mais le niveau est fonction de la largeur du pot." »

Je me suis appuyée sur trois critères de scientificité :

- Primauté de l'expérience : je pense que le niveau de l'eau sera plus bas ou plus haut, et quand je le fais ce n'est pas ce qui se passe ; je finis par modifier mon discours au bout de plusieurs réalisations.

- Reproductibilité : je refais l'expérience et je trouve la même chose, tous les groupes trouvent la même chose.

- Robustesse : on a modifié des paramètres, eau, eau rouge, verte..., semoule, sucre, différents pots plus ou moins larges ou étroits.

Ce sont les plus simples et facilement compréhensibles, amusants pour les élèves de maternelle (se demander avec quoi on pourrait essayer pour voir si c'est pareil).

C'est vraiment là que je fais des sciences avec eux. Je ne suis plus dans des séances d'apport de connaissances, mais ce sont les enfants qui acquièrent, qui intègrent ces connaissances, et cela en utilisant une démarche qui laisse la place aux questionnements, aux suppositions, aux questions, aux vérifications. »

Avez-vous eu le sentiment que cette approche a permis de préparer vos élèves à une formation scientifique plus avancée et de leur donner une idée de ce qu'est la science ?

« Oui, même si je n'ai jamais employé le mot de critère et même si eux ne savent pas encore définir ce qu'est la science, ils ont compris qu'il fallait réessayer, changer un petit quelque chose et voir si on obtenait les mêmes résultats. »



en cours la reproductibilité et la primauté de l'expérience amènera ses élèves, en insistant *explicitement* sur ces contraintes, à s'assurer que toutes leurs affirmations contraires à l'expérience sont amendées pour en rendre compte, que le résultat obtenu est indépendant de qui a fait la pâte, pesé la farine, etc., et qu'on obtient bien le même résultat en refaisant de la pâte de la même façon. À ce prix, l'activité peut effectivement être considérée comme scientifique.

Ce n'est en revanche pas le cas si, par exemple, le jeu de CS qu'il a choisi d'implémenter inclut de surcroît le recul et si les élèves ont omis de représenter ce qu'ils ont fait (à la maternelle, on se satisfera de dessins simplifiés rendant compte de différentes étapes) et de naviguer entre cette représentation et le monde physique.

Un outil bien accueilli par les enseignants de maternelle

Il a par ailleurs été demandé à 88 enseignants de maternelle, au terme de formations continues intégrant les CS évoqués plus haut, s'ils les jugeaient utiles pour leur pratique, et en quoi. La quasi-totalité des enseignants interrogés (87 sur 88) considère que les éléments de scientificité présentés leur seront utiles (fig. 3).

Parmi eux, 69 sur 88 expliquent en quoi ces éléments de scientificité seront utiles.

Ce taux de retour de 78 % apparaît exceptionnellement élevé, ce type de sollicitation suscitant couramment moins d'enthousiasme alors que la formation est formellement achevée et que les enseignants sont libres de partir.

Les applications concernées sont :

- *la préparation, la mise en œuvre* : les éléments de scientificité enrichissent la gamme des questions que se pose l'enseignant dans sa préparation et lui évitent d'aller trop vite au résultat voulu avec les élèves. Les éléments de scientificité apparaissent comme autant de « pense-bête » ;
- *la régulation* : les enseignants considèrent que cet outil les aide à gérer et structurer ce qui se fait en classe voire, pour certains, à aller plus loin dans leur mise en œuvre ;
- *le cadre de référence* : plus de la moitié des enseignants y voient un outil pour cadrer leur pratique, un ensemble de points de repère ou un fil conducteur ;
- *l'évaluation* : les éléments de scientificité sont utilisés pour évaluer une séquence réalisée et la modifier au besoin ;
- *l'analyse de pratique* : plusieurs enseignants voient dans les éléments de scientificité un outil pour réfléchir sur leur pratique et prendre du recul.

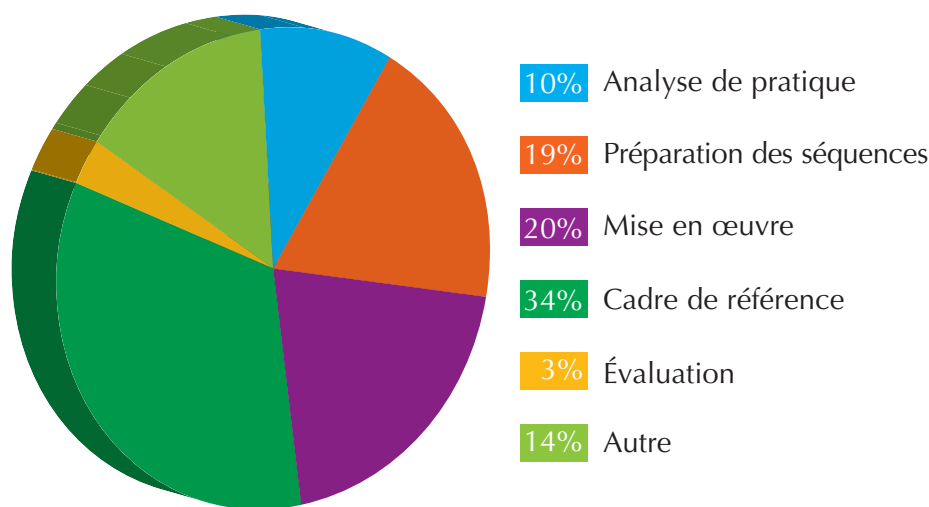
Les enseignants de maternelle envisagent donc des utilisations variées et, pour la plupart, pertinentes de l'outil proposé, globalement très bien reçu (cf. encadré sur les transvasements).

En guise de conclusion

L'approche *bottom-up* permet l'élaboration de définitions opératoires de la science scolaire dès l'école maternelle. Elle fournit par ailleurs un outil qui permet aux enseignants de se convaincre qu'ils peuvent faire des sciences avec leurs élèves, et un cadre rassurant pour identifier et concevoir des activités afin d'initier leurs jeunes élèves à la science. Dès l'école maternelle, ces activités peuvent être très élémentaires ou plus ambitieuses, préparant les élèves par exemple à la modélisation.

Complémentaire de l'approche classique *top-down*, mieux adaptée aux grandes classes, l'approche *bottom-up* de la science scolaire semble donc prometteuse. En France, les enseignants de maternelle sondés considèrent en particulier les critères de scientificité comme un outil utile. Des études complémentaires restent néanmoins nécessaires pour évaluer son appropriation et son utilisation effective par les enseignants à plus vaste échelle.

Plus généralement, cette étude confirme qu'il est possible de mener avec de très jeunes élèves des activités d'ordre scientifique, au sens large de ce terme, et l'expérience unanime des enseignants est qu'ils y prennent grand plaisir. ■



3. Poids relatif des différentes utilisations des critères de scientificité envisagés par les enseignants de maternelle (100% = 104 éléments de réponse ; une réponse peut impliquer plusieurs éléments).

Références

- 1• N. G. Lederman, "Nature of Science: Past, Present and Future", dans S.K. Abell et N.G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education*, Lawrence Erlbaum Associates (2007), pp. 831-880.
- 2• National Research Council, *National Science Education Standards*, Washington, DC, The National Academies Press (1996).
Les nouveaux standards (2013) sont disponibles sur le site : www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards.
- 3• E. Blanquet, *Sciences à l'école côté jardin, le guide pratique de l'enseignant*, Éditions du Somnium, Nice (2010).