

ANALYSE DE TROIS STRATÉGIES DE MISE EN ŒUVRE DU CONCEPT DE CAHIER DES CHARGES DANS UNE APPROCHE INTÉGRÉE DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES ET DE LA TECHNOLOGIE À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE

Bernard DARLEY

IUFM d'Aquitaine

Philippe PREVOST

PEMF, École Bourran, Mérignac

La présente étude, qui a été conduite dans le cadre d'une recherche IFE¹, s'est donnée comme objectif d'aborder un problème scientifique, celui de l'incubation d'œufs de poules (voir également James, 2012), de manière globale, associant, ou intégrant pour reprendre le terme maintenant consacré, l'ensemble des disciplines scientifiques nécessaires à sa résolution. Mais envisager une « démarche intégrée » pour aborder un problème convoquant l'ensemble des disciplines scientifiques, expérimentales et technologiques, implique un présupposé théorique : que les démarches de résolution de problème propres à chacune de ces disciplines aient une zone de recouvrement minimale. Dans le cas contraire, l'approche ne pourra être qu'une juxtaposition de procédures permettant de résoudre des problèmes spécifiques. L'un comme l'autre de ces choix épistémologiques doit être justifié et aura des conséquences en termes d'apprentissages. Après une présentation du contexte dans lequel cette étude a été conduite, nous présenterons pourquoi le concept de cahier des charges nous paraît être un concept fédérateur pour une approche intégrée de la résolution des problèmes en sciences et en technologie. Nous analyserons comment ce concept a été introduit dans trois classes très différentes fédérées par un projet identique. Nous terminerons enfin par une argumentation sur les choix théoriques qui sous-tendent ce travail.

¹ IFE, l'Institut Français de l'Éducation est une composante de l'École Normale Supérieure de Lyon et remplace l'INRP, Institut National de Recherche Pédagogique.

Une approche intégrée des sciences et de la technologie

L'enseignement intégré des sciences et de la technologie (EIST) s'inscrit dans la continuité du travail développé depuis plus de 30 ans par l'INRP² et conceptualisé par le programme de « *La Main à la Pâte* ». L'EIST cherche à développer une approche non cloisonnée des sciences et de la technologie en s'appuyant sur la démarche d'investigation (DI). En limitant le découpage disciplinaire et une trop grande identification des procédures de résolution de problème à chacune des disciplines mise en œuvre, l'EIST cherche à « *favoriser la cohérence entre elles et mettre en évidence leur nécessaire synergie* » (Perrot, Pietryck et Rojat, 2009, p. 19). C'est donc une approche qui s'intègre parfaitement dans la « Découverte du monde » où les thèmes abordés ne sont ni spécifiquement biologiques, physiques ou technologiques mais mobilisent, souvent très étroitement l'ensemble de ces disciplines auxquelles on peut ajouter les mathématiques. L'enseignant saura, certes, qu'il aborde avec ses élèves un problème qui relève plus spécifiquement de la biologie ou de la physique, mais est-il nécessaire d'en faire chaque fois une entité qui cloisonne et isole les disciplines entre elles ? Lorsque l'on va passer une radiographie, est-on confronté à un problème biologique (médical en l'occurrence), physique ou technologique ? La physique permet, via une application technologique répondant à un cahier des charges précis, une investigation médicale liée à un problème de biologie humaine. Et c'est bien cette approche globale que recherche l'EIST.

L'EIST s'inscrit dans la continuité du travail mené sur un enseignement des sciences centré sur la démarche d'investigation (DI). Les cinq principales étapes en sont rappelées par M. Coquidé :

- *Le choix de la situation de départ (par le professeur).*
- *La formulation du questionnement des élèves.*
- *L'élaboration des hypothèses et la conception de l'investigation pour valider/invalidier.*
- *L'investigation conduite par les élèves (expérimentation, recherche documentaire, etc.)*
- *L'acquisition et la structuration des connaissances (sous la conduite du professeur).* (Coquidé et al., 2009, p. 53)

Mais c'est une investigation qui favorise davantage les points de convergence entre les procédures de résolution que les spécificités propres à chacune des disciplines. Ces dernières étant traitées en bout de procédure comme des contraintes et non plus revendiquées comme fondatrices de la démarche. C'est donc une approche qui nécessite une rupture avec le découpage disciplinaire présent dans toutes les formations initiales des enseignants et confortée par le découpage opéré par tous les manuels scolaires.

Le cahier des charges comme objet d'étude

Le cahier des charges est intégré ici comme une composante de la démarche d'investigation (DI) qui sous-tend la démarche de projet initié avec les élèves. Le cahier des charges est l'expression des besoins nécessaires, essentiels, fonctionnels et techniques de la solution que le commanditaire souhaite avoir au problème posé, ici obtenir

² INRP, l'Institut National de Recherche Pédagogique.

la naissance de poussins dans la classe. Il permet d'analyser le problème à résoudre, de définir les objectifs que doit atteindre le produit et de diminuer les risques d'erreur lors de la réalisation. Il doit être un outil de dialogue entre les différents acteurs du projet, indiquer les contraintes à respecter impérativement et définir les rôles et responsabilités de chaque acteur du projet. Associé à un projet comme l'incubation d'œufs, le cahier des charges allait donc devoir prendre en compte des contraintes liées à la biologie (les conditions d'incubation), à la physique (étudier un certain nombre de variables comme la température et l'hygrométrie, mais aussi les circuits électriques) et à la technologie puisque l'objet final doit être fonctionnel. L'analyse et la mise en œuvre d'un cahier des charges nous étaient donc apparues comme un moyen de fédérer les trois disciplines scientifiques (biologie, physique et technologie auxquelles on pourrait également associer les mathématiques, mais aussi le français via les interactions langagières et les textes produits) dans une même problématique.

Le cahier des charges se décline en trois types de fonctions :

- **La fonction principale ou fonction d'usage** : la fonction principale de l'objet doit répondre à la question : *À quoi devra servir l'objet ?*

Dans le cas présent, la fonction d'usage sera de permettre l'éclosion d'œufs fécondés et d'obtenir des poussins vivants.

- **Les fonctions contraintes** :

- *Contraintes humaines* : les objets doivent être adaptés à la taille des élèves. Ici, les couveuses devaient donc avoir une taille raisonnable, compatible avec leur manipulation par des enfants.
- *Contraintes d'ordre technique, liées aux outils dont on dispose.*

Les matériaux utilisés (polystyrène, ampoule, câblage électrique...), ainsi que l'essentiel des étapes de la construction (étapes à moduler en fonction de l'âge des enfants) doivent être compatibles avec un outillage courant.

- *Les conditions physiques d'utilisation (comme la maîtrise technique des composants et des outils nécessaires).*

Leurs composants techniques (source de chaleur, thermostat, thermomètre de contrôle...) devaient être compréhensibles dans leur principe et manipulables par les enfants.

- *Les contraintes de temps.*

Toutes les étapes doivent s'inscrire dans le temps scolaire.

- **Les fonctions techniques** : une fois le cahier des charges établi, il faut déterminer les fonctions techniques (maintenir constantes température et hygrométrie, assurer l'aération...), chercher des solutions et choisir parmi ces solutions techniques celles qui permettront de réaliser l'objet (Bédart, 2000, p. 20-21).

Un cahier des charges est donc un document contractuel décrivant ce qui est attendu du *maître d'œuvre* (celui qui définit la commande) par le *maître d'ouvrage* (celui qui réalise). Dans la classe, au moins dans les situations étudiées, il n'y a pas de distinction entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre puisque ce sont les élèves qui vont jouer les deux rôles. Le rôle du maître d'ouvrage sera tenu collectivement. Le cahier des charges défini par l'ensemble de la classe sera le même pour tous les groupes qui joueront ensuite le rôle de maître d'œuvre.

Ce concept de cahier des charges constitue, selon nous, un objectif d'apprentissage essentiel puisqu'il permet de répondre à un problème technique par une analyse aussi rigoureuse que possible des problèmes scientifiques qui sont en amont (comment la poule régule-t-elle la température ? l'hygrométrie ? ...) débouchant sur des propositions de solutions techniques qui devront être mises en œuvre pour être testées. C'est donc un outil qui permet aux élèves de se projeter dans l'avenir par des actes imaginés avec un maximum de précision. Et rendre ainsi cet avenir accessible à la pensée.

Dans l'analyse qui va suivre, notre regard se portera sur le professeur plus que sur les élèves. Davantage que la conformité à un canon de la DI (si tant est que l'on puisse le définir), ce sont les stratégies mises en œuvre par ces trois enseignants qui ont été observées. Ces derniers ayant des origines préprofessionnelles et des expériences professionnelles différentes, il nous a paru intéressant de comparer la manière dont ils introduisaient (comment ? à quel moment ?) ce concept de cahier des charges en fonction de la diversité de leurs classes.

Analyse des stratégies mises en œuvre par les trois enseignants

Contexte général de l'étude

L'objectif de ce travail était de suivre trois classes à qui nous avons proposé de conduire un projet d'incubation d'œufs de poule : une classe de CE1/CE2, une classe de CE2 et une classe de CM2. **CG**, la maîtresse du CE1/CE2 était une jeune enseignante de formation en sciences humaine.

CJ, la maîtresse du CE2 était une enseignante plus ancienne, avec une formation initiale en biologie. **PP**, le maître du CM2 était également un enseignant confirmé, géographe de formation et qui avait déjà conduit par deux fois ce projet dans sa classe. Les contextes sociaux des classes étaient également très divers : très homogène pour le CE2, beaucoup plus hétérogène pour le CM2, très hétérogène pour le CE1/CE2.

Cet article vient compléter l'analyse de la pesée des œufs au cours de l'incubation proposée par F. James (James, 2012), analyse qui s'inscrit dans le même projet.

Méthodologie

Le cadre de travail négocié avec les trois enseignants est le suivant : chaque enseignant est libre d'organiser le déroulement de son projet comme il l'entend sans ingérence dans les choix didactiques de la part des chercheurs dans la mesure où il respecte le cadre général qui leur a été soumis : nécessité d'une participation active des élèves dans l'élaboration de l'investigation et mise en œuvre du cahier des charges. L'équipe de chercheurs n'apporte qu'un soutien logistique sous forme de matériaux nécessaires à la réalisation du matériel construit en classe (couveuse, mire-œuf³) et/ou de réponses à d'éventuelles questions scientifiques.

Dans la mesure où cela a été possible, toutes les séances ont été enregistrées sous forme vidéo et retranscrites afin de pouvoir affiner les analyses. Seule une partie, correspondant principalement aux premières séances, a été exploitée dans le cadre de ce travail.

³ Le mire œuf est un dispositif composé d'un tube et d'une source lumineuse qui permet de suivre, par transparence, l'évolution de l'embryon dans l'œuf.

Résultats

L'introduction du problème et du concept de cahier des charges dans la classe

Cette analyse porte sur les premières séances ayant conduit à l'introduction du cahier des charges.

CG, classe de CE1/CE2 très hétérogène

Séance 1	En référence à des élevages antérieurs, introduction de la question d'un autre type d'élevage.
	Centration négociée sur l'idée d'un poulailler dans l'école.
	Pose la problématique : comment obtenir des poussins ?
Séance 2	Recherche documentaire sur le rôle de la poule lors de la couvaison.
	Définition collective des fonctions de la couveuse par analogie avec le rôle de la poule.
Séance 3	Rappel des nécessités et glissement progressif vers les fonctions d'usage.
	Introduction du terme « cahier des charges » et de sa définition ⁴ .
	Élaboration du cahier des charges par travail de groupe.
	Bilan collectif, mise en conformité des propositions avec les fonctions d'usage identifiées.

CG s'appuie sur une expérience préalable d'élevage pour induire l'idée d'un nouveau support de travail. Elle pose rapidement la problématique : comment obtenir des poussins sans la présence d'une poule ? Elle propose à ses élèves une lecture documentaire sur l'incubation des œufs par une poule. CG va très rapidement (dès la 2^{ème} séance) amener les élèves à identifier les conditions naturelles nécessaires à l'incubation. Les conditions à remplir pour que ce processus puisse se dérouler sont ensuite instrumentalisées pour servir à l'élaboration du cahier des charges. Trois séances seront consacrées à la production du cahier des charges et à l'élaboration de solutions techniques correspondantes.

Le terme de cahier des charges est rapidement explicité et régulièrement utilisé par la maîtresse et les élèves. Dès la séance 2, CG donne une définition de l'objet cahier des charges, et précise ses fonctions :

CG : (...) alors à partir de tout ce que l'on a fait hier, on va construire un cahier des charges. Je vais vous expliquer ce que c'est. Le cahier des charges là c'est un petit texte qui sert à expliquer à quoi sert un objet. L'objet que l'on va construire, il va servir à quoi ? L'objet que l'on va construire, il s'appelle une couveuse.

Élève : On va en fabriquer une, avec du carton.

CG : Oui, c'est ce que l'on avait décidé, on avait décidé de construire cet objet-là. Le texte que l'on va faire aujourd'hui il nous dit à quoi sert l'objet et il nous dit aussi

⁴ Le cahier des charges est défini comme ce qui va permettre de répondre à la double question : *À quoi sert la couveuse et que doit-elle faire ?* La maîtresse cherche à amener les élèves à distinguer la fonction (à qui sert la couveuse) de la manière dont cette fonction va s'exprimer (ce qu'elle doit faire, c'est-à-dire les fonctions d'usage) avant de conduire les élèves à s'interroger sur le comment, les fonctions techniques qui permettront d'obtenir les effets attendus.

de quoi il est chargé. Par exemple aujourd'hui, M. est chargé de distribuer le courrier. Et la couveuse il va falloir dire ce qu'elle doit faire. Ce qu'elle doit faire, de quoi elle est chargée. Ce qu'il faut qu'elle fasse, cette couveuse, pour que les œufs arrivent à se développer. (...)

CG occupe une place prépondérante dans la recherche de ces solutions techniques, car un seul modèle de couveuse a été envisagé et il est prévu qu'il soit livré pré-assemblé.

CJ, classe de CE2 homogène

Séance 1	En référence à des élevages antérieurs introduction de l'idée d'un élevage de poussins.
	Contextualisation avec la lecture de l'album « <i>Le jour où mon frère viendra</i> » (Heinrich & Jolibois, 2002).
	Premières identifications des conditions nécessaires au développement et à l'éclosion.
	Questionnement sur la structure de l'œuf.
Séance 2	Dissection et observation d'œufs crus et cuits.
	Évocation de l'incubation et analyse de documents.
Séance 3	Liste collective des conditions nécessaires à l'incubation.
	Transposition de la poule à la couveuse ; identification des fonctions d'usages.
	Introduction de l'objet « couveuse » sous forme d'une boîte en polystyrène. Objectif : la rendre opérationnelle. Recueil d'une liste de solutions techniques.

CJ s'appuie aussi sur une expérience préalable d'élevage en classe pour introduire l'idée d'un élevage de poussin. Elle contextualise son projet à travers la lecture d'un album de littérature jeunesse « *Le jour où mon frère viendra* » qui raconte la couvaie et la naissance d'un poussin.

Dès la première séance, les premières conditions nécessaires au bon développement et à l'éclosion sont définies. Le champ d'investigation est élargi par la mise en place d'investigations scientifiques (dissection, observation d'œufs crus et cuits)

Le terme de cahier des charges n'est pas prononcé, la notion reste non formalisée. Pour autant, elle est bien présente dans les modalités de mise en œuvre. Les fonctions d'usages sont clairement identifiées et doivent être formalisées par écrit :

CJ (décrivant les fonctions du texte à rédiger) : *De quoi est fait l'objet et de quoi est-il chargé ? Que doit-il faire ?*

Élève : *C'est un cahier de poussin.*

C : *Un texte qui dit à quoi sert l'objet et ce qu'il doit faire.*

Sans avoir clairement défini le concept de cahier des charges, la « liste des conditions nécessaires » guidera les élèves tout au long du projet. Au cours de la séance 3, CJ introduit une ébauche de couveuse sous la forme d'une boîte en polystyrène qui devra intégrer toutes les solutions techniques qui seront proposées.

PP, classe de CM2 hétérogène

Séance 1	La reproduction animale est introduite en continuité du travail fait sur la reproduction végétale et par comparaison terme à terme.
	Formalisation de la reproduction ovipare.
Séance 2	Analyse de vidéos sur les conditions d'incubation chez les ovipares.
	Institutionnalisation des connaissances.
Séance 3	Liste des étapes d'une incubation chez la poule à partir de l'analyse d'une vidéo et d'un texte documentaire.
	Bilan collectif.
Séance 4	Fait remplir un tableau associant : les étapes de l'incubation naturelle / la fonction de ces étapes / ce que fait la poule.
	Synthèse collective, identification des finalités de chacune des étapes et des modalités de leur mise en œuvre.
	Introduction de la notion de cahier des charges.
Séance 5	Transposition des étapes de l'incubation en fonction d'usage (difficile, les élèves sont dans la recherche de solutions techniques).
	Première réflexion sur une recherche de solutions techniques.

PP impose une entrée dans le projet par les connaissances préalables qu'il juge nécessaire de maîtriser pour mener le projet à terme. La reproduction animale est introduite en continuité d'un travail sur la reproduction sexuée des végétaux et les apprentissages sur la reproduction ovipare sont formalisés.

À partir de vidéos et de textes documentaires, les différentes étapes de l'incubation naturelle sont définies, ainsi que leurs fonctions. L'identification des finalités de chacune des fonctions, et les modalités de leur mise en œuvre conduisent progressivement à la notion de cahier des charges.

Contrairement à CJ et CG qui circonscrivent les solutions techniques envisageables afin d'aboutir assez vite à la construction d'un objet répondant au cahier des charges, PP essaie de réduire les fonctions contraintes, en particulier celles relatives aux conditions physiques, afin de laisser aux élèves un champ d'exploration aussi large que possible. Cette volonté, qui conduira ensuite à l'échec de certaines productions à différents stades de leur réalisation, fait partie de la stratégie d'apprentissage instaurée par PP. L'expérience personnelle de PP qui a déjà conduit ce type de projet à plusieurs reprises, la différence des niveaux des classes et la plus ou moins grande autonomie des élèves expliquent la cohérence des choix effectués par chacun des enseignants.

Comparaison des stratégies

CG et CJ ont pour point commun de s'appuyer toutes deux sur une expérience préalable d'élevage pour induire l'idée d'un nouveau support de travail. L'introduction du projet est également assez similaire, CG proposant rapidement à ses élèves une lecture documentaire sur l'incubation des œufs par une poule alors que CJ utilise un support (l'album jeunesse) peut-être moins scientifique mais comparable dans sa fonction. Toutes deux vont très rapidement (1^{ère} séance pour CJ, 2^{nde} pour CG) amener les élèves à identifier les conditions naturelles nécessaires à l'incubation. Mais la convergence des démarches s'arrête là.

Chez CG, l'investigation va être essentiellement centrée sur une démarche technologique, portant sur l'écriture et la mise en œuvre du cahier des charges. Ce choix a retenu notre attention car il n'est pas commun avec des élèves de cet âge et justifie l'analyse plus détaillée que nous lui consacrons.

Le déroulement de l'incubation, même si celle-ci est étudiée en soi, est le moyen de tester la pertinence des solutions techniques retenues et la qualité des gestes techniques nécessaires (manipulation des œufs). L'introduction de la possibilité de concevoir une couveuse, l'élaboration du cahier des charges et les premières propositions de solutions techniques se font au cours de la 3^{ème} séance. Dès la 4^{ème} séance, CG fait travailler ses élèves sur un plan de couveuse respectant les fonctions d'usage définies dans le cahier des charges. L'ensemble des solutions techniques retenues sera le produit d'un compromis entre les propositions des élèves et le champ des possibles. Ce compromis sera largement induit par la maîtresse. La couveuse, qui sera livrée en kit et en partie montée par les élèves eux-mêmes, sera conforme au cahier des charges élaboré par la classe. L'objectif de la maîtresse est très clair : amener les élèves à concevoir (en partie) et réaliser un objet technique conforme au cahier des charges. Pour les élèves, l'objectif est plutôt la réussite de l'incubation, la couveuse restant un moyen. Cette centration sur le cahier des charges va se manifester à nouveau par son réinvestissement lorsque le problème du suivi de l'incubation va se poser et que l'artéfact « mire-œuf » sera introduit.

Le cahier des charges de la couveuse s'élabore à partir des recherches effectuées par les élèves sur les conditions de couvaion de la poule. Replacées dans le cadre de ce projet de construction de couveuse, les conditions de couvaion, initialement éléments de connaissance sur le processus biologique, deviennent des nécessités, les fonctions d'usage de la poule, qu'il faudra d'abord inventorier avant de prendre la mesure des contraintes qui leurs sont associées afin de pouvoir les résoudre techniquement. La première étape est donc une recherche sur le processus biologique justifiée par le projet d'avoir des poussins dans la classe (séance 2) et qui permettra de définir les fonctions d'usage de la couveuse. Les conditions à remplir pour que ce processus puisse se dérouler sont ensuite instrumentalisées pour servir l'élaboration du cahier des charges (séance 3).

La première difficulté est d'amener les élèves à distinguer les nécessités de leur mise en acte :

CG : Non, non, non vous ne répondez pas bien à la question, pour trouver le besoin des œufs, pour trouver de quoi ont besoin les œufs, qu'est-ce qu'il fallait regarder ?(...) il fallait regarder ce que faisait la poule dans la nature (...)

Élève : La poule et le coq s'accouplent,

CG : Donc on avait besoin d'œufs qui devaient être ?... fécondés.

Les nécessités sont progressivement identifiées au travers des propositions des élèves : les œufs doivent être fécondés, ils doivent être protégés (dans un nid), ils doivent avoir chaud, il doit y avoir de l'humidité.... C'est une phase intéressante car elle permet d'amener les élèves à distinguer les nécessités, ou fonctions d'usage, de la poule (en les nommant et en prenant ainsi conscience de leur identité) des conditions dans lesquelles elles sont mises en œuvre par cette dernière : la poule et le coq s'accouplent / fécondation ; la poule fait un nid avec des plumes et de la paille / protection des œufs ; la poule transpire, ça fait de l'eau / les œufs ont besoin d'humidité ; la poule se lève pour aller manger, ça leur fait de l'air / les œufs ont besoin d'air pour respirer etc.

Cette étape est nécessaire pour que les élèves puissent ensuite trouver des solutions techniques alternatives à celles mises en œuvre par la poule. Il y a donc une étape de dépersonnalisation qui consiste à « oublier » l'animal étudié pour n'en retenir que les conditions nécessaires au déroulement d'un processus physiologique. Cette étape n'aurait probablement pas été conduite avec autant de rigueur si l'objectif avait été de simplement définir les étapes de la couvaison chez la poule. Ici, la contrainte de devoir transposer les conditions physiologiques en substitut technologique impose cette prise de recul. Prise de recul qui n'est pas évidente, certains élèves transférant de manière intégrale les fonctions assurées par la poule à celle que la couveuse devra prendre en charge :

Élève : *Quand les poussins ils auront grandi la maman devra leur apprendre à voler.*

CG : *La couveuse elle sert juste à faire naître les poussins pas à s'en occuper après.*

L'étape suivante est d'amener les élèves à définir la fonction de la couveuse et comment elle peut la remplir : *À quoi sert la couveuse et que doit-elle faire ?* Là encore, la maîtresse cherche à amener les élèves à distinguer la fonction (à quoi sert la couveuse) de la manière dont cette fonction va s'exprimer (ce qu'elle doit pouvoir faire, c'est-à-dire les fonctions d'usage) avant d'amener les élèves à s'interroger sur le comment, sur les solutions techniques qui permettront d'obtenir les effets attendus.

Quelles sont les étapes qui conduisent à la naissance de poussins ? → identifier les « fonctions d'usages » de la poule → définir la fonction de la couveuse → lister les fonctions d'usage de la couveuse → imaginer les solutions techniques à mettre en œuvre.

La recherche des solutions techniques va être conduite de manière assez autoritaire dans la mesure où un seul modèle de couveuse a été envisagé et qu'il est prévu qu'il soit livré prémonté. Il n'y a donc pas beaucoup de place pour des alternatives. En ce sens, l'un des intérêts de la réflexion autour du cahier des charges qui est de conduire les élèves à envisager plusieurs solutions possibles est évacué. La justification d'un tel abandon est plurielle : c'est une première mise en œuvre et il y a un manque d'anticipation sur ce que sont capables de gérer des élèves de CE1/CE2 ; l'organisation matérielle lourde qu'un tel choix aurait entraînée : collecter le matériel nécessaire, disposer d'un espace suffisant pour mettre en parallèle 2 à 3 couveuses, gestion des contraintes liées à chaque type de couveuse ; etc. (ce que PP fera par contre avec beaucoup de maîtrise mais avec des élèves plus grands, une classe particulièrement spacieuse et l'expérience des projets passés). S'il y a bien abandon d'une potentialité du cahier des charges, elle est consciente et justifiée.

Si CJ introduit très tôt elle aussi (dès la 3^{ème} séance) le principe du cahier des charges, elle fait le choix de ne pas définir explicitement ce concept. Le terme de « cahier des charges » ne sera jamais employé ; il sera remplacé par la locution « liste des conditions nécessaires » jugée plus explicite pour les élèves. En ne le définissant pas de manière définitive, CJ se donne la liberté de construire ce concept par étapes successives. À l'inverse de CG qui pose un cadre de travail très contraint mais toujours d'une grande lisibilité pour les élèves, CJ va développer une investigation plus large associant démarche technologique et investigation scientifique. Si le fil directeur reste la réussite de l'incubation, les élèves ont le loisir d'explorer d'autres problématiques liées au fonctionnement du vivant ou aux caractéristiques de la matière : variation de la masse des œufs, porosité de la coquille, matérialité des gaz, conditions de développement de l'embryon...

Pour limiter cependant le champ des possibles, CJ introduit dès la 3^{ème} séance une ébauche de couveuse sous forme d'une boîte en polystyrène. Cette boîte sert de support visuel sur lequel les propositions de solutions techniques vont devoir s'intégrer. CJ introduit donc, dès le début de la réflexion, une contrainte supplémentaire avec laquelle les élèves vont devoir composer. Apporter l'objet déjà préformaté permet à CJ de ne pas avoir à gérer le choix de la forme et du matériau composant la couveuse. En faisant ce choix, elle se prive de la possibilité d'organiser un travail concernant les propriétés des matériaux isolants ainsi que d'une réflexion à propos de l'ergonomie de la couveuse. Mais cela va aussi lui permettre de se concentrer sur un nombre plus restreint de problèmes techniques (Comment apporter de la chaleur ? De l'humidité ? Comment réguler la température ?) dans lesquels les élèves ont pu s'investir.

PP impose une entrée par les connaissances préalables qu'il juge nécessaire de maîtriser pour pouvoir conduire le projet de manière cohérente. Ce n'est qu'une fois ces connaissances posées qu'il va entrer dans une phase assez longue (5 séances) de co-construction du problème et d'élaboration des premières propositions de solutions.

La notion de cahier des charges est introduite en fin de 4^{ème} séance et vraiment abordée au cours de la 5^{ème}. Ce cahier des charges jouera le rôle de fil rouge tout au long des 22 séances du projet. Si les élèves ont une grande liberté d'action et de proposition - quatre projets de couveuses seront soumis à investigation, trois seront mis en œuvre et deux seront menés à leur terme - ces investigations sont sans cesse replacées dans le strict cadre défini par le cahier des charges. Ce principe posé par PP conduira les élèves à confronter les connaissances construites lors des trois premières séances aux exigences de l'incubation et aux contraintes techniques conséquentes au cahier des charges. L'investigation portera, de manière croisée et en réajustement permanent, aussi bien sur des questions technologiques (choix des matériaux, élaboration de techniques de mise en œuvre, maîtrise du fonctionnement des objets) que sur des questions scientifiques (métabolisme de l'embryon, échanges gazeux entre l'œuf et le milieu extérieur, étapes du développement, notion d'oviparité ...). Mais toujours le fil directeur du cahier des charges viendra recentrer le travail des élèves sur la problématique initiale.

Deux couveuses ont fonctionné avec des solutions techniques différentes, permettant l'éclosion de plusieurs poussins.

Dès le début, les élèves savaient qu'ils auraient à communiquer le compte rendu de leur démarche. Cet enjeu de communication a été un élément structurant, obligeant les élèves à expliciter chaque étape de leur démarche. Un diaporama a été réalisé et présenté à une assemblée de pairs dans le cadre d'un colloque.

Un travail construit

Les trois projets ont bien sûr un point commun : établir les conditions nécessaires à une incubation d'œufs de poules, et reproduire artificiellement ces conditions.

CJ, CG et PP, bien qu'ayant une formation de base et une expérience très différentes, ont tous les trois assis le déroulement de leur projet sur l'élaboration d'un cahier des charges. Les choix qu'ils ont réalisés sont d'une grande cohérence.

CG, peu expérimentée, non scientifique, avec des élèves de CE1/CE2 dont une partie sont de mauvais lecteurs/scripteurs, va rester très proche du déroulé du cahier des charges. Elle va ramener régulièrement ses élèves vers ce fil d'Ariane qui la sécurise par rapport

aux objectifs qu'elle s'est fixés. Le cadre de travail, s'il est contraint pour les élèves, à le mérite d'être toujours très lisible pour eux. Le principe du cahier des charges, posé par l'enseignant, a d'abord été un objet d'exploration dans l'étape « Construction de la couveuse ». Il a ensuite été réinvesti, de manière plus autonome cette fois, lors de la construction du « mire-œuf ». La lisibilité des étapes définies lors de la première investigation a ainsi permis aux élèves de proposer des solutions et d'agir avec plus d'assurance.

CJ, plus expérimentée, s'autorise (et autorise ses élèves !) à ce qui pourrait sembler des digressions (travail spécifique d'un schéma électrique, exploration de la porosité de la coquille, ..) mais qui sont des activités décrochées. Ces activités non seulement restent très proches du cahier des charges, mais sont nécessaires à son bon déroulement : Comment réaliser une régulation de température ou insérer un ventilateur dans un circuit électrique si on ne maîtrise pas la notion de circuit ouvert/fermé ? Comment comprendre la nécessité d'une hygrométrie optimale sans aborder la question de la porosité de la coquille ?

L'ébauche de couveuse que CJ va fournir à ses élèves est un moyen pour elle de restreindre le champ des possibles et de favoriser une investigation scientifique sur des problématiques choisies. Il est probable qu'elle aurait fait d'autres choix dans d'autres circonstances : niveau de classe différent, projet déjà mené antérieurement, etc.

PP est le seul à avoir déjà mené ce projet auparavant. L'expérience accumulée lui a permis d'anticiper plus finement les obstacles auxquels les élèves et lui-même seraient confrontés. Le projet est construit en tenant compte de cette expérience. Des stratégies permettant aux élèves de surmonter ces obstacles ont ainsi pu être anticipées.

Par exemple, la masse de l'œuf est pensée par les élèves comme constante (milieu fermé), ou bien croissante (l'embryon grossit, donc la masse augmente) pendant l'incubation. Certains élèves pensent même que la taille de l'œuf peut varier. Des mesures systématiques de masse, de diamètre et de longueur sont mises en œuvre tout au long du projet. Même si PP ne pense pas à mettre un œuf référent (témoin expérimental), ces mesures vont permettre de déconstruire des représentations erronées puisque le résultat de ces mesures sera comparé au référent « théorique » que constitue la prédiction des élèves.

En physique, la régulation de température pose des problèmes complexes et la nécessité d'isoler thermiquement n'apparaît qu'après des mesures précises de la durée de persistance de la température dans l'enceinte de la couveuse. Les élèves perçoivent les objets techniques à travers leurs usages sans anticiper la difficulté de la mise en œuvre, leur fonctionnement ayant pour eux un côté plus ou moins « magique ». Ils ont ainsi proposé, lors de la phase de conception, un système de volets s'ouvrant et se fermant automatiquement pour ventiler la couveuse et homogénéiser la température. PP leur a proposé de mettre en œuvre leur système, les laissant ainsi se heurter à un obstacle insurmontable pour eux.

Toutes ces activités associées sont nécessaires au bon déroulement du cahier des charges et font la richesse de ce type de projet. Mais la gestion en parallèle des différents groupes engagés dans une recherche d'opérationnalisation d'une solution technique différente requiert une expérience préalable que seul PP possédait au moment de l'étude.

Conclusion sur les projets étudiés

Dans chacun des trois projets étudiés, le cahier des charges apparaît comme l'élément

structurant du projet. La mise en œuvre par les enseignants et les élèves de protocoles d'investigation scientifiques et d'expérimentations pour vérifier des hypothèses montre que la conception et l'usage du cahier des charges, en termes de démarche intellectuelle, représente une procédure de résolution de problème tout à fait comparable. Le cadre de travail du cahier des charges se décline sous forme d'activités accrochées (plutôt que décrochées) : identification de la fonction d'usage, des fonctions techniques, recherche de solutions techniques, de protocoles, de démarche de résolution de problèmes techniques ou conceptuels. Toutes ces activités associées à celles mises en œuvre dans le cadre des résolutions de problèmes scientifiques (formulation du problème, émission d'hypothèses et expérimentations) participent à la cohérence du projet en procédant d'une démarche intellectuelle comparable : identifier les paramètres du problème et anticiper des solutions avant de procéder à leur test expérimental.

Les contextes de classe, les histoires de chacun des enseignants sont bien sûr très différents. L'absence, volontaire de notre part, de cadrage des démarches, la richesse cognitive et méthodologique du projet sont autant de facteurs qui ne pouvaient conduire qu'à une diversité de mises en œuvre. L'intérêt était de voir comment chacun s'est approprié et a conduit le projet, comment chacun a utilisé certains ressorts didactiques (s'appuyer sur les conceptions, faire imaginer, chercher, observer et intégrer des contraintes ...) pour mener à bien l'élaboration d'un cahier des charges conduisant à la construction et l'utilisation d'artéfacts. Loin d'une mise en œuvre stéréotypée, nous avons pu observer un ensemble de choix raisonnés conduisant à l'élaboration de stratégies originales, très contextualisées, mais restant cohérentes avec les principes de la DI.

Les trois enseignants, bien qu'ayant une formation et une expérience très différentes, ont réalisé des choix d'une grande cohérence. Ces choix se sont construits sur leur vécu d'enseignant, sur les contenus de leur formation de base. Nous avons pu observer que le niveau d'expérience de chacun a conduit à des approches très différentes des projets. CG, la moins expérimentée et la moins scientifique mais aussi celle dont les élèves étaient les moins autonomes, utilise le cahier des charges comme un élément à la fois structurant et sécurisant. CJ et PP, plus expérimentés et s'adressant à des élèves plus âgés, plus autonomes, s'autorisent davantage à les laisser mener à bien leurs idées, leurs expérimentations, tout en sachant que celles-ci n'aboutiront pas toutes à une solution pérenne. Le niveau de conduite du projet, les choix qui sont faits, apparaissent donc en corrélation avec le niveau d'expertise des enseignants, plus qu'avec leur formation initiale.

Le potentiel et la richesse du thème choisi pourraient apparaître à nombre d'enseignants comme présentant des « risques » pédagogiques et didactiques ou, pour le moins, des difficultés à gérer cette richesse. Mais les trois « cobayes » ont montré que ce projet pouvait s'adapter à chaque niveau de classe et à différents niveaux d'expertise des enseignants.

Les valeurs socialisables de ces projets ajoutent à leur potentiel. Les parents sont très vite impliqués par les élèves dans la quête d'informations, de matériel de récupération, de conseils. Les autres classes de l'école montrent aussi des signes d'intérêt qui mettent en valeur le travail fourni. Des échanges avec des spécialistes, des fermes pédagogiques enrichissent encore le projet.

Enfin, le temps de bilan est partie intégrante du projet. La présentation du travail réalisé⁵

⁵ Journal de classe pour CG et CJ, diaporama de présentation lors d'un colloque inter-classes pour PP.

à ses pairs, ou à un cercle plus large en est un élément important et permet la valorisation des efforts accomplis en vue de la réalisation du projet. Ce bilan est un outil de production de savoirs empiriques. Il crée une distanciation propre à formaliser des connaissances. Il permet d'objectiver les contenus du projet en écartant les parasites émotionnels générés par l'action.

Le cahier des charges représente donc bien, à nos yeux, un outil méthodologique transposable à l'ensemble des sciences expérimentales du fait qu'il oblige à une analyse approfondie du problème, tout en permettant une anticipation raisonnée des solutions possibles. La formalisation textuelle qu'il implique joue également un rôle important de texte de référence auquel les élèves peuvent se reporter tout au long du processus de résolution du problème.

Le cahier des charges, un cadre méthodologique commun à la technologie et aux sciences expérimentales

Un cadre méthodologique riche en potentialité

Le cadre méthodologique proposé par la mise en œuvre du « cahier des charges » en technologie nous a semblé un cadre fédérateur pour accompagner cette rupture d'une approche par problématiques disciplinaires. Comme nous l'avons rappelé plus haut, c'est la mise en œuvre d'une démarche d'investigation qui fédère l'ensemble des disciplines scientifiques et qui sera, à terme, génératrice de savoirs nouveaux.

Il peut paraître paradoxal de faire appel à un concept disciplinaire, technologique en l'occurrence, pour promouvoir une approche qui cherche à s'éloigner d'une trop grande concentration sur les disciplines. Le cahier des charges, utilisé en technologie, nous paraît pourtant, de ce point de vue, l'outil méthodologique existant le plus approprié pour aborder une approche commune des procédures de résolution de problème. En se centrant très précocement sur l'anticipation, sur la nécessité d'élaborer une image aussi précise que possible de l'objet à construire, que ce dernier soit concret (artéfact) ou intellectuel (savoir), le cahier des charges met particulièrement l'accent sur ce qui est à l'origine même du processus de création intellectuelle.

G. Prudhomme résume ainsi les différentes étapes du processus de conception :

- *définir le but à atteindre, le service à rendre par le système à concevoir ;*
 - *rechercher ce que le système doit faire pour répondre à ces attentes, tout ce qui va le contraindre tout au long de son existence, pour le consigner dans le cahier des charges ;*
 - *prévoir son usage normal, mais également les détournements d'usage qui pourraient rendre le système dangereux ou inadapté ;*
 - *rechercher tous les principes et solutions techniques possibles répondants à ces exigences ;*
 - *représenté, dimensionné, là où les solutions envisagées comme préférables et les différentes pièces ou composants constitutants ;*
 - *éventuellement réaliser un prototype ;*
 - *définir les moyens et l'organisation de la production.*
- (G. Prudhomme, 1999, p. 3)

Il est bien entendu que l'ensemble de ces étapes n'est pas transposable aux sciences expérimentales. Mais les trois points suivants pourraient, de notre point de vue, s'appliquer avec efficacité à une procédure de résolution de problème, quelle que soit la discipline :

- *définir le but à atteindre, le service à rendre par le système à concevoir ;*
- *rechercher ce que le système doit faire pour répondre à ces attentes, tout ce qui va le contraindre tout au long de son existence, pour le consigner dans le cahier des charges ;*
- *rechercher tous les principes et solutions techniques possibles répondants à ces exigences.*

Les deux premiers points permettent, en entraînant les élèves à se projeter dans ce qui relève d'une anticipation de solutions, à analyser avec précision le problème qu'ils ont à résoudre. Le cahier des charges, qui est l'expression de l'ensemble des besoins nécessaires pour que la solution réponde aux attentes exprimées dans l'énoncé du problème, synthétise l'analyse qui aura été faite de ce dernier. C'est ce document qui servira de référence aux élèves tout au long de la procédure de résolution du problème.

Le troisième point, même si les termes ne peuvent être identiques en physique, biologie et technologie, invite à imaginer et explorer intellectuellement plusieurs solutions possibles avant que l'observation issue de l'expérimentation ne vienne apporter son verdict. C'est donc un travail de construction rationnelle étayée par une mobilisation cognitive, et où tout est permis à condition que le produit imaginé réponde au but à atteindre, auquel les élèves sont invités. Les savoirs sont ainsi mobilisés dans un processus de création réfléchi, ce qui permet aux élèves d'en mesurer l'importance et donner sens à leurs apprentissages.

Un cadre méthodologique cohérent avec l'épistémologie des sciences ?

L'épistémologie peut se définir rapidement comme l'analyse des processus de la construction des savoirs. Depuis plusieurs décennies, la didactique des sciences cherche à proposer aux élèves une démarche de construction des connaissances qui soit aussi cohérente que possible avec les analyses des principaux épistémologues des sciences. Les constructions didactiques successives (démarche expérimentale, démarche hypothético-déductive, Main à la Pâte, Démarche d'Investigation...) sont les produits de cette recherche de cohérence entre le monde de la recherche et celui de l'enseignement. Il est donc normal que nous cherchions également, dans l'épistémologie, une justification possible de nos choix didactiques. Le cahier des charges a-t-il, au-delà de la technologie, une légitimité épistémologique dans les sciences expérimentales ? Le cahier des charges peut-il être un concept fédérateur, donnant aux sciences expérimentales et à la technologie un cadre méthodologique commun ? C'est ce que nous allons essayer d'argumenter ici.

Analyse pour justifier la place du cahier des charges dans une approche intégrée des sciences

Comme nous l'avons évoqué au début de cet article, l'enseignement intégré des sciences expérimentales (Sciences de la Vie et de la Terre, Physique et Chimie) et de la Technologie suppose de faire l'hypothèse de l'existence d'une méthodologie de résolution de problème au moins partiellement commune à ces trois disciplines. Une autre hypothèse est de penser que ces disciplines ont des méthodologies propres, trop spécifiques pour envisager de

les fondre, même partiellement, en une méthodologie commune. Ce sont ces deux choix que nous allons analyser successivement pour en explorer les limites.

Le choix de la spécificité irréductible des disciplines

Ce choix est justifié par une revendication épistémologique qui vise à faire exister les disciplines par et pour elles-mêmes, indépendamment des autres, même si des emprunts notionnels sont possibles.

Popper, épistémologue de la physique, est souvent désigné comme celui qui a le mieux défini les critères de scientificité d'une discipline. Le plus emblématique de ces critères étant celui de la réfutation : « *Le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de l'invalider, de la réfuter ou encore de la tester.* » (Popper, 1985, p. 65). Le test étant de nature expérimentale, cela revient à faire de la prédictibilité d'une théorie le critère majeur de scientificité. C'est l'expérimentation et l'expérimentation seule, par sa capacité à produire des phénomènes prédits par la théorie, qui va jouer un rôle majeur et délimiter la frontière entre science et non-science. Ou, tout du moins, entre la physique et les autres sciences.

Popper développe également l'idée qu'une réfutation répétée invalide définitivement une théorie. « *J'ai pensé (...) qu'il ne fallait pas tenir les théories scientifiques pour des condensés d'observation, mais pour des inventions, des conjectures hardiment forgées afin de les mettre à l'épreuve et des les écarter si elles entrent en conflit avec les observations, observations qui ne sont en général pas fortuites, mais délibérément entreprises pour tester la théorie en en produisant, si faire se peut, une réfutation définitive.* » (Popper, 1985, p. 79). Ce qui peut se comprendre dans une discipline, la physique, dont l'ambition a longtemps été d'élaborer des lois universelles.

Dans une conception aussi restrictive, les Sciences de la Vie et de la Terre ne peuvent que se distinguer. Le vivant étant par nature évolutif du fait des mutations, la prédiction ne peut donc s'appliquer avec la même rigueur qu'en physique. Même si les mutations peuvent être intégrées comme éléments explicatifs, elles sont par nature imprévisibles et « *du fait de la nature probabiliste de la plupart des idées de la biologie évolutive, il est impossible de leur appliquer le critère de réfutabilité de Popper.* » (Mayr, 2006, p. 27). Mayr propose de distinguer deux champs, celui de la biologie fonctionnelle (la physiologie) et celui de la biologie historique (tout ce qui se rapporte à l'évolution). Si la biologie fonctionnelle emprunte beaucoup à la démarche proposée par Popper, la seconde développe une méthodologie propre, celle des scénarios historiques (Pichot, 2000, p. 86) ou de la reconstitution historique : « *La biologie fonctionnelle se pose la question du « comment ? » tandis que la biologie historique préfère celle du « pourquoi ? », bien qu'elle n'ignore pas la précédente, comme par exemple lorsqu'elle se demande comment les espèces apparaissent. (...) la biologie historique a dû développer sa propre méthodologie pour obtenir des réponses aux questions qu'elle se posait, particulièrement lorsqu'il était impossible de recourir à l'expérimentation. Cette méthodologie est celle de la reconstitution historique.* » (Mayr, 2006, p. 24). Dans ce cas, c'est la cohérence entre le scénario proposé (s'appuyant sur des modèles explicatifs validés par la communauté scientifique) et les faits d'observation qui va donner au scénario un caractère scientifique. Ces scénarios sont donc essentiellement explicatifs, leur dimension prédictive n'étant qu'anecdotique dans l'état actuel des choses. Les diverses hypothèses sur l'apparition des espèces, ou sur leur disparition, toutes étayées par l'étude des fossiles, en sont des exemples : le scénario repose sur des observations scientifiques reconnues par

la communauté mais la dimension prédictive sur l'avenir évolutif des espèces concernées reste impossible à envisager.

Si Les Sciences Physiques et Chimiques et Les Sciences de la Vie et de la Terre ont pour objectifs de créer des savoirs, l'objectif de la Technologie est de créer des objets. C'est de cette différence importante que la Technologie va revendiquer la spécificité de sa nature. Si l'expérimentation est une étape importante du processus, elle n'a pas la dimension épistémologique qui est la sienne en physique ou en physiologie. Une autre différence majeure entre la technologie et les sciences expérimentales réside dans le fait qu'en technologie plusieurs réponses, toutes aussi valides, peuvent être apportées à un même problème. Elles pourront faire appel à des principes différents (mécanique ou électrique par exemple) tout en répondant de manière identique au cahier des charges. L'idée d'une réponse unique et à prétention universelle qui sous-tend la biologie et la physique n'est donc pas ici de mise. Seule la congruence entre l'objet élaboré et le cahier des charges a d'importance. À quoi vont ensuite s'ajouter des qualités de production, de commercialisation et de recyclage qui seront autant de critères de choix supplémentaires.

Comme on le voit, les arguments en faveur d'une spécificité des méthodologies propres à chacune des disciplines sont des arguments forts, participant à la construction de l'identité même de la discipline.

Le choix d'une zone de recouvrement

Si l'on fait maintenant l'hypothèse qu'il existe une zone de recouvrement entre les méthodologies appliquées à ces différentes disciplines il serait illégitime, même dans le cadre d'une transposition didactique, de faire une telle hypothèse si elle n'avait pas un minimum de validité épistémologique. Si les spécificités se trouvaient dans les critères qui fondent le caractère scientifique de la validation des produits des disciplines concernés (modèles, théories, artefacts...), le point de convergence pourrait apparaître dans la dimension que G. Holton (1982) identifie comme systématiquement tue, n'apparaissant jamais dans les publications scientifiques : celle de la création, de « l'idée », de « l'invention scientifique » pour reprendre le titre de l'ouvrage de son ouvrage, « *de ces préconceptions fondamentales, stables et largement répandues, qu'on ne peut réduire directement à l'observation ou au calcul analytique, ni les en faire dériver.* » (Holton, 1982, p. 22). Cette idée d'invention également présente chez Popper (1985)⁶ se retrouve aussi dans le principe des « reconstitutions historiques » d'E. Mayr. On pourrait citer de nombreux exemples où la physiologie a procédé par invention d'un modèle avant que l'objet ne soit observé, des capillaires sanguins aux canaux ioniques des membranes cellulaires, la liste est longue. La technologie revendique également cette dimension créatrice qui va se concrétiser dans « l'invention » au sens le plus populaire du terme. G. Prudhomme le résume bien dans l'introduction de sa thèse : « *L'activité de conception relève donc du monde des idées, de la cognition (au sens de la construction de connaissances sur), mais c'est également une activité de création, d'actions, à l'issue de laquelle sont générées les différentes propositions pour le système en conception.* » (Prudhomme, 1999, p. 3).

⁶ « *J'ai pensé (...) qu'il ne fallait pas tenir les théories scientifiques pour des condensés d'observation, mais pour des inventions, des conjectures hardiment forgées afin de les mettre à l'épreuve.* » (Popper, 1985, p. 79)

Il nous semble qu'il y a là une convergence épistémologique qui pourrait avoir un intérêt didactique important dans le cadre d'une démarche intégrée de l'approche des sciences expérimentales et technologiques⁷. Le processus d'invention de propositions de solutions à un problème donné, une fois clairement définis le contexte et les données propres à ce problème, semble le point autour duquel pourrait s'articuler une approche commune de ces disciplines. Faire prendre conscience aux élèves qu'en physique comme en biologie, qu'en technologie comme en géologie la résolution de problème passe par un processus de création raisonné, que l'invention c'est d'abord une production intellectuelle permettant de résoudre le problème avant d'être un objet technologique ou un modèle fonctionnel. Après seulement, les spécificités propres à chacune des disciplines peuvent se décliner ; mais il nous semble qu'il y a là une pierre angulaire qui donnerait du sens et de la cohérence à tous les apprentissages.

La place du cahier des charges dans une approche d'intégration

L'hypothèse fédératrice consiste donc à mettre en avant le processus de création raisonnée. L'idée n'est pas neuve. Tous ceux qui ont travaillé sur les conceptions des élèves en les considérant, non comme des scories à balayer pour faire place au savoir nouveau, mais comme des produits de l'activité de création des élèves à partir des outils conceptuels dont ils disposent, ne trouveront rien de bien original à cette proposition. L'idée est de généraliser leur prise en compte et leur valorisation dans l'ensemble des disciplines afin que les élèves en comprennent le rôle et l'importance heuristique. L'idée est aussi d'accompagner cette activité de création par un cadre méthodologique qui permette aux élèves d'avoir une idée aussi précise que possible de l'objet à imaginer (objet de savoir ou objet concret) et de leur permettre de choisir rapidement les meilleurs outils conceptuels pour le faire.

Et c'est là que l'utilisation du cahier des charges joue un rôle important, en servant de cadre méthodologique à ce processus de création raisonnée tout en structurant l'investigation scientifique. L'élaboration du cahier des charges nécessite une analyse minutieuse du problème et du contexte dans lequel il est posé. Cette analyse conduit à imaginer une ou plusieurs solutions possibles. L'identification des fonctions et des contraintes encadrera ces produits de l'imagination et conduira à leur reformulation sous forme d'hypothèse ou de proposition de solutions techniques qui pourront être soumises aux tests expérimentaux. Alors seulement les processus pourront devenir spécifiques. Mais ils auront été précédés d'une phase d'analyse et de création raisonnée qui sera commune aux disciplines scientifiques et technologiques.

Conclusion

Ce texte avait deux ambitions.

La première était de relater comment des enseignants, de profils très différents et dans des contextes de classe très divers, avaient pu amener leurs élèves à s'approprier le cadre méthodologique du cahier des charges et comment ce cadre avait permis des investigations dans les champs de la biologie, de la physique et de la technologie. L'identification de la fonction d'usage de la couveuse a conduit les élèves à explorer les moyens mis en œuvre

⁷ Nous pensons même que cela pourrait aller au-delà et s'appliquer à d'autres disciplines, mais c'est encore un autre domaine à explorer.

par la poule pour incuber ses œufs. Ce qui a conduit à identifier les fonctions techniques. La transposition de ces dernières dans un objet construit, la couveuse, a posé des problèmes qui s'inscrivaient dans le champ de la technologie (faire le plan, choisir les matériaux, définir les étapes de la construction...) et de la physique (résoudre des problèmes liés à la température, à la matérialité de l'air, aux circuits électriques ...).

La seconde ambition était de poser les bases d'une justification théorique de l'utilisation du cahier des charges comme cadre méthodologique commun aux sciences expérimentales et à la technologie. C'est en amont des spécificités liées aux méthodologies de test des hypothèses (que ces dernières soient scientifiques ou technologiques sous forme de proposition de solutions techniques) qu'il nous a semblé que le point de convergence pouvait se trouver : dans l'analyse du problème et dans l'imagination raisonnée des prémices de la solution. Dans ce point de convergence, le cadre méthodologique proposé par le cahier des charges nous paraît un outil riche en potentialité comme guide de la construction de la pensée scientifique chez l'élève.

Bibliographie

BÉDART-NAJI E. (2000) *La technologie au cycle 3*. Collection Pédagogie, Paris : Retz.

CHALMERS A. (1991) *La fabrication de la science*. Éd. La découverte, Paris.

COQUIDE M., FORTIN C, RUMELHARD G. (2009) L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *ASTER*, n°49, p. 51-77.

HOLTON G. (1982) *L'invention scientifique*. PUF, Paris.

JAMES F. (2012) Comment varie la masse des œufs au cours de l'incubation ? Un exemple de démarche d'investigation dans une approche intégrée des sciences à l'école. *Grand N*, n°90, 15-38.

JOLIBOIS C. & HEINRICH C. (2002) *Le jour où mon frère viendra*. Pocket Jeunesse.

MAYR E. (2006) *Après Darwin*. Dunod, Paris.

PERROT N., PIETRYCK G., ROJAT D. (2009) *L'enseignement intégré de science et technologie*. Rapport de l'IGEN, science-techno-college.net.

PICHOT A. (2001) *La Société pure : de Darwin à Hitler*. Éd. Flammarion, Paris.

POPPER K. (1985) *Conjectures et réfutations*. Éd. Payot, Paris.

PRUDHOMME G. (1999) *Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble 1.