

APPRENDRE

GUIDE

pour la **formation d'enseignantes
et d'enseignants de sciences**

*Repères et exemples pour penser
et analyser la classe*



LE PROGRAMME APPRENDRE

Actif depuis 2018, le programme APPRENDRE a pour mission de renforcer la professionnalisation des enseignantes et enseignants, d'améliorer la qualité de la formation initiale et continue, et de soutenir leur développement professionnel tout au long de leur carrière. Le programme agit à la fois sur les pratiques pédagogiques, sur les statuts enseignants et sur la gouvernance de la profession. En cela, il contribue à l'amélioration de la condition enseignante et à la création d'un environnement favorable à une meilleure qualité des enseignements-apprentissages, conformément à l'Objectif de développement durable 4 (ODD 4) des Nations unies.

Pour atteindre ces objectifs, APPRENDRE mobilise son réseau d'expertise et facilite l'accès à des ressources, outils et savoirs.

APPRENDRE accompagne les ministères de l'Éducation de 23 pays francophones dans le renforcement des capacités de leurs personnels d'encadrement et d'accompagnement pédagogique. À la demande de ces pays, APPRENDRE mobilise un réseau d'expertise et de partenaires (personnes praticiennes, chercheuses, cadres éducatifs et universitaires) pour réaliser des missions de formation, d'audit, de diagnostic et d'ingénierie.

Les appuis mis en place par APPRENDRE ciblent prioritairement les directions et institutions responsables de la formation initiale et continue des personnels enseignants dans les pays concernés. L'identification des actions à mener s'appuie sur le recueil des besoins des actrices et des acteurs, dans une démarche partenariale fondée sur le dialogue et l'échange. Chaque pays définit son Plan de Travail Annuel (PTA) en étroite collaboration avec les huit Groupes Thématiques d'Expertise (GTE) du programme. C'est ensemble qu'un diagnostic est effectué, qu'une réflexion est menée et que les actions à mettre en place sont déterminées.

APPRENDRE n'est pas un dispositif de formation et ne se substitue pas aux financements sectoriels de l'éducation. Ses appuis, ponctuels et ciblés, s'inscrivent en amont des projets nationaux conçus et pilotés par les pays et renforcent les capacités de conception, de pilotage et de suivi des ministères.

Par ses interventions, APPRENDRE contribue à améliorer durablement la qualité des enseignements et des apprentissages dans les systèmes éducatifs francophones.

CE GUIDE A ÉTÉ CONÇU PAR :

Olatoundé Amand Léonce AFFOLABI, Docteur en didactique des sciences et technologies,
Option : didactique des sciences de la vie et de la Terre, enseignant-chercheur à l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

Sophie CANAC, Maîtresse de Conférences en didactique de la chimie à l'Université Paris-Est Créteil (UPEC), France.

Frédéric CHARLES, Maître de Conférences habilité à diriger des recherches en sciences de l'éducation et de la formation à l'INSPE de l'Académie de Versailles au sein de CY Paris Université, France.

S. Eugène OKÉ, Maître de Conférences des universités du Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur (CAMES) en didactique de la physique, à l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Denise ORANGE RAVACHOL, Professeure des universités émérite en sciences de l'éducation et de la formation (didactique des sciences de la vie et de la Terre) à l'Université de Lille, France.

SOUS LA COORDINATION DE :

Frédéric CHARLES et **Denise ORANGE RAVACHOL**

AVEC LA PARTICIPATION DE

Denis BUTLEN, Professeur des universités émérite à CY Cergy Paris Université, coordinateur du groupe thématique d'expertise 4 : « Promotion et enseignement des mathématiques et des sciences ».

PHOTO DE COUVERTURE :

Joannès DOGLO

ÉDITION ET CORRECTION :

Fanny PIAT GILLES

CONCEPTION GRAPHIQUE :

Alexandre LOURDEL

MISE EN PAGE :

Deborah COHEN



Ce guide est placé sous la licence Creative Commons Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

APPRENDRE

GUIDE

pour la **formation d'enseignantes**
et d'enseignants de sciences

*Repères et exemples pour penser
et analyser la classe*

SOMMAIRE

Remerciements	11
Préambule	12
Introduction générale	13
CHAPITRE 1 Démarches de l'enseignement des sciences	19
1. Regard critique sur les produits de la scolarisation	21
2. Évolution des idées dans une science : exemple de la physique	21
2.1 La physique pour comprendre la nature	21
2.2 L'expérience en physique	22
2.3 L'élaboration d'une théorie en physique	23
2.4 Physique et mathématiques	23
2.5 Physique et sciences de la vie	24
3. Implications de l'évolution des idées dans une science : exemple de la physique	24
4. Vulgarisation et promotion des sciences à travers l'enseignement	25
5. Quelques démarches pédagogiques favorisant des apprentissages significatifs en sciences	27
5.1 Démarche d'investigation	27
5.2 Démarche expérimentale	28
5.3 Démarche d'observation	29
5.4 Démarche de modélisation	30
5.5 Démarche de recherche documentaire	31
5.6 Démarche « La main à la pâte »	31
5.7 Regard didactique sur les démarches	32
6. Des outils et techniques pour conduire la classe dans une approche visant le développement des compétences	33
6.1 Exemples d'outils et techniques pédagogiques basés sur les développements des compétences	33
6.2 Avantages de développer des outils et techniques pédagogiques basés sur le développement des compétences	34
7. Exemples de fils conducteurs de formations des enseignants	34
7.1 Activité de formation 1 : Analyse épistémologique de l'enseignement des sciences	35
7.2 Activité de formation 2 : Identification des domaines de connaissances dont l'enseignement vous préoccupe en raison des difficultés que vous avez observées sur le terrain dans votre pays	36

7.3	Activité de formation 3 : Identification des objets d'enseignement en termes de savoir, savoir-faire et savoir-être dans les domaines dont l'enseignement vous préoccupe en raison des difficultés que vous observez sur le terrain dans votre pays	36
7.4	Activité de formation 4 : Identification des ressources d'enseignement en termes d'aide à comprendre les difficultés notées dans l'enseignement-apprentissage de contenus spécifiques dans votre pays	37
7.5	Activité de formation 5 : Production de fiches d'enseignement-apprentissage sur des contenus présentant des difficultés en classe dans votre pays	37
7.6	Activité de formation 6 : Retour d'expérience sur la mise en œuvre des fiches d'enseignement-apprentissage élaborées à propos des contenus présentant des difficultés en classe dans votre pays	38
CHAPITRE 2	Partir des pratiques pour former	41
1.	La double approche didactique et ergonomique (Dade)	43
2.	Pour analyser les pratiques	45
3.	Un exemple d'analyse des pratiques en chimie	46
CHAPITRE 3	Pour former à la démarche de modélisation	49
1.	L'observation est-elle un acte passif ?	52
1.1	Importance des idées préalables pour l'observation	53
1.2	Importance des questions préalables et des interactions	55
1.3	L'observation n'est pas un acte passif	59
2.	Que faire avec les élèves pour observer et construire le modèle	59
2.1	Importance de la situation initiale : un exemple de travail sur la masse volumique au collège (extrait de Laugier, 2004)	60
2.2	Former à une démarche de modélisation : un exemple autour de la transformation chimique (extrait de Bouard & al., 2022)	61
2.2.1	1 ^{ère} étape : Construction des critères du modèle adaptés à la situation analysée	61
2.2.2	2 ^e étape : analyse d'une séance	63
2.2.3	3 ^e étape : proposition de modification du protocole	69
2.2.4	4 ^e étape : retour des enseignants après réalisation du protocole modifié	71
2.3	Aller-retour Modèle – Expérimentation : un exemple autour de l'élaboration du modèle particulière (extrait de Chomat & al., 1988)	71
2.3.1	Expérience proposée pour construire P5 et P6	72
2.3.2	Construction de P7, P8 et P9	74

CHAPITRE 4	Les conceptions ou représentations initiales des élèves qui font obstacle à l'apprentissage	77
1.	Exemples de conceptions repérées en physique	80
1.1	Mécanique	80
1.1.1	Changement de référentiel	80
1.1.2	2 ^e et 3 ^e lois de Newton	81
1.1.3	Les forces de frottement	81
1.2	Électricité	83
1.2.1	Un seul fil puis des courants antagonistes	83
1.2.2	La métaphore du fluide en mouvement	83
1.2.3	Absence de la notion de tension et générateur à courant constant	83
1.2.4	Le raisonnement séquentiel (cohérent avec la notion de fluide)	85
1.3	Optique L'image est conçue comme déjà formée à l'origine et se déplaçant « en bloc »	85
1.3.1	Lumière et vision	85
1.3.2	Image	86
1.3.3	Couleur	86
1.4	Propagation d'une onde	88
1.5	Énergie	89
1.5.1	Chaleur et température	89
2.	Exemples de conceptions repérées en chimie	91
2.1	Les substances chimiques	91
2.1.1	Le sens commun	91
2.1.2	Corps composé et mélange	91
2.1.3	L'état gazeux	91
2.1.4	Les propriétés de la substance peuvent changer sans changement d'identité de celle-ci	92
2.2	La transformation chimique	93
2.2.1	Obstacle de sens commun	93
2.2.2	Transformation chimique liée à un événement	93
2.2.3	Obstacle dû à l'enseignement	93
2.2.4	Préexistence des produits nouveaux dans certaines transformations	94
2.2.5	Le modèle agent-patient	94
2.2.6	Confusion états initial et final avec l'équation chimique	94
2.2.7	Le réactif limitant dans une transformation totale	94
2.2.8	La notion d'équilibre chimique	94

2.3	Passage macroscopique – microscopique	97
2.3.1	Un niveau microscopique non maîtrisé	97
2.3.2	Incompréhension du modèle microscopique pour la réaction	97
2.3.3	La polysémie des formules non maîtrisée	97
3.	Les raisonnements de sens commun en physique et chimie	99
3.1	La réduction du nombre de variables fonctionnelles	99
3.2	Le raisonnement linéaire causal	99
3.3	Le raisonnement téléologique	99
4.	Les conceptions (représentations) et modes de raisonnement des élèves pouvant faire obstacle à l'apprentissage des sciences de la vie et de la terre (SVT)	99
4.1	Reproduction et sexualité	103
4.2	Nutrition animale (dont la nutrition humaine)	105
4.2.1	La signification globale de la nutrition	105
4.2.2	La digestion et l'absorption	106
4.3	La circulation sanguine	107
4.4	La respiration	110
4.5	La nutrition du fœtus	111
4.6	Mouvement du membre supérieur et articulation	112
4.7	Nutrition des végétaux chlorophylliens	114
4.8	Activité interne de la Terre	116
4.8.1	Fonctionnement des volcans	116
4.8.2	Tectonique des plaques	118
4.9	Conceptions (représentations), obstacle épistémologique et modes de raisonnement	119
CHAPITRE 5	Propositions didactiques	123
1.	Analyse comparée de deux séquences sur les mouvements corporels (fin de l'école primaire – élèves de 8-11 ans)	125
1.1	Quelques appuis épistémologiques et didactiques	125
1.2	Les deux séquences étudiées	127
1.3	Présentation et analyse de la séquence 1 (La main à la pâte)	128
1.3.1	Présentation de la séquence 1	128
1.3.2	Analyse de la séquence 1	133
1.4	Présentation et analyse de la séquence 2	136
1.4.1	Présentation de la séquence 2 (classe d'Éric Maleyrot, Nantes)	136
1.4.2	Analyse de la séquence 2	141
1.5	Comparaison des deux séquences : éléments de synthèse	143

2. Enseigner la digestion à la fin de l'école primaire	146
2.1 Enjeux éducatifs	146
2.2 Enjeux didactiques : représentations initiales, objectifs-obstacles	146
2.3 Une séquence 1 – Analyser des productions initiales	148
2.4 Une séquence 2 – Analyser une confrontation de productions initiales ...	156
2.5 Une séquence 3 – Analyser des activités pour résoudre les problèmes posés	158
3. Apprendre le principe de fonctionnement de l'alternateur : une proposition didactique	167
4. Donner du sens aux activités sismiques et volcaniques au collège	172
4.1 Place de la séquence dans la programmation	172
4.2 La fiche pédagogique (niveau collège)	174
Conclusion générale	181
Bibliographie générale	185
Présentation des auteurs	195

Remerciements

CE GUIDE résulte du travail de l'équipe « Sciences » du groupe thématique d'expertise 4 (GTE 4 : Promotion et enseignement des mathématiques et des sciences) du programme APPRENDRE coordonnée par Denis Butlen.

La composition de cette équipe est la suivante :

- **Physique-chimie** : Sophie Canac et Eugène Oké
- **Sciences de la vie et de la Terre** : Léonce Affolabi, Frédéric Charles, Denise Orange Ravachol

Au terme de ce travail, l'équipe souhaite exprimer plusieurs remerciements :

À Denis Butlen, responsable du GTE 4, pour sa disponibilité et pour ses apports scientifiques et pédagogiques.

À l'équipe de coordination du programme APPRENDRE, pour la confiance et l'appui accordés à ce projet, ainsi qu'aux responsables régionaux du programme pour leur contribution à l'organisation et au suivi des ateliers de formation et du webinaire « Renforcement du pôle des experts associés dans le domaine de la formation en mathématiques et en sciences », moment clé dans l'élaboration de cette ressource.

Aux nombreuses personnes participant aux ateliers et au webinaire, qui, par leur connaissance des contextes d'exercice, leurs travaux et leurs propositions, ont enrichi la production des ressources présentées dans ce guide.

À l'Agence Universitaire de la Francophonie et à l'Agence Française de Développement pour leur soutien logistique et financier au programme APPRENDRE et à la réalisation de cette ressource.

Préambule

Pour ne pas alourdir la rédaction du guide et dans un souci de facilitation de la lecture, l'écriture inclusive n'a pas été systématiquement utilisée. Mais il faut bien comprendre dans l'utilisation des termes « enseignants », « formateurs », « experts », rédacteurs, lecteurs... que cela concerne bien évidemment aussi les « enseignantes », « formatrices », « expertes », rédactrices, lectrices...

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CE GUIDE est le fruit d'une collaboration entre plusieurs experts ayant participé aux ateliers de formation de formateurs du programme APPRENDRE. Leur diversité disciplinaire (sciences de la vie et de la Terre, physique-chimie) et la complémentarité de leurs parcours professionnels ont permis de concevoir un outil destiné aux formateurs d'enseignants, mais également utilisable par les enseignants dans le cadre d'autoformations.

Il s'agit d'une production collective conçue pour enrichir la réflexion et l'analyse des pratiques de classe en sciences de la vie et de la Terre et en physique-chimie. Les experts ont tenté de mettre en avant ce qui fonde la didactique de ces disciplines scientifiques et d'apporter des pistes concrètes pour aider les formateurs d'enseignants dans l'exercice de leur métier, notamment sur des manières de penser, organiser et analyser l'enseignement des sciences. C'est par un travail de synthèse, d'échanges et d'écritures collectives successives que les rédacteurs ont produit ce guide en espérant l'avoir suffisamment décontextualisé afin qu'il puisse être diffusé largement et constituer une référence commune.

Les rédacteurs de ce guide, forts de leurs expériences de formateurs d'enseignants et de leurs recherches en didactique des sciences proposent ainsi aux lecteurs des chapitres aux contenus variés et complémentaires. Ce guide présente des repères issus de la recherche en didactique pour aborder des questions ou des situations professionnelles : élaborer des fiches de classe, construire une progression, analyser une séquence d'enseignement, identifier et traiter des erreurs d'élèves, etc. Le lecteur trouvera ainsi des exemples de productions et de ressources réalisées en classes et en ateliers. Un glossaire complète ce guide en définissant les différents concepts de la didactique des sciences utilisés. Enfin, des références bibliographiques figurent à la fin de chaque section et sont regroupées en conclusion de ce guide.

Le guide est structuré en cinq parties complémentaires :

- ❶ **La première partie** propose une réflexion sur les démarches qui fondent le travail sur l'enseignement des sciences. En complément du glossaire, cette partie explore ce que permettent de travailler les démarches dites « actives » en sciences, notamment ce qui relève de l'approche par compétences en phase avec de nombreux curricula des pays impliqués dans le programme APPRENDRE.
- ❷ **La deuxième partie** présente l'intérêt du cadre théorique de la double approche (didactique et ergonomique) pour analyser et comprendre les pratiques enseignantes en classe de sciences.
- ❸ **La troisième partie** met en lumière la démarche de modélisation incontournable en sciences, avec une illustration en chimie.
- ❹ **La quatrième partie** développe ce qui fait obstacle aux apprentissages. Elle présente des conceptions et des modes de raisonnement caractérisés par des travaux de recherche en didactique pour les disciplines scolaires : physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre.
- ❺ **La cinquième partie** a une visée plus pratique puisqu'elle contient un ensemble de propositions didactiques analysées et pensées pour la formation mais aussi pour la classe. Elle apporte aussi au lecteur des outils pour analyser ce qui se joue dans la classe de sciences. Les exemples sont variés, de l'école primaire au collège, en physique-chimie et en sciences de la vie et de la Terre.

Le guide s'achève par une brève synthèse et une bibliographie générale.

Bonne lecture !

CHAPITRE

1

DÉMARCHES DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

1 REGARD CRITIQUE SUR LES PRODUITS DE LA SCOLARISATION

Des recherches en éducation ont montré que des élèves réinvestissaient peu les savoirs scolaires mémorisés dans des contextes extrascolaires. Des élèves d'un niveau de scolarité donné ont des difficultés à mobiliser des savoirs apparemment acquis à un autre niveau de scolarité antérieur. Des savoirs apparemment acquis dans une discipline d'un même niveau ou d'un niveau antérieur sont difficiles à mobiliser par des élèves dans une autre discipline du niveau où ils sont. Ces constats montrent que les savoirs mémorisés restent souvent inertes (Legendre, 2001), difficiles à mobiliser par des élèves dans d'autres situations. Ces savoirs ne constituent pas pour ces élèves des ressources. Pendant longtemps, l'institution scolaire a valorisé la mémorisation et la restitution des connaissances plutôt que leur appropriation critique et leur utilisation fonctionnelle. Or, de plus en plus d'idées s'accumulent avec le développement des sciences. Cette évolution des idées élargit le champ des savoirs. De nos jours, dans l'enseignement moderne des sciences, il s'agit de développer davantage chez les élèves en classe des habiletés intellectuelles complexes, autrefois peu favorisées telles que le raisonnement logique, l'esprit critique et l'argumentation, afin de donner du sens et de la portée aux apprentissages scientifiques.

Au fil du temps, une science se transforme progressivement et établit des liens avec d'autres sciences. En considérant l'exemple de la physique, nous présentons quelques aspects des évolutions, quelques liens avec les autres domaines et les implications de ces évolutions.

2 ÉVOLUTION DES IDÉES DANS UNE SCIENCE : EXEMPLE DE LA PHYSIQUE

2.1 La physique pour comprendre la nature

D'après son étymologie, la physique se définit comme l'étude des phénomènes naturels. Les phénomènes naturels auxquels la physique s'intéresse ont été successivement les mouvements des astres ou des corps, la propagation des ondes lumineuses ou sonores, l'analyse de la matière dans les moindres détails. Aujourd'hui encore,

elle couvre des domaines multiples : la recherche des origines de l'univers, l'exploration du monde microscopique, l'étude de la lumière ou du mouvement des planètes. Les physiciens partagent une curiosité exacerbée pour comprendre le monde qui les entoure. La tâche des physiciens semble sans fin. Louis de Broglie (1892-1987) illustre ainsi cette curiosité et ses défis « Chaque fois que l'esprit humain au prix des plus grands efforts est parvenu à déchiffrer une page du livre de la Nature, il s'est tout de suite aperçu combien plus difficile, il serait de déchiffrer la page suivante. Néanmoins, un instinct profond l'empêche de se décourager et le pousse à renouveler ses efforts pour progresser... ». (Desit-Ricard, 2009, p. 6)

2.2 L'expérience en physique

Galilée fut le premier à interroger la nature par l'expérience. Il en a précisé la forme générale en lui assignant pour objet immédiat tout ce qui peut être mesurable dans les phénomènes naturels. Cournot soulignait déjà l'importance de l'expérience en physique et la distinguait de la simple observation. L'expérimentation permet en effet de dépasser l'observation pour interroger la nature plus en profondeur. En astronomie ou en astrophysique, expérimenter consiste à observer et mesurer avec les instruments adéquats, mais sans pouvoir agir sur l'astre ou les astres étudiés. Il revient alors à l'observateur de trouver les conditions idéales pour de telles observations, ce qui n'est pas toujours aisé ! Dans d'autres branches de la physique, le physicien peut généralement travailler dans les conditions expérimentales qu'il a lui-même définies. Cependant une expérience n'est pas toujours facile à mettre en œuvre. Les obstacles peuvent être liés aux instruments de mesure, aux conditions techniques parfois coûteuses, ou encore aux infrastructures nécessaires. Mais la difficulté principale réside dans la capacité à s'affranchir des préjugés et des hypothèses que l'on souhaite confirmer ou infirmer. Un exemple célèbre est celui de l'expérience d'Albert Abraham Michelson (1881), qui, bien qu'extrêmement précise, ne permit pas de mettre en évidence un mouvement de l'Éther par rapport à la Terre : la vitesse mesurée était toujours nulle. Ce résultat resta inexpliqué jusqu'en 1905, lorsque Albert Einstein montra, avec la théorie de la relativité restreinte, qu'aucun milieu matériel n'était absolument immobile et que, par conséquent, l'Éther n'existait pas. Cet exemple illustre le rôle des présupposés et des croyances comme obstacles à la connaissance. Ils peuvent freiner voire compromettre l'établissement d'une découverte ou d'un savoir. Ainsi, l'expérience seule ne suffit pas, il faut pouvoir l'interpréter.

2.3 L'élaboration d'une théorie en physique

L'élaboration d'une théorie en physique n'est généralement pas abordée dans le parcours scolaire, car elle ne constitue pas un objet d'apprentissage en soi. On peut néanmoins souligner que dans le travail du physicien, l'interprétation d'une expérience est une étape difficile car souvent délicate et complexe. Le rôle de l'expérience se situe à plusieurs niveaux et ses liens avec la théorie sont de nature assez complexe. De façon générale, une expérience ne constitue pas une démonstration. Elle ne suffit pas à elle seule pour justifier une loi. Elle peut toutefois confirmer des résultats prévus dans le cadre d'une théorie. Lorsqu'un cours de physique débute par une expérience, l'intérêt est essentiellement pédagogique et non didactique. Il s'agit de montrer aux élèves que la loi qu'ils vont étudier est bien vérifiée expérimentalement. Par ailleurs, lorsqu'il s'agit de corroborer une théorie encore jugée révolutionnaire, l'expérience vient conforter la validité de la théorie et peut contribuer à convaincre certains esprits sceptiques. Une expérience peut légitimer une théorie nouvelle et lui permettre d'être acceptée par le grand public. Dans certains cas, l'expérience précède la formulation de la loi, c'est alors que le physicien progresse par tâtonnement et par induction vers la formulation de nouvelles hypothèses. L'expérience est un moyen pour faire progresser le physicien dans son travail. Son pouvoir est tel qu'un seul contre-exemple expérimental peut suffire à remettre en cause un édifice théorique tout entier.

2.4 Physique et mathématiques

Les liens entre la physique théorique et les mathématiques sont complexes. La physique étudie la nature, le monde réel tandis que les mathématiques relèvent de recherches abstraites basées sur l'utilisation de formalismes particuliers. Aujourd'hui, il serait difficile d'imaginer la physique sans outils tels que les dérivées, les vecteurs ou les matrices. Les mathématiques apparaissent ainsi comme un langage grâce auquel s'expriment les lois de la physique. Ainsi, Henri Poincaré pensait que les mathématiques fournissent au physicien la seule langue qui lui permettait de traduire des subtilités qu'il souhaitait exprimer. Pour Gaston Bachelard, les mathématiques jouent un rôle encore plus fondateur que celui d'un simple langage. Ce dernier pense qu'elles constituent une pensée en soi, « une pensée sûre de son langage ». Un courant de réflexion actuel propose de "démathématiser" l'enseignement de la physique au lycée afin de privilégier une démarche plus intuitive. Ses opposantes et opposants jugent cependant cette perspective utopique, estimant qu'elle remet en cause la nature fondamentale du lien entre les deux disciplines. Ce débat demeure ouvert et nourrit encore aujourd'hui les discussions sur l'enseignement de la physique.

2.5 Physique et sciences de la vie

Bien que la vie constitue un phénomène naturel, elle échappe à la physique, car, au fil du temps, « sciences de la vie » et « sciences de la matière » se sont peu à peu distinguées. Actuellement la biophysique rapproche les physiciens des biologistes, mais les champs d'investigation restent bien distincts. L'essor de la biophysique montre à quel point ces deux disciplines sont aujourd'hui liées. Dans le cadre de la biologie moléculaire, des outils modernes de la physique sont utilisés pour analyser les molécules constitutives de la vie. Grâce à l'étude des acides aminés, des protéines et des séquences d'ADN, la science progresse dans l'établissement des processus physiques qui interviennent dans les cellules.

Quelles peuvent être les implications de cette progression des savoirs de la physique ?

3 IMPLICATIONS DE L'ÉVOLUTION DES IDÉES DANS UNE SCIENCE : EXEMPLE DE LA PHYSIQUE

Contrairement à l'idée que la science aurait atteint une connaissance générale du monde, nous pouvons affirmer que la physique est une science dynamique. En effet, les idées générées par la physique ne sont pas figées. Les nouvelles théories ne remplacent pas nécessairement les anciennes. Elles limitent simplement le domaine d'application. Par exemple, la mécanique de Newton est valide lorsqu'il s'agit d'étudier les objets macroscopiques se déplaçant à des vitesses très inférieures à la vitesse de la lumière. On peut dire sans se tromper qu'en physique, les idées sont donc parfois remises en cause. Cela permet leur évolution. Cette évolution des idées de la physique a permis d'avoir aujourd'hui un corpus de savoirs de trois ordres ou dimensions au moins : conceptuel(le), méthodologique et langagier(ière). Il nous paraît nécessaire que ces trois ordres ou dimensions soient pris(es) en compte dans l'enseignement moderne de la physique. Cela permettrait à l'enseignement de la physique de véhiculer l'idée selon laquelle la science avance en élargissant le champ des savoirs.

De nombreux concepts de la physique ont été élaborés en dehors de toute perception courante (Desit-Ricard, 2009). Ces concepts sont d'une abstraction robuste et c'est pour cela qu'ils sont peu connus ou peu accessibles à l'esprit des jeunes enfants ou adolescents. Par contre, les applications étant facilement observables, elles semblent plus connues que les concepts. Cela explique sans doute le fait que la physique fondamentale

soit moins médiatisée que ses applications. Il est humainement difficile d'admettre tout ce qui ne conforte pas notre intuition. Par exemple, il a été difficile et il a fallu des siècles pour que la majorité des êtres humains admette que la Terre n'est pas immobile et qu'elle n'est pas plate ou que pour voir, il faut que l'objet à voir envoie de la lumière vers l'œil (de Hosson, 2009).

La diffusion des concepts, des méthodes et des langages des sciences constitue une tâche importante pour le scientifique et l'enseignant de science du XXI^e siècle.

Se pose alors la question de savoir comment promouvoir chez les jeunes une science en perpétuelle évolution ?

4 : VULGARISATION ET PROMOTION DES SCIENCES À TRAVERS L'ENSEIGNEMENT

L'enseignement des sciences et des technologies repose sur des démarches spécifiques. Ces démarches visent à développer chez les élèves des compétences pour comprendre le monde qui les entoure. Selon les instructions officielles de plusieurs pays dans lesquels le programme APPRENDRE intervient, ces compétences relèvent de l'investigation et de la résolution de problèmes. Ces démarches s'articulent autour de l'observation, de l'expérimentation, de l'analyse de données, de leur interprétation et de la communication des résultats.

L'enseignement des sciences au primaire devrait, entre autres, initier les élèves aux démarches qui les préparent à une appropriation des sciences et des technologies. L'initiation à ces démarches leur permet de développer la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour les sciences et les technologies. Les objectifs visés sont la compréhension et la description de la nature et du monde créé par les êtres humains ainsi que la maîtrise des changements induits par l'activité humaine.

L'enseignement de la physique et de la chimie au collège permet aux élèves d'acquérir les bases d'une culture scientifique dans différents domaines : matière, lumière, électricité, gravitation, etc. Il leur permet de développer leur sens de l'observation, leur curiosité, leur esprit critique et leur intérêt pour les sciences et les technologies.

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) au collège vise entre autres, à faire acquérir des éléments essentiels de culture scientifique pour comprendre le fonctionnement du corps humain, le monde vivant, la Terre et l'environnement. Les collégiens sont amenés à observer des phénomènes ou des organismes vivants, se poser des questions pour émettre des hypothèses, réaliser des manipulations et des expérimen-

tations lorsque cela est possible. Ils s'initient, grâce aux SVT, à la démarche scientifique en prenant conscience de l'importance des règles de sécurité, du respect des autres et de la nécessité pour chacun de se sentir responsable face à l'environnement et à la santé.

L'enseignement de la technologie au collège devrait permettre aux collégiens d'acquérir des méthodes et des connaissances pour comprendre et expliquer le fonctionnement d'objets techniques, fabriqués par les êtres humains pour répondre à leurs besoins.

L'évolution des programmes scolaires depuis quelques années, dans des pays où le programme APPRENDRE intervient, témoigne d'une orientation des politiques éducatives dans plusieurs pays en développement à rechercher non seulement l'accumulation des connaissances scientifiques chez les jeunes, mais également une formation à l'usage ou aux applications des connaissances en jeu. L'ambition est d'amener les enseignants et enseignantes à conduire des activités d'enseignement scolaire en sciences qui s'inscrivent dans l'étude de situations de vie ou de problèmes réels de la vie courante. Ces situations ou problèmes font appel à des démarches actives de mise en œuvre d'élaboration de réponse à une question ou de résolution d'un problème. À travers ces démarches, il est souhaité que les élèves développent en plus des connaissances apodictiques plutôt qu'assertoriques (*voir glossaire*), des compétences méthodologiques proches de celles que déploient les membres des communautés scientifiques de chaque discipline.

Parmi ces compétences, on peut citer :

- formuler des questions ou des préoccupations d'ordre scientifique ;
- formuler des hypothèses et les tester ;
- construire un argumentaire à partir des résultats ;
- évaluer la pertinence des résultats ;
- communiquer sur les résultats, etc.

Les démarches dans les différentes disciplines de sciences peuvent correspondre à celles que nous décrivons dans les lignes qui suivent.

5 | QUELQUES DÉMARCHES PÉDAGOGIQUES FAVORISANT DES APPRENTISSAGES SIGNIFICATIFS EN SCIENCES

Dans les lignes suivantes, nous présentons différentes démarches actives pour l'enseignement des sciences. Ensuite, nous proposons une brève description de chaque démarche avec ses étapes, ses avantages et ses implications en classe :

- la démarche d'investigation ;
- la démarche expérimentale ;
- la démarche d'observation ;
- la démarche de modélisation ;
- la démarche de recherche documentaire ;
- la démarche "La main à la pâte".

Chacune de ces démarches offre des approches pour engager les élèves dans des processus d'apprentissage actifs et collaboratifs. Elles permettent de varier les dispositifs pédagogiques et de répondre aux différents besoins et styles d'apprentissage des élèves.

5.1 Démarche d'investigation

► Brève description

La démarche d'investigation (*voir glossaire*) est une approche pédagogique inspirée des processus cognitifs (Piaget, Vygotski, Doise et Mugny, Bruner) par analogie avec l'activité scientifique telle qu'elle est pensée par Kuhn, Dewey, Bachelard, Popper, et par le rejet de l'inductivisme des épistémologues du XX^e. Elle est adaptée à un contexte d'éducation scientifique. Elle est utilisée dans les classes pour développer chez des élèves la pensée critique, la résolution de problèmes et la compréhension scientifique de faits. Elle les rend actifs dans leur apprentissage grâce à l'élaboration de questionnements, la formulation d'hypothèses, la réalisation d'expériences pour les tester, puis l'analyse et l'interprétation des résultats pour tirer des conclusions.

► Étapes

- ❶ **Formulation du problème** : poser une question de recherche basée sur l'observation d'une situation initiale problématique.
- ❷ **Formulation des hypothèses** : proposer des explications possibles.
- ❸ **Planification et réalisation des expériences** : concevoir et réaliser des expériences pour tester les hypothèses.
- ❹ **Analyse des résultats** : collecter et interpréter les données obtenues.
- ❺ **Conclusion et communication** : tirer des conclusions et partager les résultats.

► Avantages

Elle favorise chez l'apprenant l'acquisition et le développement de l'autonomie, la pensée critique, des aptitudes de résolution de problèmes. Les élèves deviennent actifs dans leur apprentissage, ce qui permet leur engagement et la compréhension de la science.

► Implications

Elle apparaît comme un processus complet impliquant la formulation de questionnements, d'hypothèses, la conception et la réalisation d'expériences, l'observation, l'analyse et la conclusion. Ce type d'enseignement doit remplir certaines conditions pour permettre des apprentissages significatifs. Pour Boilevin (2018), il doit amener les élèves à s'engager dans la construction de savoirs scientifiques, proposer des tâches ou des problèmes à résoudre requérant des activités cognitives et/ou expérimentales, permettre des discussions argumentatives et des échanges entre élèves. Il doit enfin prévoir une structuration des connaissances. Selon le degré d'ouverture des tâches (autonomie des élèves) et le niveau d'intervention de l'enseignant, on distingue des investigations plus ou moins complètes.

5.2 Démarche expérimentale

► Brève description

La démarche expérimentale consiste à tester des hypothèses à travers des expériences contrôlées et répétables pour obtenir des données mesurables et objectives.

► **Étapes**

- ❶ **Observation** : observer un phénomène particulier.
- ❷ **Questionnement** : formuler une question précise sur le phénomène observé.
- ❸ **Formulation d'hypothèses** : proposer une explication plausible sur le phénomène.
- ❹ **Expérimentation** : concevoir et/ou réaliser une expérience pour tester l'hypothèse.
- ❺ **Formulation des résultats** : collecter et analyser les résultats obtenus.
- ❻ **Interprétation** : confronter les résultats avec l'hypothèse initiale.
- ❼ **Formulation de conclusion** : formuler une conclusion en cohérence avec l'expérimentation menée.

► **Avantages**

Elle permet d'apprendre à tester des hypothèses de manière contrôlée et rigoureuse, de développer des aptitudes dans la prise de mesures précises et à réaliser des analyses qualitatives et quantitatives.

► **Particularités**

La démarche expérimentale se réalise dans un cadre contrôlé. Les expériences doivent être répétées afin de vérifier la concordance des résultats. La précision des mesures et l'analyse des données sont essentielles.

5.3 Démarche d'observation

► **Brève description**

La démarche d'observation repose sur l'examen attentif et systématique des phénomènes naturels pour collecter des données descriptives, sans intervention directe.

► **Étapes**

- ❶ **Sélection de l'objet d'étude** : choisir précisément ce qui sera observé.
- ❷ **Observation** : observer minutieusement en détail l'objet ou le phénomène étudié.
- ❸ **Description** : enregistrer des observations sous forme de notes, croquis, photographies, etc.
- ❹ **Analyse** : décrire des données recueillies pour identifier des tendances ou des régularités.
- ❺ **Conclusion** : formuler des conclusions basées sur les observations enregistrées et analysées.

► Avantages

Elle est particulièrement adaptée à l'étude des phénomènes naturels dans leur contexte. Elle développe l'attention aux détails, la précision, la capacité à décrire ce qui est observé et à formuler des hypothèses testables. Elle favorise l'acquisition de connaissances descriptives riches et détaillées et le développement de la capacité à poser des questions scientifiques.

► Implications

La démarche d'observation est directe et se déroule souvent dans le milieu naturel des sujets étudiés. Elle est descriptive, car les observations sont consignées de manière détaillée et peuvent inclure des dessins, des photographies ou des vidéos.

5.4 Démarche de modélisation

► Brève description

La démarche de modélisation consiste à créer des outils de pensée et de langage permettant de représenter des phénomènes complexes (*voir glossaire*).

► Étapes

- ❶ **Identification du phénomène et du problème** : choisir le phénomène ou le système à modéliser.
- ❷ **Simplification** : identifier des éléments et des relations essentiels à intégrer dans le modèle.
- ❸ **Construction du modèle** : élaborer une représentation (physique, mathématique, informatique, etc.).
- ❹ **Validation** : comparer le modèle avec les données réelles pour vérifier sa validité.
- ❺ **Utilisation** : utiliser le modèle pour faire des prédictions ou expliquer des observations.

► Avantages

La modélisation permet d'interpréter des phénomènes complexes, de tester des hypothèses et de faire des prédictions sur des systèmes complexes. Elle favorise le développement des capacités d'abstraction et de généralisation.

► Implications

La modélisation met en évidence des éléments clés d'un phénomène ou d'un système complexe. Elle favorise la prédiction et permet d'anticiper les comportements futurs ou les résultats d'expériences non réalisées.

5.5 Démarche de recherche documentaire

► Brève description

La démarche de recherche documentaire consiste à rechercher, collecter et analyser des informations provenant de diverses sources pour répondre à une question de recherche ou résoudre un problème.

► Étapes

- ❶ **Définition de la problématique** : clarifier la question de recherche.
- ❷ **Recherche d'informations** : rechercher des documents pertinents (livres, articles, sites web, etc.).
- ❸ **Sélection** : évaluer et retenir les sources les plus pertinentes à l'aide de la pensée critique.
- ❹ **Analyse/synthèse** : analyser et synthétiser les informations recueillies.
- ❺ **Présentation** : structurer et présenter les résultats de la recherche.

► Avantages

Elle favorise l'autonomie dans l'apprentissage, développe des aptitudes de gestion de l'information, de pensée critique et d'analyse.

► Implications

Elle implique l'exploration de sources variées (ouvrages, articles scientifiques, bases de données en ligne, etc.). Les élèves doivent acquérir des compétences de collecte, de sélection et de synthèse d'informations, ce qui renforce leur pensée critique et leur autonomie.

5.6 Démarche « La main à la pâte »

► Brève description

La démarche "La main à la pâte" (*voir glossaire*) vise à développer l'esprit scientifique chez les élèves en les impliquant activement dans des activités de découverte et d'expérimentation.

► Étapes

- ❶ **Questionnement** : les élèves posent des questions à partir de leurs observations ou d'un thème proposé.
- ❷ **Formulation des hypothèses** : les élèves proposent des explications possibles ou des prédictions.
- ❸ **Investigation** : les élèves réalisent des expériences, des observations, des manipulations et collectent des données.
- ❹ **Analyse des résultats** : les élèves analysent les données collectées et comparent les résultats obtenus à leurs hypothèses.
- ❺ **Conclusion et communication** : les élèves rédigent des conclusions et présentent leurs résultats.

► Avantages

La démarche favorise l'engagement actif des élèves, leur motivation et leur intérêt pour les sciences. Elle développe des aptitudes variées (scientifiques, méthodologiques, sociales), l'esprit critique et l'autonomie. Elle encourage la collaboration à travers le travail en groupe.

► Implications

Elle permet l'apprentissage par l'action car, les élèves apprennent en faisant, en manipulant des objets et en réalisant des expériences concrètes.

Le travail collaboratif qu'elle implique favorise la socialisation et la coopération.

Elle mobilise plusieurs champs de connaissances et donc la pluridisciplinarité.

Les élèves sont amenés à documenter leurs observations, discuter et communiquer leurs observations et résultats.

5.7 Regard didactique sur les démarches

Les démarches présentées ci-dessus prennent en compte l'importance des erreurs comme opportunités d'apprentissage. Elles encouragent les élèves à essayer, à se tromper, à communiquer, et à apprendre de leurs erreurs et de celles de leurs pairs.

Pour mettre en œuvre l'une des démarches, l'enseignant ou l'enseignante doit créer un environnement d'apprentissage dynamique et stimulant qui favorise la curiosité. Nous pensons que sa posture et sa responsabilité sont fondamentales pour soutenir l'acquisition et le développement d'une démarche cadrée, essentielle pour les futurs citoyens, scientifiques qui doivent pouvoir prendre en charge les problèmes de leur environnement immédiat.

6 DES OUTILS ET TECHNIQUES POUR CONDUIRE LA CLASSE DANS UNE APPROCHE VISANT LE DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES

Les outils et techniques pour conduire la classe dans une approche visant le développement des compétences permettent de dépasser la simple accumulation de connaissances théoriques chez les élèves. Ils favorisent l'apprentissage par la pratique, la résolution de problèmes, le travail en équipe et la réflexion critique. En d'autres termes, au lieu de se concentrer uniquement sur les notions théoriques, ils visent aussi à développer les savoir-faire et les savoir-être chez les élèves. Cela implique de placer les élèves dans des situations réelles ou simulées où ils doivent appliquer leurs connaissances et compétences pour résoudre des problèmes, prendre des décisions, ou réaliser des projets. Voici quelques outils et techniques utilisables en classe.

6.1 Exemples d'outils et techniques pédagogiques basés sur les développements des compétences

- **Problèmes à résoudre** : proposer des problèmes complexes qui nécessitent une réflexion et la mobilisation de différentes compétences.
- **Cas concrets** : étudier des situations réelles ou des études de cas pour analyser et appliquer les compétences en situation.
- **Projets** : confier aux apprenants la réalisation de projets, de la conception à la réalisation, pour développer leurs compétences en gestion de projet et en travail d'équipe.
- **Simulations et jeux de rôle** : immerger les apprenants dans des environnements virtuels ou réels pour pratiquer et affiner leurs compétences dans des contextes appropriés.
- **Travaux pratiques et manipulations** : permettre aux apprenants de pratiquer des techniques et de développer leur maîtrise des outils à travers des activités pratiques.
- **Exposés et études de cas** : favoriser l'apprentissage par le partage d'expériences et la réflexion sur des situations concrètes.
- **Brainstorming et résolution de problèmes** : encourager la créativité et la pensée critique à travers des activités de brainstorming et de résolution collaborative de problèmes.

- **Travail collaboratif** : créer des situations où les apprenants doivent travailler en équipe pour développer leurs compétences en communication, en négociation et en résolution de conflits.
- **Apprentissage par l'expérience** : permettre aux apprenants d'apprendre par la pratique et de mettre à l'épreuve leurs connaissances en situation réelle.

6.2 Avantages de développer des outils et techniques pédagogiques basés sur le développement des compétences

- **Amélioration de la motivation** : les apprenants sont plus impliqués lorsqu'ils sont confrontés à des situations concrètes et peuvent voir l'utilité de leurs apprentissages.
- **Développement de compétences transversales** : l'approche par compétences favorise la communication, la résolution de problèmes, la pensée critique et le travail d'équipe.
- **Préparation à la vie professionnelle** : les compétences acquises sont directement applicables dans le monde du travail et permettent aux apprenants de mieux se préparer à leurs futures professions.
- **Adaptation aux besoins des apprenants** : l'approche par compétences permet d'ajuster les apprentissages aux besoins et aux intérêts des élèves, ce qui favorise leur motivation et leur engagement.

7 : EXEMPLES DE FILS CONDUCTEURS DE FORMATIONS DES ENSEIGNANTS

Les exemples de fils conducteurs que nous présentons ci-après donnent des pistes d'activités de formation permettant d'impulser la mise en œuvre des démarches actives dans l'enseignement des sciences. Ils ont été expérimentés et repensés à partir des webinaires organisés et réalisés en 2024. Il s'agit d'un exercice à la transposition didactique permettant d'identifier les connaissances, les aptitudes et les attitudes que doivent acquérir et développer les jeunes apprenants de collège en sciences. En effet, la science et la technologie sont omniprésentes dans notre vie quotidienne et participent de façon déterminante à la transformation de notre société.

L'enseignement-apprentissage des sciences et technologies doit rendre visible cette caractéristique pour que les apprentissages soient significatifs aux yeux des jeunes pour leur permettre de se prendre en charge et de contribuer à la résolution des problèmes de leur environnement immédiat.

Des exemples de fiches pédagogiques possibles peuvent être élaborés avec les enseignants. Ces productions sont le fruit de réflexions épistémologiques et des analyses curriculaires menées en amont de la formation. Elles constituent des ressources pour aider les enseignants de sciences à mettre en œuvre des processus didactiques favorisant des apprentissages significatifs. À titre indicatif, nous proposons un format de fiche montrant les étapes d'introduction de séquence, de réalisation et de retour/projection, ainsi que l'organisation didactique et pédagogique à privilégier.

7.1 Activité de formation 1 : Analyse épistémologique de l'enseignement des sciences

Consigne

En vous basant sur vos connaissances, votre expérience et vos observations de l'enseignement des sciences dans votre pays, répondez aux questions ci-après :

1. Qu'est-ce que la science ?
2. Qu'est-ce que la physique ?
3. Qu'est-ce que la chimie ?
4. Qu'est-ce que la technologie ?
5. Les programmes de physique, chimie et technologie correspondent-ils à la définition de ces disciplines ? Argumentez.
6. Les pratiques enseignantes en physique, chimie et technologie correspondent-elles à la définition de ces disciplines ? Argumentez.
7. Les évaluations dans l'enseignement de la physique, de la chimie et de la technologie correspondent-elles à la définition de ces disciplines ? Argumentez.

7.2 Activité de formation 2 : Identification des domaines de connaissances dont l'enseignement vous préoccupe en raison des difficultés que vous avez observées sur le terrain dans votre pays

Consigne

En vous basant sur vos connaissances, votre expérience et vos observations de l'enseignement des sciences dans votre pays :

1. Identifiez les domaines de connaissances en physique, chimie et technologie dont l'enseignement vous préoccupe en raison des difficultés observées sur le terrain. Quelles difficultés récurrentes avez-vous relevées ?
2. Mobilisez des ressources relatives à l'enseignement dans ces domaines.

7.3 Activité de formation 3 : Identification des objets d'enseignement en termes de savoir, savoir-faire et savoir-être dans les domaines dont l'enseignement vous préoccupe en raison des difficultés que vous observez sur le terrain dans votre pays

Consigne

En vous basant sur vos connaissances, votre expérience et des ressources précises :

1. Proposez une définition des notions de compétence, savoir, savoir-faire et savoir-être dans les domaines de connaissances en physique, chimie et technologie concernés.
2. Discutez de vos productions en groupe et retenez une élaboration consensuelle.
3. Proposez une déclinaison des savoirs, savoir-faire et savoir-être mobilisés dans l'enseignement de ces domaines.

7.4 Activité de formation 4 : Identification des ressources d'enseignement en termes d'aide à comprendre les difficultés notées dans l'enseignement-apprentissage de contenus spécifiques dans votre pays

Consigne

En vous basant sur la recherche de ressources (articles scientifiques, vidéos...) :

1. Proposez des documents permettant de mieux comprendre les difficultés rencontrées dans l'enseignement-apprentissage des contenus spécifiques identifiés.
2. Discutez de la pertinence de ces ressources avec vos pairs.
3. Proposez des solutions envisageables, à partir de ces ressources, pour accompagner les enseignants dans la résolution des problèmes identifiés.

7.5 Activité de formation 5 : Production de fiches d'enseignement-apprentissage sur des contenus présentant des difficultés en classe dans votre pays

Consigne

En vous appuyant sur les ressources identifiées (articles scientifiques et didactiques, vidéo, manuels...) :

1. Proposez une fiche d'enseignement-apprentissage sur des contenus posant une ou des difficultés sur le terrain ou dans les classes.
2. Discutez de la pertinence de votre production avec vos pairs.
3. Discutez et planifiez sa réalisation en classe dans une démarche collaborative.
4. Réalisez un tableau SWOT (forces, faiblesses, opportunités, menaces) lié à sa mise en œuvre.

7.6 Activité de formation 6 : Retour d'expérience sur la mise en œuvre des fiches d'enseignement-apprentissage élaborées à propos des contenus présentant des difficultés en classe dans votre pays

Consigne

En vous basant sur les ressources (articles scientifiques et didactiques, manuels, vidéo...) identifiées et l'expérimentation réalisée :

1. Ajustez le tableau SWOT établi avant l'expérimentation.
2. Discutez avec vos pairs des résultats (réussites et difficultés) de la mise en œuvre et ajustez la fiche ou les fiches proposées.
3. Réalisez une nouvelle expérimentation en classe dans une étude collaborative.
4. Dressez les constats et les leçons à retenir pour améliorer l'enseignement des contenus concernés.
5. Selon les résultats de vos expérimentations, proposez des ajustements possibles dans les prescriptions officielles.

RÉFÉRENCES

- Arendt, H.** (1961). *La condition de l'homme moderne*. Paris : Calmann-Lévy.
- Bachelard, G.** (1938). *La formation de l'esprit scientifique* (3^e éd.). Paris : Vrin, 1993, 45-78.
- Boilevin, J.-M.** (2018). La démarche d'investigation : simple effet de mode ou bien nouveau mode d'enseignement des sciences ? In : *Épistémologie & didactique*, 195-220.
- Chalmers, A. F.** (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : La Découverte.
- Charpak, G. & al.** (2005). *L'enfant et la science : L'aventure de La main à la pâte* (2^e éd.). Paris : Odile Jacob, 12-34.
- De Hosson, C.** (2009). *Comment voit-on les objets qui nous entourent ? À la découverte de la lumière*. Paris : Le Pommier. <https://hal.science/hal-01663274/>
- Desit-Ricard, I.** (2009). L'histoire de la physique en clair, Ellipses.
- Kuhn, T.** (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Legendre, M.-F.** (2001). Sens et portée de la notion de compétence dans le nouveau programme de formation. *Revue de l'AQEFSL*, 23(1), 12-30.
- Popper, K.** (2001). *Logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
- Simon, J.** (2007). L'enseignement des sciences à l'école primaire : L'expérience de La main à la pâte. *Revue Française de Pédagogie*, 67-89.

CHAPITRE

2

**PARTIR
DES PRATIQUES
POUR FORMER**

Former un enseignant nécessite d'entrer dans ce que Rogalski (2000) appelle l'arène de son activité en identifiant les ressources et contraintes propres à l'activité, en l'utilisant pour en faire l'analyse et en ouvrant de nouveaux possibles. Comme pour un élève, la formation d'un enseignant doit se situer dans sa Zone Proximale de Développement Professionnel (ZPDP). En effet, il faut ne pas attendre ou demander d'un enseignant des actions hors de portée de ses compétences et des ressources qu'il peut mobiliser. Rogalski (2000) prend l'exemple d'un pilote à qui on demanderait de faire un looping avec un avion non prévu pour cela. Sauf s'il est exceptionnel, cela poserait de gros problèmes. Il n'est donc pas raisonnable d'attendre de chaque enseignant la réalisation de séances qui ne correspondent pas à ses compétences. Former un enseignant nécessite donc, au préalable, de partir de ses pratiques. Qu'entend-on par « pratiques des enseignants » ? Selon Masselot et Robert (2007, p. 17), il s'agit de « tout ce qui se rapporte à ce que l'enseignant pense, dit ou ne dit pas, fait ou ne fait pas, sur un temps long, que ce soit avant, pendant ou après les séances de classe ». Pour approcher les pratiques des enseignants, Robert et Rogalski ont élaboré le cadre de la Double approche didactique et ergonomique (Dade) qui s'est développé ensuite à partir de nombreux travaux menés notamment en mathématiques, mais aussi en sciences, dans le Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR) (voir le chapitre 6 du *Guide pour le formateur d'enseignants de mathématiques du programme APPRENDRE*, 2023. <https://apprendre.auf.org/wp-content/uploads/2023/10/Guide-pour-le-formateur-denseignants-de-mathematiques.pdf>).

1 LA DOUBLE APPROCHE DIDACTIQUE ET ERGONOMIQUE (Dade)

La Dade (Robert & Rogalski, 2005) prend appui sur la théorie de l'activité. L'activité de l'enseignant a une fonction de médiation directe entre les élèves et le contenu enseigné. Elle permet d'amener les élèves vers les contenus visés au travers des tâches données et par les actions de l'enseignant portant sur l'activité des élèves au cours de la réalisation des tâches. Il s'agit donc d'entrer dans l'activité de l'enseignant à travers, d'un côté la didactique de la discipline à enseigner et, de l'autre, l'aspect ergonomique, c'est-à-dire les cadres et méthodes d'analyse développés en psychologie du travail, l'enseignant étant un professionnel avec des buts à atteindre.

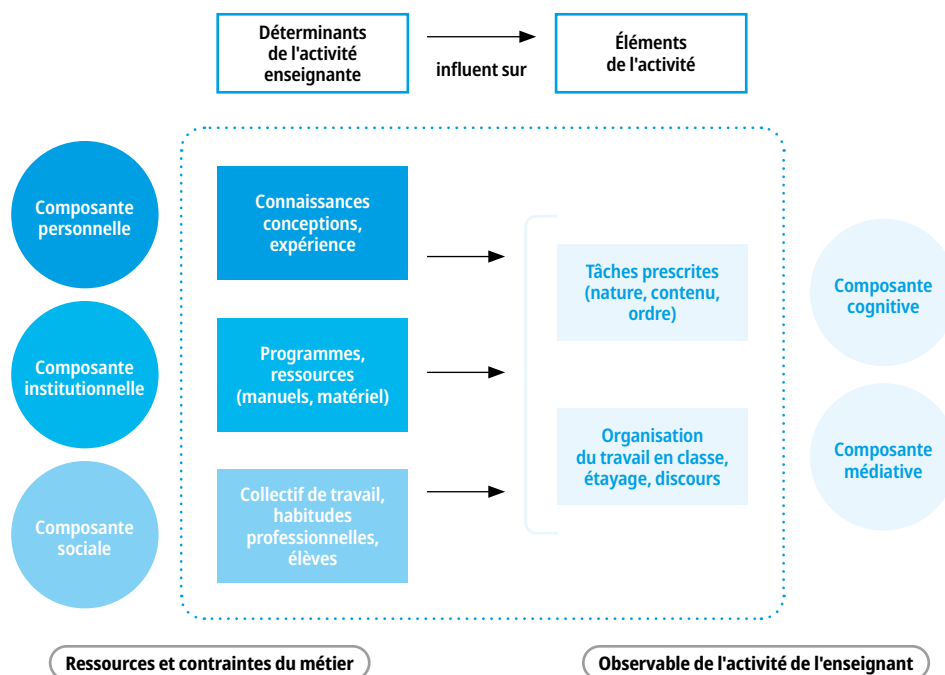
Du côté didactique, l'activité de l'enseignant est régulée à la fois par ce qu'il veut faire au cours de la séance et par la situation qu'il va élaborer (composante cognitive) mais aussi par ce qui va se passer en classe dans l'interaction avec les élèves (composante médiative).

- **La composante cognitive** concerne les contenus de savoirs organisés pour la classe et l'itinéraire cognitif proposé aux élèves. Les apprentissages sont facilités par le choix des tâches (variété, complexité, progressivité) et par le sens donné aux savoirs visés. En sciences, le choix de contenu peut porter sur les faits empiriques à étudier, sur une démarche de modélisation, ou sur la mise en relation entre faits et modèles (analyser une situation expérimentale à partir d'un modèle, proposer un modèle à partir d'une expérience, ou effectuer des allers-retours entre les deux). Pour l'itinéraire cognitif, l'enseignant peut choisir la démarche d'investigation, la problématisation, etc. Mais un « bon » énoncé ne suffit pas : la réussite des élèves dépend aussi de la fonction d'étayage de l'enseignant.
- **La composante médiative** concerne l'organisation du déroulement en classe - temps laissé aux élèves pour résoudre (potentiellement) la tâche, choix des modalités de travail (individuel, en groupe, collectif) - ainsi que l'organisation des médiations entre l'enseignant, les élèves et le savoir en classe - aides prévues par l'enseignant au fur et à mesure de l'activité des élèves, ce qu'il reste à faire aux élèves, a minima / maxima, au fur et à mesure des interventions de l'enseignant. L'élève est conduit à essayer de faire ce qu'il ne sait pas encore faire. L'enseignant soutient la construction de savoirs nouveaux par des aides procédurales (dire quoi faire et comment) et des aides constructives (aider l'élève à identifier ce qu'il a déjà produit, à repérer ce qui se joue dans la situation et à réfléchir sur son propre travail).

Du côté ergonomique, l'enseignant est un sujet singulier, plus ou moins expérimenté, avec des connaissances, des convictions et des ressources propres. Il travaille dans un cadre institutionnel et un environnement donné. Les choix effectués par l'enseignant dans les composantes cognitive et médiative sont donc influencés par :

- **la composante personnelle** (histoire, expérience, formation, représentations des élèves, de la discipline et de son enseignement) ;
- **la composante institutionnelle** (programmes, horaires, prescriptions officielles) ;
- **la composante sociale** (travail collectif avec collègues, diversité sociale des élèves).

Ces composantes sont résumées dans le schéma ci-dessous (Bouard & *al.*, 2022 d'après Kermen, 2018) :



De nombreux travaux ont montré que les pratiques des enseignants sont cohérentes, stables dans le temps (pour les enseignants expérimentés) et complexes, car soumises à de multiples facteurs. Robert (2007) avance qu'il est souvent plus difficile pour un enseignant expérimenté de modifier sa gestion de classe (composante médiative) que de transformer le contenu de sa séance (composante cognitive).

2 : POUR ANALYSER LES PRATIQUES

Les logiques d'action des enseignants peuvent être reconstituées par l'analyse croisée des scénarios prévus et effectifs, permettant d'identifier l'organisation du travail, le contenu disciplinaire abordé et l'étayage des activités des élèves (Molvinger & *al.*, 2017). L'activité de l'enseignant est d'abord régulée par ses intentions et par la situation qu'il élabore. Le couple - tâches + déroulement en classe - permet de caractériser les pratiques enseignantes, décrites par les composantes cognitive et médiative, et interprétées en tenant compte des contraintes du métier d'enseignant (composantes institutionnelle, sociale et personnelle). Analyser les pratiques suppose de circonscrire le savoir de

référence en lien avec les programmes, repérer les difficultés des élèves (ou étudiants) déjà identifiées sur la notion visée (Robert & Vandebrouck, 2014). Cela nécessite également, d'élaborer une analyse *a priori* à partir des fiches et des énoncés prévus par l'enseignant (Bouard & *al.*, 2022) portant sur :

- l'itinéraire cognitif (nature et ordre des tâches prévues) ;
- le contenu des tâches (façons de mobiliser les connaissances, stratégies, erreurs possibles) ;
- le déroulement en classe (activités possibles des élèves selon les interventions prévues).

L'activité réelle d'un enseignant ne relève pas uniquement du « *dire* » : elle se joue aussi dans le « *faire* » en classe (Robert & Vivier, 2013), c'est-à-dire dans les interactions avec les élèves. Les notes de terrain et les entretiens viennent compléter l'observation pour préciser certains points et enrichir l'analyse (Molvinger & *al.*, 2017). Les diagnostics, anticipations, inférences, renoncements ou désirs de l'enseignant ne sont pas directement observables et nécessitent des entretiens.

Ainsi, connaître les pratiques enseignantes suppose de recueillir aussi :

- des séances filmées ou observées (transcrites ou non) ;
- des productions d'élèves, pour mieux cerner leur activité effective et mesurer l'effet des choix de l'enseignant ;
- des questionnaires et entretiens, pour accéder aux pratiques déclarées, au contexte et au profil de l'enseignant.

3 : UN EXEMPLE D'ANALYSE DES PRATIQUES EN CHIMIE

Un exemple d'analyse des pratiques est proposé dans le paragraphe sur la modélisation : « Former à une démarche de modélisation : un exemple autour de la transformation chimique ».

RÉFÉRENCES

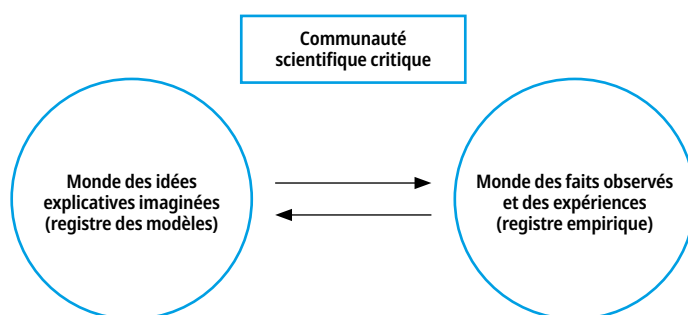
- APPRENDRE.** (2023). *Guide pour le formateur d'enseignants de mathématiques*.
- Bouard, R.,** Canac, S., & Kermen, I. (2022). Modélisation des transformations chimiques : Mise en regard d'un programme et de pratiques enseignantes. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 25, 69-100.
- Kermen, I.** (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée : Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Presses Universitaires de Rennes.
- Masselot, P.,** & Robert, A. (2007). Le rôle des organisateurs dans nos analyses didactiques de pratiques de professeurs enseignant les mathématiques. *Recherche & formation*, 56, 15-31.
- Molvinger, K.,** Chesnais, A., & Munier, V. (2017). L'enseignement de la masse à l'école élémentaire : Pratiques d'une enseignante débutante en éducation prioritaire. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 15, 133-167.
- Robert, A.** (2007). Stabilité des pratiques des enseignants de mathématiques (second degré) : Une hypothèse, des inférences en formation. *Recherches en didactique des mathématiques*, 27(81), 271-312.
- Robert, A., & Rogalski, J.** (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505-528.
- Robert, A., & Vandebrouck, F.** (2014). Proximités-en-acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : Analyses de séances sur des tâches complexes. *Recherches en didactique des mathématiques*, 34(2), 239-283.
- Robert, A., & Vivier, L.** (2013). Analyser des vidéos sur les pratiques des enseignants du second degré en mathématiques : Des utilisations contrastées en recherche en didactique et en formation de formateurs—quelle transposition ? *Éducation & didactique*, 7(2), 115-144.
- Rogalski, J.** (2000). Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant. *Actes du XXVI^e colloque COPIRELEM*, 45-66.

CHAPITRE

3

**POUR FORMER
À LA DÉMARCHE
DE MODÉLISATION**

Les démarches scientifiques (*voir glossaire*) sont avant tout des démarches explicatives des phénomènes naturels ou provoqués et situent l'activité scientifique entre deux mondes : empirique et théorique.



(D'après Orange, 2012)

Le monde empirique est le domaine des faits provenant de l'observation ou d'expériences. Il n'est pas donné immédiatement. Ce sont les explications possibles, envisagées *a priori*, qui permettent de juger si un fait est pertinent ou pas.

Le monde théorique est le domaine des modèles, des explications construites pour rendre compte des faits jugés pertinents pour le problème étudié. Un modèle (*voir glossaire*) ne prétend pas décrire une réalité objective. Il a seulement une valeur explicative et prédictive limitée dans un champ d'application déterminé, à un instant donné des connaissances, ce qui explique son intérêt.

Dans une visée socio-constructiviste, une partie du rôle de l'enseignant est de faire élaborer aux élèves des modèles explicatifs. Les activités proposées doivent ainsi permettre aux élèves d'identifier ces deux mondes dans lesquels s'inscrit l'activité scientifique, et d'apprendre à passer de l'un à l'autre.

1 L'OBSERVATION EST-ELLE UN ACTE PASSIF ?

Plusieurs recherches ont montré les difficultés rencontrées par les élèves quand il s'agit d'observer. Dans une expérience où des élèves de seconde en France (âge 15-16 ans) doivent ajouter de la soude dans un tube à essai contenant des ions cuivre (II), les chercheurs leur demandent de raconter ce qui se passe tel qu'ils l'imaginent à partir de leurs observations (Laugier & Dumon, 2003). L'échange ci-dessous montre que les élèves sont incapables d'extraire des faits pertinents pour apporter une explication.

« **É1** : Les ions, ils deviennent un solide puisqu'ils se forment un précipité, mais qu'est-ce qui se passe quand on met la soude ?

É2 : Et bien elle casse tout et il y a des éléments de chaque truc qui s'assemblent et ils deviennent plus solides.

É1 : On nous demande de raconter ce qui se passe mais on ne voit pas ce qui se passe. On voit des couleurs, on sent mais on ne voit rien. »

(Laugier & Dumon, 2003, pp. 84-85)

L'observation ne va pas de soi. « Observer ne se réduit jamais à collecter indifféremment tout ce qui arrive » (Soler, 2019, p. 67). Les élèves n'observent pas nécessairement ce que l'enseignant souhaite qu'ils « voient », car ils ne disposent pas du même cadre de référence. L'observation est orientée par les conceptions préalables de l'observateur et dépend du but poursuivi et des questions posées (Que cherche-t-on ? Que veut-on obtenir ? Que peut-il se passer ?).

1.1 Importance des idées préalables pour l'observation

□ Exemple 1 (extrait de Richoux & *al.*, 2005)

La séance de travaux pratiques est réalisée en classe de première scientifique en France (âge 16-17 ans). Les élèves doivent réaliser le dosage d'une solution contenant des ions fer (II) par une solution de permanganate de potassium. Ils doivent dans un premier temps noter leurs observations après l'ajout dans le bécher contenant initialement la solution d'ions fer (II), d'une goutte de la solution de permanganate provenant de la burette (photo ci-dessous). Un expert possédant le registre explicatif de la réaction chimique se produisant – il y a réaction entre les ions fer (II) (solution légèrement verte) et les ions permanganate (solution violette) pour donner des ions fer (III) (solution légèrement jaune) et des ions manganèse (II) (solution incolore) – fera l'observation suivante : après l'ajout d'une goutte, le permanganate, réactif en défaut, est totalement consommé dans le bécher, la coloration de la solution reste celle due à la présence des ions fer (III) qui est, à ce stade du dosage, le réactif en excès.

Deux élèves échangent au moment où ils versent la première goutte de la solution de permanganate de potassium.

« **Au** : J'en verse qu'une goutte alors ?

Y : Oui

Au : **Ça ne fait rien**

Y : Tout disparaît, oui. Qu'observe-t-on ?

Au : La solution reste incolore...

Y : Ou alors, la solution redevient incolore »



Pour Au, il ne s'est rien passé (**passage en bleu dans le dialogue**) puisque la couleur de la solution dans le bécher n'a pas changé (**passage en gris dans le dialogue**). On peut faire l'hypothèse qu'Au n'a pas encore construit le modèle de la réaction chimique et interprète le non-changement de la couleur de la solution dans le bécher comme l'absence de phénomène, à la différence d'Y qui y « voit » la disparition du permanganate.

L'observation est-elle un acte passif ?

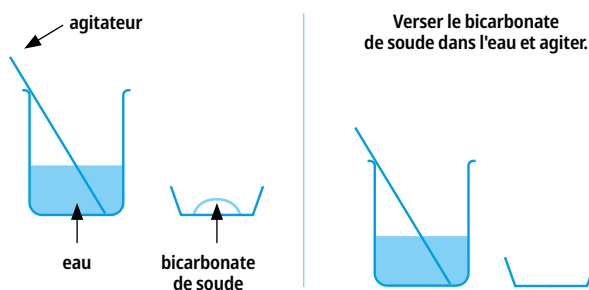
□ Exemple 2 (extrait de Talenti & *al.*, 2023)

La séance proposée se situe à la fin de la séquence sur les mélanges en fin de cycle 3. (6^e en France, âge : 11-12 ans). L'enseignante souhaite introduire le concept de transformation chimique en opposition au concept de mélange. Elle réalise devant la classe deux expériences :

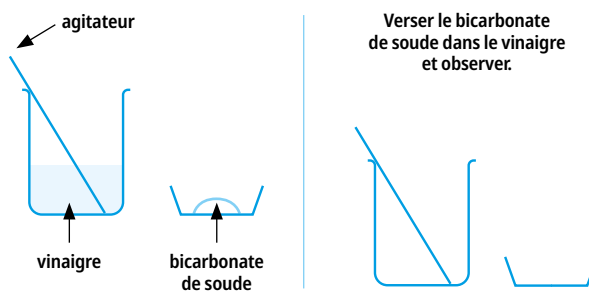
- **Expérience 1** : ajout de bicarbonate de soude dans de l'eau. Le mélange se fait difficilement, l'enseignante doit agiter longtemps avant la disparition du solide qui correspond à une simple dissolution.
- **Expérience 2** : ajout de bicarbonate de soude dans du vinaigre. La disparition du solide est quasi instantanée en présence d'un dégagement gazeux qui est dû à la transformation chimique.

L'objectif de l'enseignante est de montrer qu'après évaporation du liquide, elle retrouve le solide initial dans l'expérience 1 et un nouveau solide dans l'expérience 2, montrant ainsi qu'il y a eu plus qu'un simple mélange.

Expérience 1 (ce que je fais)



Expérience 2 (ce que je fais)

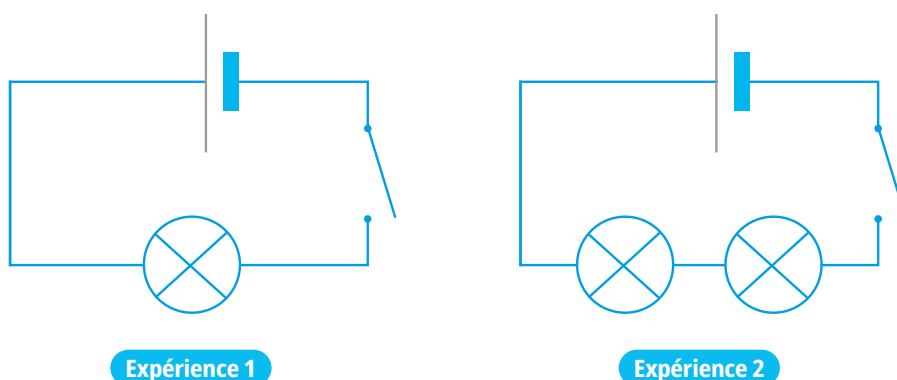


La question posée aux élèves est : d'après toi, ces deux expériences conduisent-elles à un mélange ? Pour un expert, le fait expérimental significatif pour pouvoir répondre est la présence du dégagement gazeux dans l'expérience 2 par rapport à l'expérience 1. Les élèves n'ayant pas encore dans leur registre explicatif le concept de transformation chimique, ils sont très peu à relever le dégagement gazeux pour argumenter leur réponse.

1.2 Importance des questions préalables et des interactions

□ Exemple 1 (extrait d'un mémoire d'IUFM¹)

Deux classes de quatrième (14-15 ans, France) comparent les deux circuits électriques ci-dessous.

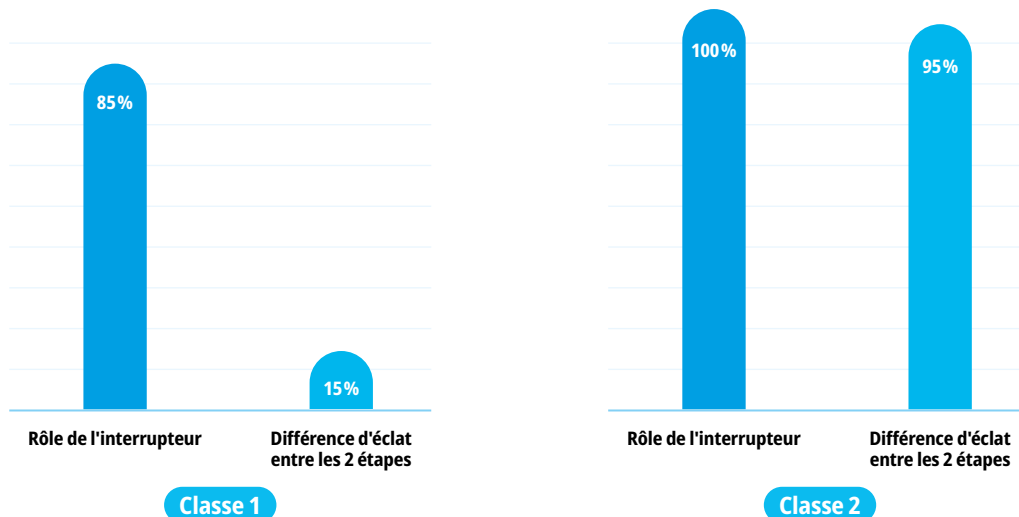


L'objectif de l'enseignant est, dans un premier temps, de faire observer aux élèves le rôle de l'interrupteur puis, dans un deuxième temps, la différence d'éclat des ampoules entre l'expérience 1 et l'expérience 2. Dans sa première classe (celle obtenant les meilleurs résultats scolaires), l'enseignant montre les deux expériences en demandant aux élèves de noter leurs observations. Dans la deuxième classe, l'enseignant montre aux élèves le schéma des deux circuits, leur demande de débattre entre eux sur ce qui va se passer puis réalisent les expériences en leur demandant de noter leurs observations. L'enseignant relève les observations réalisées dans les deux classes.

¹ IUFM : Institut Universitaire de Formation des Maîtres, lieu de formation des enseignants de sciences physiques et chimiques en France entre 1990 et 2013.

L'observation est-elle un acte passif ?

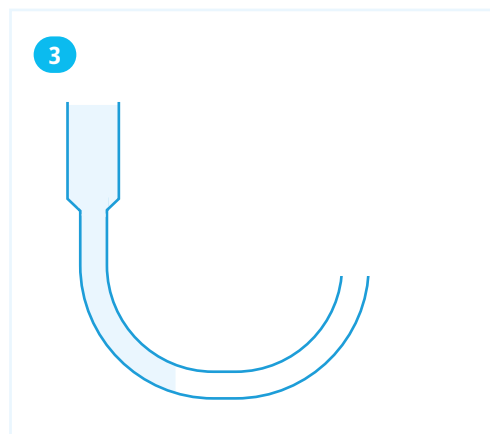
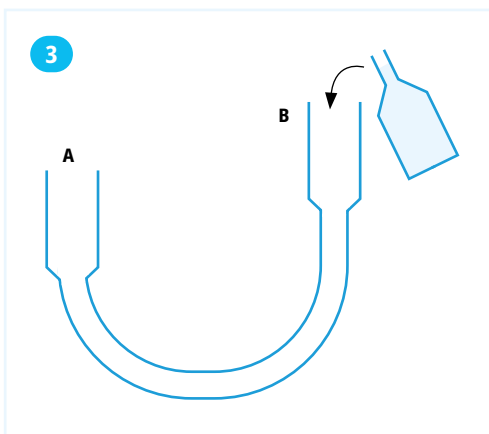
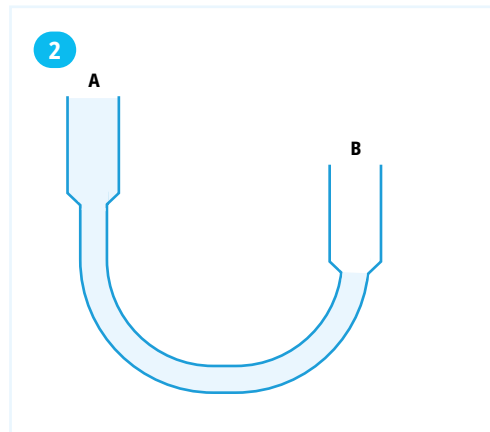
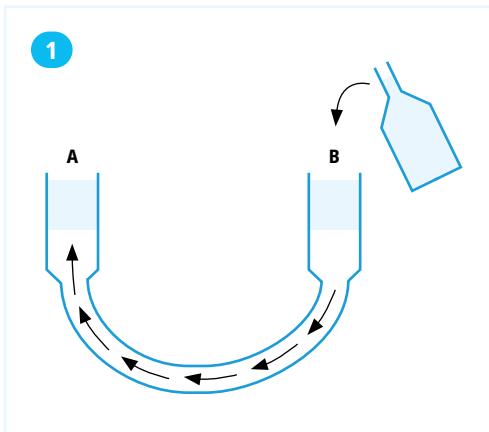
Il obtient les résultats ci-dessous :



Dans la classe où les élèves ont débattu avant les expériences, ils sont une majorité (95%) à observer la différence d'éclats des ampoules entre la première et la deuxième expérience, alors qu'ils ne sont que 15% dans la première classe où ils devaient juste noter leurs observations sans se questionner avant sur ce qui allait se passer. Dans la première classe, l'enseignant relève ce type d'observations : « Monsieur P. allume un interrupteur met une pince bleue et jaune et l'ampoule s'allume. Il enlève la pince jaune met d'autre pince bleue et l'attache avec un autre petit boîtier et les deux ampoules s'allument ». Sans le questionnement préalable, les élèves sont incapables de trier les faits pertinents (l'éclat des ampoules) des faits non pertinents (la couleur des fils). La présence, ou non, de débat a donc eu une influence sur ce que les élèves « voient ».

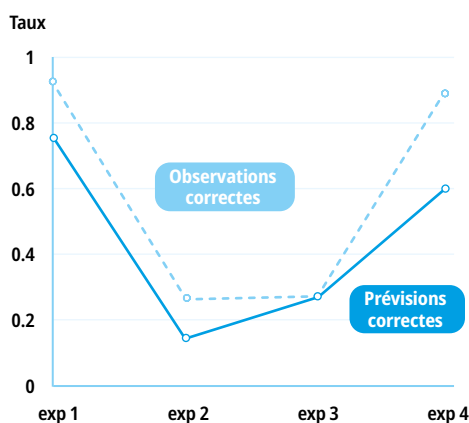
□ **Exemple 2 (extrait de Laugier & Lefevre, 1993)**

Dans ce travail, les chercheurs font l'hypothèse que les interactions élèves-élèves et enseignant-élèves ont un effet sur les prévisions et les observations faites par les élèves. L'objectif conceptuel de la séance réalisée est de faire repérer par les enfants qu'il existe pour les quatre situations proposées un invariant physique : l'eau est toujours au même niveau dans les deux vases à travers l'expérience des vases communicants. Les élèves vont devoir faire des prévisions et des observations à partir de 4 dispositifs sur le niveau. Le dispositif 1 correspond à la situation la plus simple, les deux vases étant au même niveau. La seule difficulté est pour les élèves d'admettre la possibilité pour l'eau de remonter dans le vase où on ne verse pas d'eau. Les dispositifs 2 et 3 placent les élèves face à l'obstacle constitué par la différence de niveau des deux vases. Le dispositif 3 est la situation inverse au dispositif 2 et doit permettre de constater si les enfants ont construit une connaissance à partir du dispositif 2. Le dispositif 4 doit mettre en évidence le caractère opératoire de la connaissance construite par les enfants au cours de la séquence.

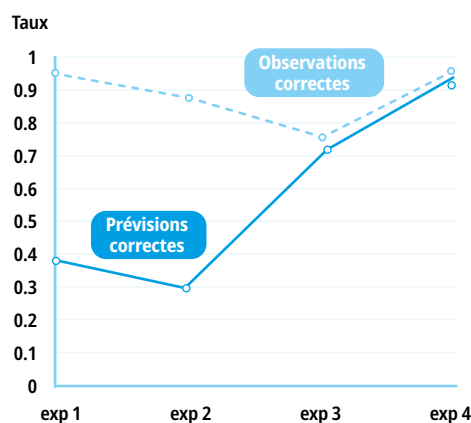


L'observation est-elle un acte passif ?

Une partie des enfants font une prévision incorrecte et arrêtent l'eau au point le plus bas du dispositif (*voir dessin*). Au cours de l'entretien avec les chercheurs, ils indiquent que l'eau n'est « pas obligée » de remonter. Quand ils conçoivent qu'elle puisse remonter du côté où on ne l'a pas versée, c'est souvent à un niveau inférieur au niveau atteint du côté où l'eau a été versée. Le dispositif met en évidence la résistance des conceptions (*voir glossaire à « conception et obstacle »*). En effet, quand l'enseignant réalise les quatre dispositifs, les élèves refusent d'admettre que l'eau soit au même niveau des deux côtés du dispositif, certains soupçonnant même l'enseignant d'avoir triché. Le dispositif est réalisé dans deux classes avec des modalités de travail différentes. Dans la première classe, les élèves font individuellement les prévisions et les observations des quatre dispositifs successivement. Dans la deuxième classe, les élèves, après avoir fait des prévisions individuelles sur le résultat des expériences et avant de les observer, discutent entre eux et argumentent leurs prévisions. Les chercheurs constatent que les élèves, en l'absence de toute interaction, ne verront pas nécessairement la même chose alors qu'ils observent la même « réalité ». Le taux des observations correctes pour les expériences 2 et 3 dans la classe 1 est inférieur à 0,3 alors qu'il est au-dessus de 0,7 pour la classe 2 (*voir graphe ci-dessous*). L'élève sans interaction avec ses pairs ne voit pas ce qui est contraire à ses idées *a priori*. Ses conceptions contrôlent ses observations.



Résultats classe 1 sans débat



Résultats classe 2 avec débat

1.3 L'observation n'est pas un acte passif

L'observation et l'expérimentation ne garantissent pas que les élèves « voient » ce qui se passe réellement, même si les exemples montrent que les interactions entre pairs peuvent faire évoluer les observations individuelles. Le niveau empirique - les faits provenant d'observations ou d'expériences - ne va donc pas de soi. Il n'y a pas d'observation passive. Comme le rappellent Haéri et Roche (1999), le rapport à l'expérience ne saurait être naïf et c'est toujours au cœur d'un réseau de connaissances qu'un phénomène est repéré. Leurs conceptions amènent les élèves à « voir » ce qu'ils pensent et non ce que l'enseignant voudrait qu'ils voient. Ainsi, pour les élèves, une expérience ou une observation ne prouvera pas le modèle explicatif vers lequel l'enseignant veut les conduire. L'observation expérimentale ne peut être suffisante pour faire émerger le modèle dans une démarche purement inductive. Deux questions peuvent se poser alors : Comment faire observer les élèves ? Comment construire les modèles avec eux ? Dès lors la question devient : quelle démarche de modélisation adopter ?

2 : QUE FAIRE AVEC LES ÉLÈVES POUR OBSERVER ET CONSTRUIRE LE MODÈLE ?

Pour répondre à la première question, ce qui doit être observé peut être défini par le problème qui est posé et qui est au cœur des savoirs scientifiques. L'engagement des élèves va dépendre de la question initiale (ou situation de départ) qui doit être pertinente par rapport au savoir à construire. Pour cela, il faudra tenir compte des représentations des élèves. Un exemple autour du concept de masse volumique en collège est proposé pour illustrer ce point. Pour répondre à la deuxième question, en plus du problème demandé, le choix des tâches données aux élèves leur permettra, ou pas, d'entrer dans le processus de modélisation. Cela nécessite une analyse fine de la conceptualisation attendue. Des outils permettant d'analyser une démarche de modélisation sont proposés dans un deuxième exemple autour du concept de transformation chimique. De plus, comme indiqué précédemment, la construction du modèle ne peut se faire dans une démarche inductive, les modèles étant rarement issus de l'expérience. Un troisième exemple, portant sur l'introduction du modèle particulaire de la matière en début de cycle 4²,

2 Le cycle 4 en France regroupe les 2^e, 3^e et 4^e années du collège (de la 5^e à la 3^e)

propose une démarche d'aller-retour entre le modèle et les expérimentations. Les germes du modèle sont donnés aux élèves pour commencer à analyser des situations expérimentales qui permettent alors de faire évoluer les règles du modèle, et ainsi de suite.

2.1 Importance de la situation initiale : un exemple de travail sur la masse volumique au collège (Extrait de Laugier, 2004)

Dans la plupart des ouvrages scolaires de cycle 4 en France, le travail autour de la masse volumique proposé consiste à faire mesurer aux élèves (âge 14-15 ans) la masse d'un même volume de plusieurs liquides et de faire comparer les résultats obtenus en ramenant la mesure effectuée pour un litre de liquide. La conclusion est alors qu'il existe une grandeur caractéristique des espèces chimiques : la masse volumique. Laugier (2004) propose une séquence basée sur une démarche d'investigation (*voir glossaire*). Il s'appuie sur le fait que les élèves ont du mal à concevoir la grandeur qui se conserve au cours d'une dissolution. Il conçoit alors une situation qui doit poser problème aux élèves et qui permettra alors de montrer la nécessité de la grandeur de la masse volumique comme caractéristique de la matière.

► Situation initiale

L'énoncé de la situation initiale proposée aux élèves par l'enseignante dans la recherche effectuée est :

« Pour faire un sirop de sucre j'ai pesé 100 g de sucre, j'ai ajouté de l'eau, j'ai bien agité et j'ai obtenu 400 ml de solution. Mais voilà, je ne me rappelle plus combien j'ai dû ajouter d'eau aux 100 g de sucre pour obtenir 400 ml de solution. Cherchez en groupe comment vous pourriez déterminer la quantité d'eau qui a été nécessaire pour fabriquer 400 ml d'eau sucrée avec 100 g de sucre. »



Une liste du matériel disponible est fournie aux élèves. Ces derniers doivent proposer un protocole et le réaliser.

► **Réponse des élèves à la situation de départ**

Les élèves n'arrivent pas à résoudre la situation proposée par l'enseignant, faute de raisonner en termes de grandeurs conservées. La plupart des groupes vont raisonner au niveau du volume avec des propositions du type : le volume d'eau est égal au volume d'eau sucrée moins le volume de sucre.

► **Émission d'hypothèses et proposition du nouveau protocole**

La situation initiale permet donc d'amener le véritable problème que l'enseignant peut maintenant construire avec les élèves à partir d'un débat : qu'est-ce qui se conserve lors d'une dissolution ? Certains élèves vont alors émettre l'hypothèse que c'est la masse qui se conserve et proposent un nouveau protocole :

- déterminer par la pesée la masse des 400 mL d'eau sucrée et la masse des 100 g de sucre ;
- calculer la masse d'eau nécessaire pour préparer les 400 mL d'eau sucrée (masse pesée moins la masse des 100 g de sucre) ;
- en déduire le volume d'eau nécessaire à partir de la masse volumique de l'eau.

2.2 Former à une démarche de modélisation : un exemple autour de la transformation chimique (extrait de Bouard & al., 2022)

2.2.1 1^{ère} étape : Construction des critères du modèle adaptés à la situation analysée

La première étape du travail consiste à repartir des critères généraux d'un modèle (*voir glossaire*) pour les décliner dans le domaine scientifique étudié. La construction de cette grille avec les enseignants doit leur permettre de clarifier ce que l'on peut faire travailler aux élèves dans une démarche de modélisation.

Dans le cas de l'étude des transformations chimiques, la réaction chimique, symbolisée par son équation, est considérée comme le modèle macroscopique permettant d'interpréter le passage d'un état initial, contenant les réactifs et les espèces spectatrices, à un état final contenant entre autres les produits issus de la transformation chimique (Kermen, 2018). Il s'agit dans ce cas d'un modèle scolaire dont un des objectifs est d'éviter la confusion entre l'état initial du système chimique et la partie gauche de l'équation chimique et l'état final du système chimique et la partie droite de l'équation chimique (voir le paragraphe sur les conceptions des élèves en chimie). La transposition des critères généraux du modèle vers celui de la réaction chimique donne le tableau ci-dessous.

Que faire avec les élèves pour observer et construire le modèle ?

Caractéristiques générales d'un modèle

Transposition à la réaction chimique (caractéristiques spécifiques)

Lien modèle – phénomène modélisé	
Il est le modèle d'un phénomène	La réaction chimique modélise la / des transformation(s) chimique(s), ces deux concepts sont distincts.
Il laisse certains aspects du réel de côté	Des aspects sont explicitement non pris en compte (variation des paramètres physiques, descriptions phénoménologiques...).
Pluralité	
Il modélise plusieurs phénomènes et possède un caractère unificateur	La réaction modélise les transformations de systèmes dont les états initiaux et finaux diffèrent mais dont le devenir de certaines espèces toujours présentes à l'état initial est similaire.
Un phénomène peut être modélisé par plusieurs modèles	Les modifications chimiques obtenues lors d'une expérience peuvent être modélisées autrement que par la réaction chimique (modèle cinétique submicroscopique).
Efficacité	
Il peut être symbolisé	L'équation symbolise la réaction. Elle contient de nombreuses informations.
Il a un caractère explicatif	La réaction permet d'expliquer des observations qualitatives à partir de la nature des espèces mises en jeu ou quantitatives à partir de la stœchiométrie.
Il a un caractère prédictif	La réaction permet de prévoir des observations qualitatives à partir de la nature des espèces mises en jeu ou quantitatives à partir de la stœchiométrie.
Localité	
Il a un domaine de validité	Une réaction ne modélise que des transformations où l'un des réactifs au moins disparaît et pour des systèmes de composition qualitative similaire.

D'après Bouard & al. (2022)

Boîte à outils pour le formateur

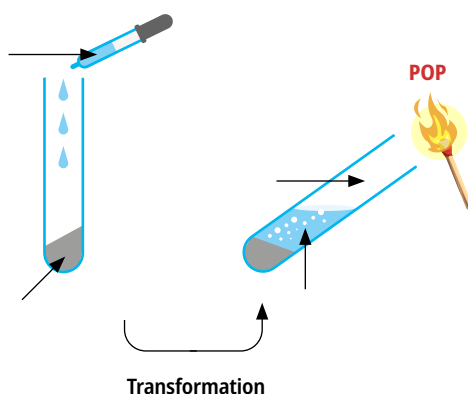
Cette grille peut être utilisée pour analyser des séances issues d'ouvrages scolaires ou réalisées par les enseignants eux-mêmes. Construire la grille avec les enseignants pour leur faire analyser ensuite leurs propres pratiques permet de se placer dans leur zone proximale de développement comme professionnel (voir paragraphe sur l'analyse des pratiques enseignantes) pour favoriser dans la dernière étape : l'évolution des pratiques. Cette grille est aussi un outil pour permettre aux enseignants de faire des choix sur les caractéristiques d'un modèle à faire travailler aux élèves. On ne peut en effet travailler au cours d'une séance toutes les caractéristiques. Cela doit se faire au fil des séances traitées dans une année scolaire en fonction du thème travaillé.

2.2.2 2^e étape : analyse d'une séance

Dans cette étape, l'analyse peut porter sur une séance réalisée par les enseignants eux-mêmes ou extraite d'un ouvrage scolaire. L'exemple présenté ci-après est issu d'un travail de recherche (Bouard et *al.*, 2022). L'extrait de la séance de travaux pratiques à analyser concerne la transformation chimique entre le zinc et l'acide chlorhydrique.

Extrait de la séance à analyser
Transformation chimique entre le zinc et l'acide chlorhydrique

- ▶ Placer, dans un tube à essai, un morceau de grenaille de zinc de formule chimique Zn .
- ▶ Ajouter 2 mL d'acide chlorhydrique contenant des ions de formule chimique H^+ et boucher rapidement (il faut maintenir le bouchon).
- ▶ Attendre quelques instants puis approcher une allumette enflammée à l'extrémité du tube. Observer.
- ▶ Une fois l'effervescence arrêtée, verser quelques gouttes d'une solution contenant des ions hydroxyde (solution de soude). Observer.



- 1 Noter les observations.
- 2 Légender le schéma de l'expérience de la transformation chimique entre le zinc et l'acide chlorhydrique.
- 3 Au cours de cette transformation, quelles espèces chimiques ont « disparu » (les réactifs) ? Quelles espèces chimiques sont apparues (les produits) ?
- 4 Écrire l'équation de la réaction chimique associée à cette transformation chimique et l'ajuster.

Les documents ci-dessous sont mis à disposition des élèves :

- Doc 1** La liste du matériel mis à disposition
- Doc 2** Les règles de sécurité à respecter lors des expériences à réaliser
- Doc 3** Les tests d'identification du dioxyde de carbone et du dihydrogène
- Doc 4** Les tests d'identification des ions Zn^{2+} et Ca^{2+}

Boîte à outils pour le formateur

Pour analyser la séance, les enseignants en formation peuvent :

- Analyser les tâches proposées afin de repérer les difficultés prévisibles que les élèves risquent de rencontrer, en tenant compte des connaissances et savoir-faire nécessaires pour les réaliser.
- Établir, pour chaque caractéristique du modèle transposée à la réaction chimique (voir première grille), des indicateurs *a priori*. Ces indicateurs doivent être centrés sur l'identification des actions possibles de l'enseignant pour repérer et accompagner la démarche de modélisation mise en œuvre.

Que faire avec les élèves pour observer et construire le modèle ?

► Exemples d'indicateurs pour la caractéristique : « La réaction chimique modélise la/des transformation(s) chimique(s), ces deux concepts sont distincts »

Ce travail doit à nouveau être réalisé avec l'ensemble des enseignants en formation. La construction d'indicateurs précis d'action pour l'analyse de la séance doit favoriser l'évolution des pratiques des enseignants autour de l'activité de modélisation en classe.

Caractéristiques générales d'un modèle	Transposition à la réaction chimique (caractéristiques spécifiques)	Indicateur pour la séance
Il est le modèle d'un phénomène	La réaction chimique modélise la / des transformation(s) chimique(s), ces deux concepts sont distincts	Annoncer la construction d'un modèle
		Faire des allers et retours entre modèle en construction et bilans expérimentaux
		Utiliser le terme réaction comme le modèle de la transformation chimique ³
		Faire établir la liste des réactifs
		Faire établir la liste des produits
		Faire établir la liste des espèces spectatrices
		S'appuyer sur des principes théoriques pour étayer ou écarter des propositions
		Faire établir un lien (approximatif) entre des quantités de matière pertinentes dans une transformation
		Faire utiliser la conservation des éléments chimiques pour ajuster l'équation de réaction

D'après Bouard & *al.* (2022)

La grille d'analyse complète proposée dans l'article de Bouard et *al.* (2022) est constituée de 44 indicateurs pour l'ensemble des critères de modélisation.

³ Dans le programme de 2^{nde} en France, la réaction chimique est ce qui modélise la transformation chimique

► **Analyse du protocole**

L'analyse du document préparé par l'enseignant donne :

Tâche (ce que l'élève doit faire)	Connaissance et savoir-faire devant être mobilisés par les élèves pour réaliser la tâche et pouvant éventuellement entraîner des difficultés	Critères du modèle mobilisés (à partir des indicateurs repérés)
Le protocole : - Suivre des consignes - Lire de l'information	- Connaître l'équivalence mL-gouttes. Verser un nombre de gouttes donné. Maintenir le bouchon sur le tube et le retirer au bon moment pour réaliser le test de flamme. Être capable de ne verser que quelques gouttes de soude. - Respecter les règles de sécurité données dans les documents mis à disposition.	Aucun
Question 1 : Noter les observations	Comprendre ce qu'il faut observer en faisant la différence entre ce qui est issu de la transformation chimique (les bulles) et ce qui est issu des tests (le bruit à l'approche de l'allumette enflammée et l'obtention d'un précipité après ajout de soude).	Aucun
Question 2 : - Légender un schéma. - Rechercher de l'information	- Changer de registre sémiotique en passant d'un protocole écrit à un schéma. - Identifier la transformation chimique étudiée et les tests chimiques dans le schéma. - Retrouver dans les documents ceux décrivant les tests pour identifier les espèces chimiques formées.	Aucun
Question 3 : Identifier les réactifs et les produits	Connaître les termes « réactif » et « produit ». Identifier les réactifs à partir de leur disparition. Or ce phénomène n'est pas possible à observer. Identifier les produits à partir de leur formation. Il faut alors comprendre que les tests identifient les espèces chimiques formées.	Il est le modèle d'un phénomène
Savoir écrire une équation chimique à partir de la liste des réactifs et produits	- Connaître les lois de conservation (élément-charge) - Connaître l'écriture symbolique d'une équation.	Il peut être symbolisée

Que faire avec les élèves pour observer et construire le modèle ?

► Difficultés prévisibles des élèves dans le travail demandé :

La transformation chimique n'est pas identifiée explicitement dans le protocole : les 4 étapes du protocole sont au même niveau alors qu'il y a deux étapes pour la transformation et deux étapes pour les tests.

Même si les élèves parviennent à distinguer la transformation des tests, ils devront ensuite comprendre que ces derniers servent à identifier les produits formés au cours de la transformation.

Il est probable que les élèves ne parviennent pas à lister seuls les réactifs : en effet, du zinc reste présent à la fin de la transformation et l'observation du liquide ne permet pas d'identifier le deuxième réactif (les ions H^+). La disparition des réactifs est donc non observable directement au cours de l'expérience.

► Critères de la modélisation mobilisés pendant la séance

Les critères travaillés au cours de la séance sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Critères du modèle	Ce qui est fait dans la séance proposé à partir des indicateurs repérés
Il est le modèle d'un phénomène.	La transformation est décrite en faisant établir la liste des réactifs et des produits mais il n'y a pas de passage explicite au modèle.
Il laisse certains aspects du réel de côté.	Non précisé (notamment les spectateurs Cl^- et H_2O)
Il possède un caractère unificateur.	Non traité
Il peut être symbolisé.	Équation qui est l'objectif final de la séance.
Il possède un caractère explicatif.	Non utilisé
Il possède un caractère prédictif.	Non utilisé
Il a un domaine de validité.	Non précisé

Les étapes d'identification de la transformation chimique et de la modélisation sont seulement implicites dans la démarche proposée aux élèves. Aucun passage dans les tâches ne permet de passer du fait expérimental au modèle. Il y a bien une phase d'observation mais celle-ci ne conduit pas explicitement à l'identification des espèces chimiques formées. Les termes « état initial » et « état final » ne sont pas cités. Les expressions « transformation chimique » et « réaction chimique » sont essentiellement utilisées dans les titres tandis que le mot « modèle » n'est pas mentionné. Les aspects du réel mis de côté, le domaine de validité et le caractère explicatif du modèle ne sont pas abordés. Si l'objectif de l'enseignante est d'aboutir à l'équation de réaction, alors ces critères ne sont effectivement pas nécessaires.

2.2.3 3^e étape : proposition de modification du protocole

La modification du protocole peut être réalisée en choisissant les critères du modèle à faire travailler aux élèves, puis en proposant un nouveau protocole adapté.

► **Exemple des critères à travailler :**

- Il est le modèle d'un phénomène : les premières questions doivent permettre d'identifier la transformation chimique à laquelle on associe ensuite un modèle de réaction (questions de 1 à 5 et 7)
- Il a un caractère prédictif : le modèle donné doit permettre d'identifier le deuxième produit formé et de choisir le test pour faire la vérification (question 6).

Proposition de modification du protocole
pour travailler les deux critères choisis :
**Y a-t-il transformation chimique quand on mélange
de la grenaille de zinc avec une solution
d'acide chlorhydrique ?**

Documents fournis aux élèves :

- composition chimique des différentes solutions utilisées ;
- ensemble de tests gaz (dont celui de O₂) et espèces ioniques ;
- matériel et règles de sécurité.

Protocole donné aux élèves : Réaliser un mélange de zinc solide avec l'acide chlorhydrique. Pour cela, placer dans un tube à essai un morceau de grenaille de zinc et ajouter 2 mL de solution d'acide chlorhydrique. Répondre aux questions.

1. Noter ce qui se passe. (*Réponse attendue : un dégagement gazeux ou la formation de bulles*).
2. Que devez-vous vérifier pour montrer qu'il se produit une transformation chimique ? (*Réponse attendue : que le gaz formé n'est pas présent à l'état initial*).
3. En vous aidant des documents, lister les espèces chimiques présentes à l'état initial. (*Réponse attendue : $H^+(aq)$, H_2O , $Cl^-(aq)$, $Zn(s)$*).
4. En utilisant la conservation des éléments chimiques, faire des hypothèses sur le gaz qui se forme et proposer un test pour vérifier vos hypothèses à partir des documents fournis. (*Réponse attendue : à partir de la conservation des éléments chimiques, le gaz possible formé pourrait être H_2 ou O_2 – Le test à la flamme doit confirmer la formation de H_2*).
5. Conclure sur le fait d'avoir une transformation chimique entre le zinc et l'acide chlorhydrique. (*Réponse attendue : il y a apparition d'une nouvelle espèce chimique H_2 donc on a bien une transformation chimique*).
6. On propose la réaction chimique suivante pour modéliser les transformations chimiques entre le zinc et l'acide chlorhydrique : le solide $Zn(s)$ réagit avec l'espèce ionique en solution $H^+(aq)$ pour donner l'espèce ionique en solution $Zn^{2+}(aq)$ et le gaz $H_2(g)$. À l'aide des documents initiaux, proposez un test qui doit permettre de valider ce modèle. (*Réponse attendue : test des ions Zn^{2+}*). Réalisez le test et concluez (*Réponse attendue : le test est positif. Il se forme bien des ions Zn^{2+} ce qui semble valider le modèle proposé*).
7. Décrire alors complètement l'état final de la transformation chimique en indiquant les réactifs encore présents, les produits et les espèces spectatrices. (*Réponse attendue : les élèves ont observé qu'il reste du zinc. Donc ils doivent conclure qu'il n'y a plus de H^+ à l'état final. Produits formés : $H_2(g)$ et $Zn^{2+}(aq)$. Espèces spectatrices par rapport à la réaction : $Cl^-(aq)$ et l'eau*).

2.2.4 4^e étape : retour des enseignants après réalisation du protocole modifié

La dernière étape de la formation consiste à recueillir un retour des enseignants après la mise en œuvre du protocole modifié dans leur classe.

► Remarque pour une analyse complète des pratiques

L'étude présentée dans ce paragraphe met en lumière la composante cognitive des pratiques de l'enseignant au moment de l'introduction de la réaction chimique en mettant en évidence la démarche de modélisation proposée à partir de l'analyse des tâches données aux élèves dans le protocole. Pour une analyse complète des pratiques dans le cadre de la DADE (voir paragraphe « Partir des pratiques pour former »), on peut compléter l'analyse précédente par celle de la séance effective, observée ou filmée, et par des entretiens pré et post séances avec l'enseignant. La séance effective permet d'accéder à la composante médiative (organisation du travail et interventions de l'enseignant). Elle permet d'affiner l'analyse initiale de la composante cognitive à partir des modifications éventuelles des tâches apportées par l'enseignant au cours de la séance. Les entretiens aident à mieux comprendre les choix de l'enseignant et à approcher les composantes personnelle et sociale. L'entretien pré-séance permet d'interroger l'enseignant sur le choix des tâches proposées *a priori* et ses objectifs d'apprentissage. L'entretien post-séance peut porter sur les ajustements réalisés par l'enseignant au cours de la séance et ceux envisagés pour une future reprise. Si la séance est filmée, il devient possible d'analyser avec l'enseignant certains passages clés. Dans l'exemple étudié, l'enregistrement de la séance met en évidence la difficulté des élèves à identifier les réactifs à partir de la manipulation, ainsi que l'incapacité de l'enseignant à les accompagner efficacement.

2.3 Aller-retour Modèle – Expérimentation : un exemple autour de l'élaboration du modèle particulaire (Extrait de Chomat & al., 1988)

« Les idées des élèves sur la nature et les propriétés des particules du niveau atomique ne sont pas des abstractions de leurs propres expériences directes des phénomènes » (Taber, 2008, p. 1041). En chimie, les entités explicatives conceptualisées, leurs propriétés, leurs relations et leurs interactions se situent au niveau subatomique (atome, molécule, ion). Elles ne sont pas observables et les apprenants n'ont aucune chance d'acquérir une expérience directe avec elles qui puisse servir de base pour induire des modèles mentaux, les tester ou les affiner. Le modèle n'émergeant pas de l'expérience, les élèves ne

peuvent pas la construire seuls. L'hypothèse de Chomat et *al.* (1988) est de proposer aux élèves de 14-15 ans un germe du modèle et de l'enrichir, par un processus d'aller-retour entre le monde empirique et le monde théorique. Les élèves vont enrichir le modèle de nouvelles propriétés en recherchant les relations sémantiques entre les deux mondes.

Les germes du modèle donnés aux élèves sont :

- **P1** Une particule ne se coupe pas.
- **P2** Une particule garde les mêmes dimensions.
- **P3** Une particule garde la même masse.
- **P4** Une particule ne se déforme pas.

L'objectif de la séquence est de faire construire les propriétés suivantes :

- **P5** Il n'y a rien (du vide) entre les particules
- **P6** le nombre de particules représentent la quantité de gaz
- **P7** un mélange est représenté par plusieurs types de particules
- **P8** les particules de gaz sont en mouvement
- **P9** les particules sont plus ou moins libres de se déplacer les unes par rapport aux autres

2.3.1 Expérience proposée pour construire **P5** et **P6**

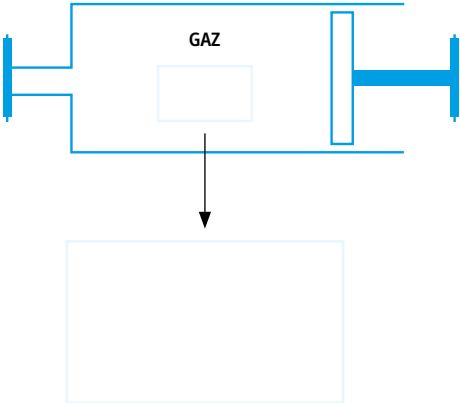
L'enseignant réalise l'expérience suivante : il enfonce une seringue bouchée à une extrémité contenant un gaz coloré. Il échange avec les élèves pour choisir les observations qui seront modélisées :

- le volume de gaz diminue ;
- la nature du gaz ne change pas ;
- la masse de gaz ne change pas ;
- on peut encore comprimer le gaz en poussant plus fort.

Que faire avec les élèves pour observer et construire le modèle ?

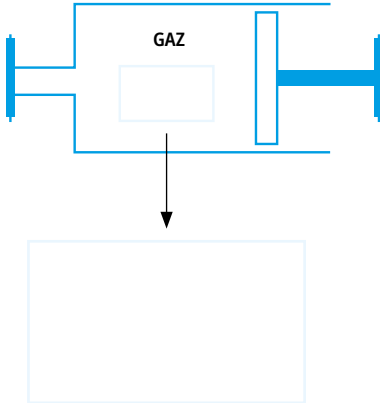
Puis les élèves doivent représenter dans les cases ci-dessous les particules qui constituent le gaz en respectant les observations et les propriétés initiales du modèle.

Situation 1



Représentation des particules situation 1

Situation 2



Représentation des particules situation 2

La difficulté pour les élèves est de ne pas faire varier la taille des particules pour rester cohérent avec le modèle. Ils doivent conserver le même nombre de particules (masse inchangée) et maintenir du vide entre elles (gaz encore compressible), pour rester en accord avec l'expérience.

Les élèves débattent ensuite à partir de leurs dessins et doivent élaborer les correspondances entre le monde empirique (un gaz peut être comprimé) et le modèle particulaire initial :

- la matière est constituée d'un ensemble de particules ;
- la compressibilité d'un gaz est due aux distances non nulles et modifiables entre les particules.

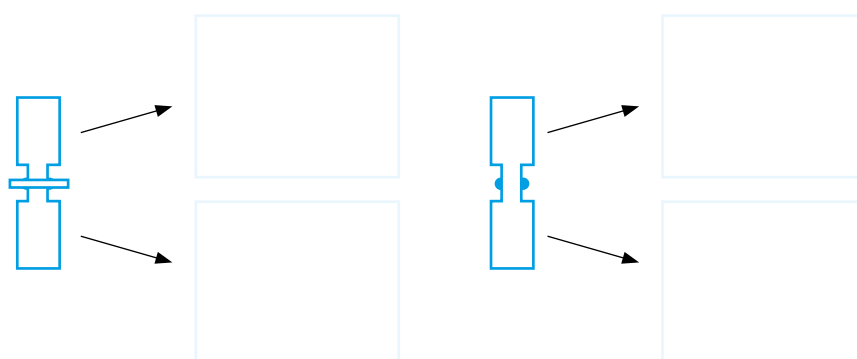
La conclusion attendue – l'espace entre les particules sur le dessin correspond à du vide – reste cependant difficile à atteindre, car elle entre en contradiction avec les représentations initiales des élèves sur la matière.

2.3.2 Construction de P7, P8 et P9

La démarche reste identique pour construire les autres propriétés.

Pour P7, on propose aux élèves un document sur l'air indiquant que cela correspond à un mélange de deux gaz : 4/5 de gaz azote⁴ et 1/5 de gaz oxygène. Ils doivent alors à nouveau faire un schéma dans un case des particules pour représenter l'air. Leur schéma doit alors respecter la cohérence avec le monde empirique, la composition de l'air - deux gaz et des proportions respectées – tout en gardant la cohérence avec le modèle – espace vide entre les particules et un nombre de particules qui représente la quantité de gaz.

Pour P8 et P9, on présente aux élèves deux récipients l'un placé au-dessus de l'autre avec une séparation entre les deux (schéma ci-dessous). Le récipient du bas contient un gaz roux. Le récipient du haut contient de l'air. Après retrait de la séparation, les élèves doivent observer que le gaz roux occupe tout l'espace disponible. Les élèves doivent alors faire l'hypothèse que c'est aussi le cas pour l'air et doivent faire leur schéma en respectant les quantités et les proportions des trois gaz.



La séance peut s'achever en faisant exploiter aux élèves d'utiliser le modèle enrichi de l'ensemble de ses propriétés pour interpréter et prédire de nouveaux faits expérimentaux, tels que :

- les liquides et les solides sont peu compressibles
- on peut se sentir un parfum après ouverture d'un flacon même si on est éloigné

On peut prolonger le modèle, par exemple en introduisant un lien entre la température et la vitesse des particules et appliquer cela aux changements d'état.

4 Les élèves ne connaissant pas encore la constitution des molécules de ces deux gaz, les noms courants, gaz azote et gaz oxygène, sont préférables aux noms scientifiques diazote et dioxygène.

RÉFÉRENCES :

- Bouard, R., Canac, S., & Kermen, I.** (2022). Modélisation des transformations chimiques : mise en regard d'un programme et de pratiques enseignantes. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 25, 69-100.
- Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M.** (1988). Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, 7, 143-184.
- Haéri, G., & Roche, B.** (1999). *Introduction à la philosophie des sciences : thèmes et sujets*. Presses Universitaires de France.
- Kermen, I.** (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Laugier, A.** (2004). La démarche d'investigation au collège : du déjà vu ou une (R)évolution annoncée ? *Bulletin de l'Union des physiciens*, 98(866), 1043-1056.
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, 22, 69-97.
- Laugier, A., & Lefèvre, R.** (1993). Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen. *Aster*, 143-169.
- Richoux, H., Saint-Georges, M., & Simon, C.** (2005). Analyse de pratique : un cédérom pour la formation des enseignants de physique-chimie. Paris : *INRP*.
- Orange, C.** (2012). *Enseigner les sciences : Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. Bruxelles : De Boeck (Pédagogie et Formation).
- Soler, L.** (2019). *Introduction à l'épistémologie (3^e éd.)*. Paris : Ellipses.
- Talenti, A., Kermen, I., & Canac, S.** (2023). Introduction à l'idée de transformation chimique par la réalisation de mélanges en classe de sixième. *Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 117(1057), 795-809.
- Taber, K. S.** (2008). Conceptual resources for learning science : Issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1027-1053.

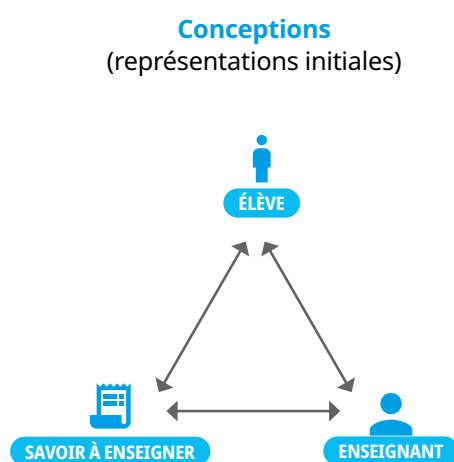
CHAPITRE

4

**LES CONCEPTIONS
OU REPRÉSENTATIONS
INITIALES DES ÉLÈVES
QUI FONT OBSTACLE
À L'APPRENTISSAGE**

« J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres, ne comprennent pas que l'on ne comprenne pas. Peu nombreux sont ceux qui ont creusé la psychologie de l'erreur, de l'ignorance et de l'irréflexion... Les professeurs de sciences imaginent que l'esprit commence comme une leçon, qu'on peut refaire une culture nonchalante en redoublant une classe, qu'on peut faire comprendre une démonstration en la répétant point par point. Ils n'ont jamais réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées. » (Bachelard, 1967, p. 21)⁵.

Les premiers travaux dans la recherche en didactique des sciences ont cherché à comprendre pourquoi un élève ne comprend pas, ce que les chercheurs ont désigné par conceptions ou représentations initiales⁶. Dans le cadre du triangle didactique, la connaissance de ces conceptions constitue un incontournable dans la formation des enseignants de sciences car elles sont souvent à l'origine des obstacles à l'apprentissage. Connaître ces représentations initiales doit permettre aux enseignants, comme l'indique Bachelard, de comprendre les raisons de l'incompréhension des élèves mais aussi de les outiller pour l'élaboration des tâches qui leur seront proposées, notamment celles permettant de créer une situation-problème⁷.



⁵ Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance* (5^e édition). Paris : Librairie philosophique J.VRIN.

⁶ Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance* (5^e édition). Paris : Librairie philosophique J.VRIN.

⁷ Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance* (5^e édition). Paris : Librairie philosophique J.VRIN.

1 | EXEMPLES DE CONCEPTIONS REPÉRÉES EN PHYSIQUE

Quatre domaines ont été particulièrement étudiés en physique : la mécanique, l'électricité, l'optique et les ondes. La plupart de ces travaux ont été repris dans deux ouvrages de référence :

1.1 Mécanique

1.1.1 Changement de référentiel

Les étudiants n'utilisent quasiment jamais de façon spontanée le référentiel. Il existe une vitesse « absolue » ou « vraie » (par exemple celle communiquée par le moteur) et une vitesse apparente. Le mouvement (propre) et l'immobilité sont des grandeurs intrinsèques et non définies par rapport au référentiel, ce qui implique par ailleurs une non-équivalence entre le mouvement et le repos. De même, la trajectoire est intrinsèque et ne se transforme pas lorsque l'on change de référentiel. Ainsi, les élèves refusent par exemple de considérer que l'affiche collée au mur puisse être « en mouvement » vue par un observateur sur un tapis roulant : pour eux, il ne s'agit que d'apparences et non d'un mouvement réel.

On observe aussi une confusion entre la distance instantanée qui sépare deux points repérés au même instant et la distance parcourue ou distance séparant deux points repérés à deux instants différents. Quand on propose la situation suivante aux étudiants : une personne A est immobile au bord du lac, une personne B est immobile dans un bateau se déplaçant parallèlement à la rive ; B lance un caillou sur A et A lui renvoie, de nombreux étudiants expliquent que la distance parcourue par le caillou est différente.

La vitesse est une propriété de l'objet et la vitesse d'entraînement disparaît avec le lien qui l'assure. Quand on demande où retombe la balle lancée vers le haut par un personnage sur un tapis roulant en fonctionnement, la majorité des élèves répond « en arrière » expliquant que l'objet n'a plus de lien physique avec le tapis roulant et qu'il perd instantanément sa vitesse lorsqu'il quitte le tapis roulant.

1.1.2 2^e et 3^e lois de Newton

Les recherches mettent en évidence plusieurs conceptions récurrentes :

- Les élèves attribuent des forces aux objets eux-mêmes (« la force de... ») plutôt qu'à une action exercée sur eux.
- Ils associent systématiquement un mouvement à une force dans la même direction, et l'immobilité à une absence de forces (ou à des forces qui s'annulent).

La notion de « capital force » correspond à l'idée de stockage et de décalage temporel entre cause et effet. Elle correspond à un usage indifférencié des termes « force », « élan », « vitesse », « énergie », « inertie ». Le « capital force » serait une notion mixte, mi scalaire (comme un capital, de l'énergie), mi vectorielle (comme la force et la vitesse), comparable à l'impétus des théories prégaliléennes (expliquer le mouvement par une cause inhérente au mobile). Si un mouvement est là, il faut lui trouver une cause. Des étudiants expliquent le mouvement d'une balle lancée verticalement en indiquant que la balle a une force vers le haut qui lui permet de monter, que cette force va diminuer de plus en plus et que la balle va redescendre au moment où elle perd toute sa force de propulsion.

Le bilan entre l'action et la réaction dépend de l'évolution des systèmes étudiés. Si les systèmes sont immobiles, l'action et la réaction se compensent. Mais si les systèmes se déplacent, alors la force ayant le même sens que le déplacement l'emporte. Quand on demande :

- si l'action d'un conducteur qui pousse sa voiture en panne est égale à la réaction de cette voiture sur le conducteur, la réponse fréquente est qu'elle est supérieure à la réaction de la voiture puisque celle-ci avance ;
- ou comment expliquer qu'un clou rentre dans une planche quand on tape avec un marteau, une explication très courante consiste à affirmer que le clou pousse plus fort que la planche ne résiste.

1.1.3 Les forces de frottement

L'étude des raisonnements des élèves à propos des forces de frottement indiquent que ces derniers ne les conçoivent que comme s'opposant au mouvement.

RÉFÉRENCES À PROPOS DES CONCEPTIONS
DES ÉLÈVES EN ÉLECTRICITÉ

- Caldas, H., & Saltiel, É.** (1995). Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 6(1), 55-71.
- Maury, L., Saltiel, É., & Viennot, L.** (1977). Étude de la notion de mouvement chez l'enfant à partir des changements de référentiels. *Revue française de pédagogie*, 15-29.
- Saltiel, É.** (1978). *Concepts cinématiques et raisonnements naturels : étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences* [Thèse de doctorat, Université Paris VII].
- Saltiel, É., & Malgrange, J. L.** (1979). Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 616, 1325-1355.
- Viennot, L.** (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue française de pédagogie*, 16-24.
- Viennot, L.** (1996). *Raisonnement en physique : La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.

1.2 Électricité

1.2.1 Un seul fil puis des courants antagonistes

Chez les enfants, avant enseignement, un seul fil suffit à amener le courant. Puis, dans les premières années d'enseignement, apparaît l'idée de courants antagonistes : deux courants circulent l'un vers l'autre, empruntant chacun un des fils ; leur rencontre permet d'allumer l'ampoule.

1.2.2 La métaphore du fluide en mouvement

Le courant électrique est un fluide circulant dans des tuyaux, à la fois matériel et énergétique. Ce fluide « sort de la pile » et s'épuise peu à peu dans le circuit. Il est consommé sous son aspect énergétique mais conservé sous son aspect matériel. Ainsi, lorsqu'on montre à des élèves en début de collège que deux ampèremètres de part et d'autre d'une ampoule mesurent la même chose, ils jugent cela impossible rejetant ou contestant l'observation expérimentale. Pour eux, il est inconcevable que l'énergie transmise à l'ampoule ne s'accompagne pas d'une disparition d'une partie du fluide.

1.2.3 Absence de la notion de tension et générateur à courant constant

Élèves et étudiants raisonnent en courant. La différence de potentiel (ddp) apparaît comme une grandeur non pertinente, difficile à relier aux autres grandeurs physiques et peu opérationnelles. La ddp n'est envisagée qu'en deux points du circuit lorsqu'existe une dissymétrie de signe, comme pour le générateur.

La pile est considérée comme un générateur à courant constant, qui se répartit dans les différentes branches du circuit, quel qu'il soit. Quand on demande à des étudiants de comparer la brillance d'ampoules identiques entre deux montages (montage 1 : une ampoule et un générateur ; montage 2 : deux ampoules en parallèle et le même générateur), moins de 30% des réponses, jusqu'au niveau licence, sont correctes. La majorité affirme que les deux ampoules en parallèle brillent moins fort que l'ampoule seule, appliquant un principe implicite de conservation du courant. Différentes explications sont données pour expliquer cette persistance chez les étudiants :

- beaucoup d'exercices sont donnés où le courant débité par la pile est donné ;
- l'unicité du courant conduit les élèves à supposer qu'il est constant ;
- les enseignants privilégient une approche centrée sur le courant plutôt que sur la tension ;
- le récepteur est souvent vu comme un obstacle au passage du courant.

1.2.4 Le raisonnement séquentiel (cohérent avec la notion de fluide)

Les élèves et les étudiants font une lecture séquentielle, et non systémique, du circuit dans le sens du courant. Il existe un amont et un aval que le courant découvre au fur et à mesure de sa progression. Ce raisonnement, particulièrement résistant à l'enseignement, se retrouve renforcé par la métaphore du fluide en mouvement ou analogie hydraulique. Dans l'exemple ci-dessous, les deux ampoules étant identiques, la moitié des élèves du secondaire ou des étudiants de 1^{ère} année universitaire répondent que l'ampoule 1 brille plus fort que 2 et que si R augmente seule l'ampoule 2 brillera moins fort, avec des réponses du type : pour atteindre l'ampoule 2, le courant doit franchir la résistance, perdra de son énergie et l'intensité sera plus faible ou, la résistance étant placée après l'ampoule 1, elle n'intervient pas sur son intensité. Même quand les étudiants finissent par répondre correctement à cette situation, le raisonnement séquentiel persiste quand on leur présente des situations non familières, par exemple en remplaçant la résistance par une boîte noire. Par exemple, des étudiants expliquent que 2 ne brillera pas de la même façon si on place un générateur ou un condensateur dans la boîte noire.

RÉFÉRENCES À PROPOS DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES EN ÉLECTRICITÉ

- Benseghir, A., & Closset, J.-L.** (1993). Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique : points de vue historique et didactique. *Didaskalia*, 2(1), 31-47.
- Closset, J.-L.** (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 931-948.
- Closset, J.-L.** (1992). Raisonnements en électricité et en hydrodynamique. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 14(1), 143-155.
- Closset, J.-L., & Viennot, L.** (1984). Contribution à l'étude du raisonnement naturel en physique. *Communication. Information Médias Théories*, 6(2), 398-420.
- Couchouron, M., & Viennot, L.** (2000). Les intentions didactiques manifestées dans les programmes d'électricité de 1993, classe de quatrième : mise en œuvre d'un outil pour en évaluer l'impact sur les acquis des élèves / Evaluating the effects of a new syllabus in electricity in grade 8. *Didaskalia*, 16(1), 57-80.
- Johsua, S.** (1988). Le schéma électrique : aspects perceptifs, aspects conceptuels. *Bulletin de psychologie*, 41(386), 687-693.

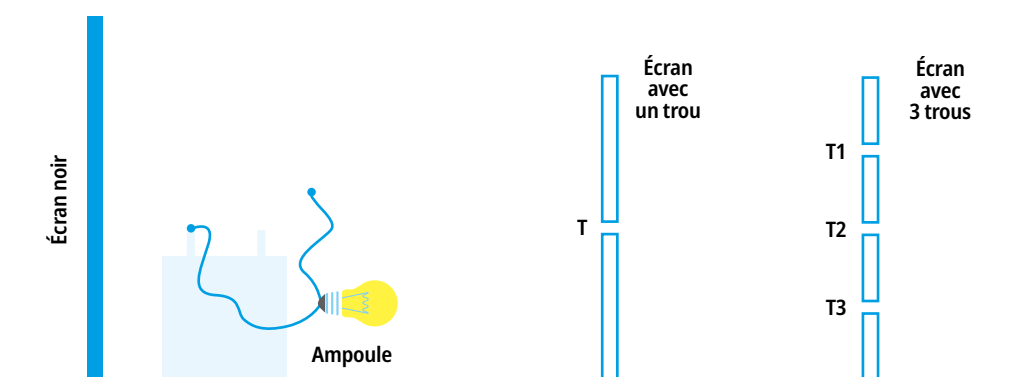
1.3 Optique L'image est conçue comme déjà formée à l'origine et se déplaçant « en bloc »

1.3.1 Lumière et vision

Avant tout enseignement, le schéma explicatif du physicien est très minoritaire. La plupart des enfants n'introduisent aucun médiateur entre l'œil et l'objet. La lumière est reconnue comme un facteur nécessaire à la vision, mais elle n'intervient que pour éclairer l'objet ou constituer un bain ambiant. Même après plusieurs années d'enseignement, la propagation rectiligne de la lumière et la nécessité de recevoir la lumière dans l'œil ne constituent pas des lois contraignantes pour le raisonnement. Le rayon lumineux n'est toujours pas perçu comme un modèle de représentation mais comme un objet matériel. Dans le raisonnement naturel, la lumière est perçue comme un objet, visible d'un peu partout. Kaminski montre que 50% des enseignants en formation continue se trompent lorsqu'on leur demande ce que l'on voit à travers chacun des trous T1, T2 et T3 du schéma ci-dessous (Figure 1), avec des réponses du type : « On voit quelque chose de lumineux par chacun des trous ».

Figure 1

Que voit-on par chacun des trous T1, T2 et T3 ?
(Kaminski, 1989, p. 977)



1.3.2 Image

La lumière est visible de profil, en elle-même (sans support diffusant). L'image est conçue comme et se déplaçant « en bloc ». Un raisonnement courant est donc celui d'une image qui voyage toute seule vers l'écran, et qui serait non localisée. Plus de 40% des étudiants pensent qu'une image peut se former sur un écran même sans lentille. Presque tous déclarent que l'image est redressée sur l'écran quand on enlève la lentille convergente, certains considérant que la lentille est un système de déformation de l'image. L'image subit, comme un objet matériel, les effets des obstacles sur son chemin. Si on place un cache au centre de la lentille, moins de 60% des étudiants testés donnent la réponse correcte en indiquant que l'image est absente ou incomplète, en expliquant que l'on ne peut voir que la périphérie car le centre est caché. Dans l'énoncé des conditions nécessaires pour voir l'image directement (sans écran), les réponses majoritaires sont que l'image réelle ne peut être vue que sur un écran ou qu'il faut positionner l'œil à la place de l'écran, et qu'on ne peut pas voir une image virtuelle.

Ces obstacles peuvent avoir une origine scolaire. En effet, les rayons de construction des images ne sont plus alors perçus par les élèves comme de simples outils de construction géométriques mais comme de véritables éléments constitutifs de l'image. Par exemple, le cache placé au centre de la lentille est vu comme supprimant le rayon central, et donc comme empêchant la formation de l'image.

1.3.3 Couleur

La lumière obéit, dans les conceptions spontanées, aux mêmes règles que les objets matériels. La couleur est considérée comme une caractéristique intrinsèque de la matière, « imprégnée » dans les objets, et non comme un phénomène lié à la lumière réfléchie ou transmise.

RÉFÉRENCES EN OPTIQUE

- Chauvet, F.** (1993). Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 750, 1-28.
- Fawaz, A., & Viennot, L.** (1986). Image optique et vision. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 686, 1125-1146.
- Guesne, E., Delacote, G., & Tiberghien, A.** (1978). Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique : Deux exemples: les notions de chaleur et lumière. *Revue française de pédagogie*, 25-32. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1978_num_45_1_1674
- De Hosson, C., & Kaminski, W.** (2002). Les yeux des enfants sont-ils des « porte-lumière » ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1907-2003.
- Kaminski, W.** (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 973-991.
- Kaminski, W., & Mistréti, Y.** (2000). Optique au collège : le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 823, 757-784.

1.4 Propagation d'une onde

L'onde est considérée par les élèves comme un objet matériel. La mécanique du signal et la mécanique de l'objet sont ainsi confondues. Les raisonnements observés semblent s'appuyer sur « un capital dynamique », sorte de notion hybride entre force, vitesse et énergie, mis en mouvement par la source, matérialisé par la bosse sur la corde et susceptible de s'épuiser au cours de la propagation. De fait, la vitesse du signal n'est pas comprise comme dépendant uniquement des caractéristiques du milieu propagatif.

75% des étudiants en licence indiquent que la vitesse du signal sur une corde dépend de la façon dont le signal est initié par l'expérimentateur, et 55% indiquent la vitesse faiblit si l'amplitude du signal diminue.

Un signal, tout comme un objet matériel, ne peut exister qu'entièrement formé. Ainsi, 53% des élèves ou étudiants (licence), interrogés après enseignement, dessinent un signal complètement formé sur une corde alors que le mouvement de la main n'est pas encore terminé.

Les résultats sont similaires dans la propagation d'une onde sonore. Pour 40% des élèves interrogés avant l'enseignement des phénomènes ondulatoires, la source de plus grande puissance est entendue en premier par une personne à équidistance des deux émetteurs. L'onde sonore est considérée globalement comme un objet matériel en mouvement ; et comme en mécanique, il faut une cause simple et antérieure, la source du signal, qui sera stockée dans la forme en déplacement, pour interpréter la propagation.

RÉFÉRENCES POUR LES PHÉNOMÈNES ONDULATOIRES

- Maurines, L.** (1991). Raisonnement spontané sur la propagation des signaux : aspect fonctionnel. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 733, 669-677.
- Maurines, L.** (1998). Les élèves et la propagation des signaux sonores. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 800, 1-22.
- Maurines, L.** (1999). La propagation des ondes en dimension 3: analyse des difficultés des étudiants quant au modèle géométrico-ondulatoire. *Didaskalia*, 15(1), 87-122.
- Maurines, L., & Saltiel, É.** (1988). Mécanique spontanée du signal. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 707, 1023-1041.

1.5 Énergie

La vision de l'énergie chez les élèves est souvent anthropocentrée, spécifique au vivant ou associée exclusivement au mouvement. Chez les enfants, il y a reconnaissance de l'énergie lorsqu'il y a un effet nettement perceptif (réaction chimique, lumière, électricité...) et que sa manifestation est liée à l'utilitaire ou au confort. L'énergie est souvent vue comme une action : seuls les objets animés ou en mouvement sont perçus comme ayant de l'énergie. Celle-ci est souvent confondue avec des grandeurs telles que puissance, force, vitesse, chaleur. L'énergie est assimilée à la substance qui la contient. Elle est alors stockée à l'intérieur des objets. Elle peut être produite, perdue, consommée, ou s'user rendant l'utilisation du principe de conservation non spontanée.

1.5.1 Chaleur et température

La chaleur, comme l'énergie, est souvent vue comme une substance susceptible de se déplacer ou de se propager. Chez les plus jeunes, il n'y a aucune différence entre chaleur et température. Chez les élèves les plus âgés, la différence peut être associée à une mesure. Dès lors, le travail n'est pas reconnu comme une grandeur énergétique susceptible de faire varier la température d'un système. Il y a une existence autonome du chaud et du froid pour les matériaux. Exemple : La laine est « chaude », les métaux sont « froids ».

RÉFÉRENCES POUR L'ÉNERGIE

- Ballini, P., Robardet, G., & Rolando, J. M.** (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 24(1), 81-112.
- Koliopoulos, D., & Tiberghien, A.** (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 2(1), 167-178. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1986_num_2_1_904
- Lafarge, D.** (2006). Conceptions des élèves sur les notions de « chaleur » et de température après enseignement du programme de première de 2001. *Bulletin de l'Union des physiciens*, 885, 715-728.
- Megalakaki, O.** (2009). Développement conceptuel de la notion d'énergie relative à des objets inanimés et animés chez les élèves de dix à 17 ans. *Psychologie française*, 54(1), 11-29.
- Tison, E.** (2023). *Modèles scientifiques scolaires de l'énergie au cycle 4 - Une analyse de documents institutionnels et de pratiques déclarées et effectives de formation continue* [Thèse de doctorat, CY Cergy Paris Université].

2 EXEMPLES DE CONCEPTIONS REPÉRÉES EN CHIMIE

2.1 Les substances chimiques

Le concept de substance et celui de son identité sont essentiels pour la bonne compréhension de la réaction chimique. Pourtant, ces notions ne sont pas construites de façon stable chez les élèves.

2.1.1 Le sens commun

En début d'enseignement, les substances dites « pures » sont associées par les élèves à des produits naturels ou non pollués. L'apparence physique influence fortement leurs conceptions : un solide en poudre et le même solide en bloc ne sont pas perçus comme ayant les mêmes propriétés.

2.1.2 Corps composé et mélange

Au secondaire, de nombreux élèves confondent le corps pur avec le corps simple. Le corps composé est vu comme un agrégat de corps simples, donc assimilé à un mélange.

2.1.3 L'état gazeux

Pour les jeunes élèves, les gaz ne sont pas de la matière. Le gaz est perçu comme immatériel et sans masse : un ballon gonflé n'est pas considéré comme plus lourd. Dans les réactions de combustion, les élèves se trompent dès qu'ils doivent raisonner en masse. Jusqu'au niveau lycée, le solide obtenu après la combustion d'une petite quantité de paille de fer est plus lourd pour une très petite minorité d'élèves. Ils ne peuvent alors envisager les combustions comme une interaction entre le dioxygène de l'air et le combustible.

2.1.4 Les propriétés de la substance peuvent changer sans changement d'identité de celle-ci

Les interprétations proposées par les élèves font apparaître l'absence de stabilité des propriétés des substances. Lorsqu'une transformation de la matière a lieu, les propriétés de la substance changent, comme la couleur, tandis que la substance elle-même reste inchangée. Mais le langage très classiquement utilisé par les manuels scolaires suggère lui aussi la conservation de l'identité des substances qui changent leurs propriétés avec des expressions du type : « le sulfate de cuivre anhydre devient bleu », « le cuivre noircit à la flamme », ou « l'eau de chaux se trouble en présence de dioxyde de carbone. »

RÉFÉRENCES POUR LES SUBSTANCES CHIMIQUES

- Furio, C. J., Bullejos, J., & de Manuel, E.** (1994). L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche. *Aster*, 18, 141-164.
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, 22, 69-97.
- Meheut, M.** (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 15-26.
- Roletto, E., & Piacenza, B.** (1994). Faut-il construire le concept de substance ? *Aster*, 18, 63-74.
- Solomonidou, C., & Stavridou, H.** (1994). Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *Aster*, 18, 75-95.

2.2 La transformation chimique

Plusieurs enquêtes montrent que les élèves savent résoudre des problèmes de type algorithmique sans pour autant avoir acquis les concepts fondamentaux de la transformation chimique.

2.2.1 Obstacle de sens commun

Pour les jeunes élèves, avant enseignement, les transformations de la matière sont classées en deux grandes catégories : les phénomènes naturels et artificiels. Les phénomènes chimiques sont considérés comme artificiels (uniquement en laboratoire). Exemple : une pomme qui mûrit n'est pas considérée comme un phénomène chimique. Dans la vie quotidienne, les transformations chimiques sont associées à des phénomènes de destruction, disparition ou détérioration de la matière.

2.2.2 Transformation chimique liée à un événement

La transformation chimique est vue comme un événement ponctuel (pas comme un changement), accompagné de manifestations phénoménologiques macroscopiques (changement de couleur, dégagement gazeux, formation d'un précipité). Les jeunes élèves interprètent spontanément les phénomènes de combustion comme des « changements dus à la chaleur ou au feu » et ne les perçoivent pas comme des transformations chimiques. La flamme et le feu sont assimilés à des corps matériels.

2.2.3 Obstacle dû à l'enseignement

La majorité des expériences scolaires présentent deux réactifs au départ. Cela conduit les élèves, jusqu'au lycée, à assimiler la réaction chimique à une combinaison de deux corps ($1 + 1 = \text{autre chose}$).

La formation de certains corps composés résulte parfois de prototypes régulièrement présentés aux élèves. Au cours de la transformation entre du carbone et du monoxyde de cuivre, l'apparition de dioxyde de carbone est interprétée par des élèves de troisième comme la réaction entre le carbone et le dioxygène de l'air.

2.2.4 Préexistence des produits nouveaux dans certaines transformations

Certains élèves, qui ont commencé à assimiler l'idée d'interaction, conçoivent les produits comme déjà présents dans les réactifs. Par exemple, certains élèves expliquent que le gaz formé, au cours de la transformation du zinc avec l'acide chlorhydrique, est libéré par le zinc qui se disloque.

2.2.5 Le modèle agent-patient

Les élèves donnent une explication pour certaines transformations chimiques de type « agent-patient » : un des réactifs agit et l'autre subit. Cette vision peut être accentuée par des expressions courantes du type l'attaque de l'acide chlorhydrique sur les métaux. La difficulté à construire des raisonnements à plusieurs variables conduit les élèves à privilégier ce type de raisonnements à une seule variable et, pour eux, seul le corps « patient » change au cours de la transformation. Cette conception est véhiculée par le langage commun (« le jus de citron ronge le marbre », « l'air humide fait rouiller le fer », « l'eau de javel décolore un vêtement »...) mais aussi dans le langage du chimiste ou dans les manuels. On lit toujours : « l'acide agit sur le métal ». On ne dit jamais l'inverse.

2.2.6 Confusion états initial et final avec l'équation chimique

L'analyse de certaines explications des élèves suggère la confusion de la composition initiale du système chimique avec la partie gauche de l'équation et la composition finale du système chimique avec la partie droite de l'équation. Cette confusion peut être accentuée par des schémas du type :



Il y a alors confusion entre la situation expérimentale et l'équation de réaction chimique qui est perçue comme une copie de la réalité.

2.2.7 Le réactif limitant dans une transformation totale

Pour déterminer le réactif limitant dans une transformation chimique, plusieurs explications ont été repérées dans différents travaux :

- un raisonnement de type « agent-patient » et dans ce cas un seul des deux réactifs est consommé. Ce type de raisonnement est favorisé quand l'un des réactifs est solide et l'autre en solution.
- un raisonnement centré sur l'équation, si celle-ci est de type $A+B \rightarrow C+D$, les deux réactifs étant alors consommés. Ce type de raisonnement est favorisé

2.2.8 La notion d'équilibre chimique

L'idée qu'une transformation non totale ne va pas de soi chez les élèves. La centration sur l'équation amenant les élèves à penser que la partie de gauche de l'équation correspond aux réactifs peut entraîner le refus d'une transformation dans le sens inverse au sens initial. Quand l'équilibre chimique est admis, pour de nombreux étudiants la composition des états initial et final est identique ou est proportionnelle aux nombres stœchiométriques.

Le concept d'équilibre n'est pas perçu comme un état dynamique. Les principales idées fausses sont :

- une conception statique : plus d'interactions entre les entités présentes ;
- les espèces figurant des deux côtés de l'équation chimique considérées comme séparées (idée de compartiments) ;
- la non-simultanéité des réactions dans le sens direct et inverse, dans une vision pendulaire.

RÉFÉRENCES POUR LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

- Barlet, R., & Plouin, D.** (1994). L'équation-bilan en chimie un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, 18, 27-56.
- Fillon, P.** (1997). Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles. *Aster*, 25, 113-141.
- Furio, C. J., Bullejos, J., & de Manuel, E.** (1994). L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche. *Aster*, 18, 141-164. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1994_num_18_1_1026
- Gauchon, L.** (2005). Transformation chimique : conceptions des élèves / notion de réactif limitant. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 876, 733-746
- Kermen, I., & Méheut, M.** (2004). Évolution des systèmes chimiques et équilibres chimiques en terminale S. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1145-1156.
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de seconde (15-16 ans). *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 61-75.
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2004). L'équation de réaction : un nœud d'obstacles difficilement franchissable. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 51-68.
- Meheut, M.** (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 15-26.
- Solomonidou, C., & Stavridou, H.** (1994). Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *Aster*, 18, 75-95.
- Stavridou, H., & Solomonidou, C.** (2000). Représentations et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. *Didaskalia*, 16, 107-134.

2.3 Passage macroscopique – microscopique

2.3.1 Un niveau microscopique non maîtrisé

Les élèves ont du mal à accepter l'existence du vide entre les particules et le mouvement des particules. Avant de pouvoir considérer la matière comme constituée de particules séparées par du vide, un novice l'imagine d'abord comme une structure continue puis comme une substance constituée de petits morceaux identiques.

Les molécules sont vues comme un mélange d'atomes, plutôt que comme des entités ayant de nouvelles propriétés même après achèvement des études secondaires.

La tendance des élèves à attribuer les propriétés macroscopiques de la matière (comme la dureté, la froideur, la couleur et l'état physique) à ses particules de niveau microscopique semble être une manière intuitive de donner un sens aux propriétés et aux changements macroscopiques observables. Même avec une bonne connaissance de l'hypothèse atomique et moléculaire, la tendance à penser que les particules héritent des propriétés de la substance résiste. Les élèves attribuent aux particules des propriétés phénoménologiques : les particules d'une matière se dilatent ou grossissent lorsque la matière passe de l'état liquide à l'état gazeux ou lorsqu'elle est chauffée, les particules fondent, les substances molles sont constituées de particules molles...

2.3.2 Incompréhension du modèle microscopique pour la réaction

Les élèves ne maîtrisent pas le concept d'émergence. Ils n'appliquent pas spontanément le modèle microscopique de la matière pour expliquer les observations du niveau macroscopique, comme dans le cas de la transformation chimique où les élèves ne s'expriment pratiquement jamais en termes de réarrangement d'atomes. Au cours des réactions chimiques, les molécules des corps simples ne font que s'accoler pour former les molécules des corps composés (ou inversement). Exemple : $C + O_2 = CO_2$

2.3.3 La polysémie des formules non maîtrisée

La double interprétation des formules chimiques – à la fois espèce chimique et entité chimique – n'est pas perçue par les élèves. Plus le niveau des élèves augmente, plus la formule est perçue comme représentant le niveau microscopique (molécule ou atome).

RÉFÉRENCES

- Barlet, R., & Plouin, D.** (1997). La dualité microscopique-macroscopique : un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 143-174.
- Canac, S.** (2021). Nom et formule chimique — une double interprétation macroscopique et microscopique : une difficulté pour les élèves. *Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 115(1032), 263-276.
- Talanquer, V.** (2008). Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds : additive versus emergent frameworks. *Science Education*, 92(1), 96-114.
- Talanquer, V.** (2009). On cognitive constraints and learning progressions : the case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123-2136.

3 LES RAISONNEMENTS DE SENS COMMUN EN PHYSIQUE ET CHIMIE

Les conceptions des élèves reposent souvent sur des idées issues de l'expérience quotidienne et propres à chaque discipline. Mais leurs origines peuvent aussi venir de formes de raisonnement dites naturelles (Viennot, 1996 ; Robardet & Guillaud, 1997) que l'on retrouve dans toutes les disciplines scientifiques.

3.1 La réduction du nombre de variables fonctionnelles

Les élèves ont du mal à considérer simultanément la variation de plus de deux grandeurs en physique. Ainsi, face à des situations où intervient un nombre de variables supérieur à deux, ils peuvent avoir tendance à transformer les formules étudiées en relations binaires.

3.2 Le raisonnement linéaire causal

Lorsque de nombreuses grandeurs évoluent simultanément, le raisonnement usuel établit une suite linéaire de relations de cause à effet, chacun de ces termes étant associé à une seule grandeur. La forme du discours est en « alors... alors... » plaçant du temps entre les variations des grandeurs impliquées dans l'argumentation. L'explication est alors une suite d'affirmations chronologiques et de raisonnement à une seule variable, avec parfois des contradictions flagrantes.

3.3 Le raisonnement téléologique

Les processus ou les états surviennent pour satisfaire un besoin ou remplir un but. Par exemple, en chimie, les atomes se combinent à d'autres pour remplir leur couche de valence ou satisfaire à la règle de l'octet. Ce type d'explication crée une illusion de compréhension et peut démotiver les élèves à rechercher les véritables explications scientifiques.

RÉFÉRENCES POUR LES RAISONNEMENTS
DE SENS COMMUN EN PHYSIQUE ET CHIMIE

- Robardet, G., & Guillaud, J.-C.** (1997). Éléments de didactique des sciences physiques. Paris : Presses Universitaires de France.
- Rozier, S.** (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire* [Thèse de doctorat, Université Denis Diderot Paris VII].
- Talanquer, V.** (2009). On cognitive constraints and learning progressions : the case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123-2136.
- Viennot, L.** (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1(1), 13-27.
- Viennot, L.** (1996). *Raisonnement en physique : la part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.

4 LES CONCEPTIONS (REPRÉSENTATIONS) ET MODES DE RAISONNEMENT DES ÉLÈVES POUVANT FAIRE OBSTACLE À L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)

En 1989, Jean-Pierre Astolfi et Michel Develay soulignaient que « le concept utilisé en didactique des sciences dont le succès a été le plus spectaculaire au cours des dix dernières années est assurément celui de représentation [conception] » (p. 31). De nombreux travaux en didactique des sciences ont depuis conforté l'étude et la caractérisation des représentations des élèves dans plusieurs domaines. Ils insistent aussi sur la nécessité de les prendre en compte pour aider les élèves à les dépasser. Ce n'est pas chose aisée car :

« Les conceptions que développent les élèves s'appuient sur leur façon habituelle de penser, issue de leurs expériences et qui a une réelle efficacité dans la plupart des cas. Ces conceptions, avec leur cohérence et leur efficacité habituelle, résistent à l'enseignement ; leur correspondent ce que Bachelard a nommé des obstacles épistémologiques. Les ignorer, c'est diminuer fortement les chances de les transformer. ».

(Schneeberger & al., 2021, p. 40)

RÉFÉRENCES

- Astolfi, J.-P., Develay, M.** (1989). *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Orange, C. & Orange Ravachol, D.** (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en Education*, 17, Octobre 2013. 46-61. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/ree/7934>
- Schneeberger, P., Orange, C., Orange Ravachol, D. & Lhoste, Y.** (2021). *Précis de didactique des SVT*. Bordeaux : Presses universitaires de Bordeaux.

La suite de ce texte propose un examen des conceptions (ou représentations) des élèves (de l'école au lycée) dans plusieurs grands domaines des sciences de la vie et de la Terre (SVT). Cet examen permet de mieux comprendre les difficultés qu'ils rencontrent et d'envisager des leviers didactiques pour qu'ils s'approprient durablement des savoirs scientifiques en biologie et en géologie.

4.1 Reproduction et sexualité

Les élèves de l'école, du collège et du lycée savent généralement que la reproduction des animaux (dont l'espèce humaine) nécessite deux individus (père et mère) ; ils connaissent l'existence de l'accouplement (pour les animaux à fécondation interne dont l'espèce humaine).

En revanche, leurs explications sur les rôles respectifs du père et de la mère sont souvent éloignées du concept scientifique de fécondation. Pour beaucoup, le bébé vient du père (de la « graine » ou du spermatozoïde du père), la mère n'ayant qu'un rôle nourricier et de protection (conception « animalculiste »). En voici quelques exemples à l'école primaire (Figure 1).

Figure 1 :
Deux productions écrites d'élèves (CM1-CM2, 9-11 ans)
et leur interprétation en termes de conception

Consigne : « D'où vient le bébé ? Comment s'est-il formé ? »

Corpus Orange et Orange Ravachol

Le papa donne une graine, il la
la graine va dans le ventre de la
maman le bébé grandit parce que
la maman lui donne à manger.

Conception A

- ▶ « spermatiste » : le bébé vient du père
- et**
- ▶ « préformiste mâle » : le bébé est fabriqué par le père qui le fournit dans les spermatozoïdes. Ce bébé n'a plus qu'à grandir ensuite, c'est-à-dire de passer d'une petite à une plus grande taille.

Le papa et la maman font
l'amour, une sorte de petite
qui est dans le papa
bouletera dans le ventre de
la maman et puis forme un
bébé.

Conception B

- ▶ « spermatiste » : le bébé vient du père
- et**
- ▶ « épigéniste » : le bébé se développe petit à petit et prend progressivement l'apparence d'un bébé.

Autre conception, plus rare : l'« ovisme », où le père ne joue qu'un rôle de déclencheur. On la rencontre chez de jeunes enfants (maternelle) qui n'ont pas encore identifié la nécessité de relations sexuelles.

Lorsque la conception animalculiste (ou la conception oviste) est dépassée, la fécondation peut être perçue comme un mélange des caractères venant de chacun des deux parents, ce qui est un progrès évident mais peut faire obstacle à l'approche génétique.

RÉFÉRENCES

- Beorchia, F. & Lhoste, Y.** (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherches en éducation*, 3. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/ree/3759>
- Demounem, R. & Astolfi, J.-P.** (1996). *Didactique des sciences de la Vie et de la Terre*. Nathan. (p. 123)
- De Vecchi, G. & Giordan, A.** (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche » ?* (pp. 39, 100-102). Z'Éditions.
- Johsua S. & Dupin, J.-J.** (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (p. 151, résumé du travail de Giordan et De Vecchi). Paris : P.U.F.
- Rumelhard, G.** (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Peter Lang.

4.2 Nutrition animale (dont la nutrition humaine)

4.2.1 La signification globale de la nutrition

Si l'idée générale que la nutrition permet de se procurer de l'énergie ou des forces est facilement admise de l'école au lycée, il faut savoir que le mot « énergie » correspond pour les élèves (même lycéens) à une notion assez vague : c'est ce qui fait que l'animal (dont l'être humain) peut bouger et avoir une activité.

Pour les élèves, la nourriture permet la croissance mais le lien entre nutrition et construction de matière propre aux animaux (dont l'être humain) est loin d'être évident. Pour un élève de seconde (15-16 ans), par exemple, le mouvement ou la croissance sont des phénomènes qui vont de soi chez les animaux, pourvu qu'ils soient dans de bonnes conditions et alimentés en « principes actifs » (vitamines, minéraux...) et/ou en énergie.

RÉFÉRENCE

Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie* (p. 121). Paris : Presses Universitaires de France.

4.2.2 La digestion et l'absorption

Les plus jeunes élèves ne peuvent pas comprendre la distinction entre transformation chimique et transformation physique. Cette même distinction peut encore poser problème à des collégiens, voire même à des lycéens.

Cette thématique est développée dans la contribution de ce guide intitulée « Enseigner la digestion à la fin de l'école primaire ».

RÉFÉRENCES

- ASTER.** (1991). *Recherches en didactique des sciences expérimentales*. Respirer, digérer : assimilent-ils ?, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/issue/aster_0297-9373_1991_num_13_1?sectionId=aster_0297-9373_1991_num_13_1_976
- Sauvageot-Skibine, M.** (1991). La digestion au collège : transformation physique ou chimique ? *ASTER*, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1991_num_13_1_976

Un certain nombre d'études didactiques ont montré la tendance, même chez les adultes, à concevoir l'excrétion urinaire en lien direct avec le tube digestif. Dans une telle représentation, l'urine est l'équivalent liquide des selles : il s'agit pour le corps d'évacuer ce qui n'est pas utile, pas « bon » et de garder pour utilisation ce qu'il lui faut ; les « déchets » ne sont vus que comme des déchets « avant utilisation ».

RÉFÉRENCES

- Clément, P.** (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion - excrétion. *ASTER*, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1991_num_13_1_978
- De Vecchi, G., & Giordan, A.** (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche » ?* Z'Éditions. (pp. 26, 27, 53)
- Johsua, S., & Dupin, J.-J.** (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (p. 156, résumé du travail de P. Clément). Paris : P.U.F.
- Paccaud, M., & Vuala, J.** (1999). *Biologie et Géologie, PE1 et PE2*. Paris : Hatier.

4.3 La circulation sanguine

La première idée des élèves (école, début du collège), quand le sang est compris comme intervenant dans l'approvisionnement des organes, n'est pas une circulation mais une irrigation : le sang est fabriqué quelque part (dans le cœur par exemple), puis transporté jusqu'aux organes où il est consommé. Le sang est alors souvent vu globalement, comme une substance qui nourrit et permet la vie, et non comme un transporteur de substances.

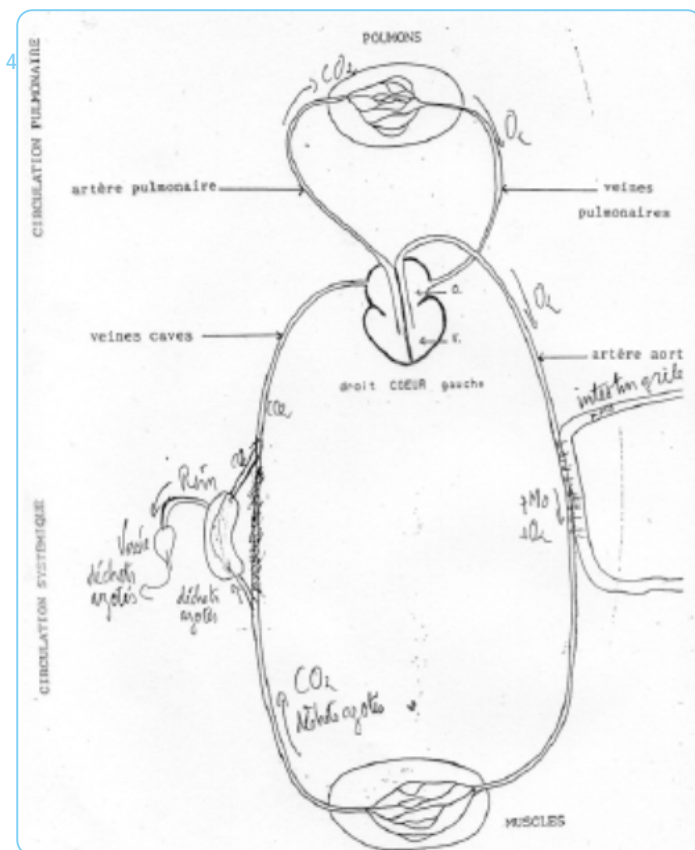
Lorsque l'idée d'une circulation est admise, elle reste difficile à comprendre dans sa complexité, même pour des élèves de lycée ou des étudiants. La tendance est à la « mise en histoire » du transport par le sang des différentes substances, ce qui conduit les élèves de collège et de lycée à placer « en série » les différents organes intervenant dans la circulation (figure 2). Or, si poumons et organes sont effectivement en série, ce n'est pas le cas des reins et de l'intestin. Comprendre, par exemple, comment fonctionne le système d'excrétion, disposé en parallèle par rapport aux autres organes, demande d'admettre que les déchets ne sont pas évacués immédiatement après leur production et de penser en termes de milieu intérieur et d'équilibre dynamique.

Figure 2 :

Un exemple de production d'élèves (Première scientifique, 16-17 ans)

Consigne : « Sur un schéma fourni de la double circulation, la consigne est la suivante : « Placer sur ce circuit, qui peut être modifié à la convenance, le tube digestif et les reins de façon à satisfaire les autres conditions de la nutrition des cellules (approvisionnement en petites molécules organiques, élimination des déchets azotés) ».

Corpus Orange et Orange Ravachol



RÉFÉRENCES

- Lavarde, A.** (1994). Figurabilité dans le domaine de la circulation sanguine. *Didaskalia*, 3, 79-91. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1994_num_3_1_953
- Orange, C. & Orange, D.** (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21, 40-44. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1995_num_21_1_1060
- Sauvageot-Skibine, M.** (1993). De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur. *ASTER*, 17, 189-204. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_17_1_1331

4.4 La respiration

Au collège comme à l'école, la compréhension de la respiration peut se confronter à certaines représentations des élèves.

- Un vitalisme naïf peut conduire les élèves à penser la respiration comme intimement liée à la vie (on respire pour vivre) ce qui empêche tout questionnement sur la fonction respiratoire.
- La difficulté à penser les gaz comme de la matière et à imaginer leur transport par le sang peut réduire la respiration à une ventilation ou à une simple transformation de l'air par les poumons.
- On peut également noter une tendance des élèves à relier fortement poumons et fonctionnement du cœur (les poumons sont responsables des mouvements du cœur) et à confondre rythme respiratoire et rythme cardiaque.

RÉFÉRENCES

- ASTER.** (1991). *Recherches en didactique des sciences expérimentales*. Respirer, digérer : assimilent-ils ?, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/issue/aster_0297-9373_1991_num_13_1?sectionId=aster_0297-9373_1991_num_13_1_976
- Clément, P.** (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion – excrétion. *ASTER*, 13, 133–155. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1991_num_13_1_978

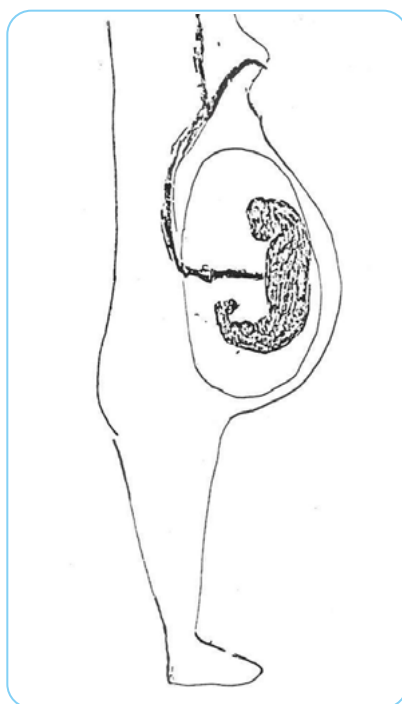
4.5 La nutrition du fœtus

L'idée que se font les élèves de la nutrition — en particulier au collège —, ainsi que la survalorisation de l'ingestion et de la digestion, les conduisent à concevoir la nutrition du fœtus comme directement reliée au tube digestif maternel par un simple tuyau (figure 3).

Figure 3 :

Conception d'un élève de 9 ans à propos du développement du fœtus.

Giordan, dir., 1994, p. 89



RÉFÉRENCES

- Giordan, A.** (dir.) (1994). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Éditions Peter Lang.
- Giordan, A. & De Vecchi, G.** (1987). *Les origines du savoir*. Delachaux et Niestlé. (p. 120-121)

4.6 Mouvement du membre supérieur et articulation

Les élèves de l'école primaire produisent, en réponse à des questions sur le fonctionnement des membres (question du type « *Explique ce qui se passe dans le bras lorsqu'on le plie ?* »), des schémas variés que nous regroupons en types en tentant d'interpréter les conceptions sous-jacentes.

- ▶ **Type 1** Les productions où il n'apparaît pas de véritable organisation à l'intérieur du membre : les os sont nombreux et disposés un peu partout.

Représentation associée possible : Le rôle des os semble seulement expliquer les parties dures.

- ▶ **Type 2** Les productions comprenant un seul os, tout du long du membre, ou plusieurs os alignés, dont un au coude.

Représentation associée possible : Ces élèves semblent privilégier la continuité du membre et sa « solidité », en particulier au niveau du coude. Cela les oblige à imaginer un os qui se plie.

- ▶ **Type 3** Les productions avec deux longs os dans le membre, correspondant aux deux segments : bras et avant-bras, simplement juxtaposés.

Représentation associée possible : Ces élèves semblent privilégier le fait que le membre se plie au niveau du coude. Mais leurs schémas expliquent mal la solidité du membre à l'articulation.

- ▶ **Type 4** Les productions présentant deux segments reliés par un dispositif. Le dispositif peut être varié : boule articulaire, élastique...

Représentation associée possible : Ces élèves semblent prendre en compte à la fois le mouvement et la solidité. Pour une partie d'entre eux, il y a certainement une influence « technique » (Lego technique, objets techniques divers...).

Cette thématique est développée dans la contribution de ce guide intitulée « Analyse comparée de deux séquences sur les mouvements corporels (fin de l'école primaire) ».

RÉFÉRENCE

Orange, C. & Orange Ravachol, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des cinquièmes Rencontres scientifiques de l'ARDIST, 17-19 octobre 2007*, pp. 305-312. Disponible sur : https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/Actes_2007.pdf

4.7 Nutrition des végétaux chlorophylliens

La première difficulté d'apprentissage correspond à la conception très fréquente (école, collège, lycée) d'une nutrition uniquement à partir du sol, ce qui empêche de comprendre les échanges gazeux photosynthétiques comme une nutrition. Il y a là un obstacle particulièrement résistant aux multiples visages :

- les élèves ne peuvent pas envisager la nutrition à partir d'un gaz (CO_2); un gaz ça ne « nourrit pas »... ; de plus, pour eux, le CO_2 c'est « toxique » ;
- l'analogie avec les animaux dont l'être humain conduit à l'idée d'une entrée unique de nourriture : les racines sont la « bouche » des plantes ;
- au mieux, les échanges gazeux photosynthétiques sont compris comme une « respiration bizarre », inversée (avec l'idée de compensation entre animaux et végétaux).

RÉFÉRENCES

- Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B.** (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *ASTER*, 16. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_16_1_1012
- Canal de Leon, P.** (1992). Quel enseignement sur la nutrition des plantes en éducation "de base" ? Proposition didactique. *ASTER*, 15. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1992_num_15_1_997
- Giordan, A. & De Vecchi, G.** (1987). *Les origines du savoir*. Paris : Delachaux et Niestlé, 33-35.
- Rumelhard, G.** (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *ASTER*, 1. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1985_num_1_1_890

Cette difficulté à concevoir les gaz comme de la matière et comme une « nourriture » est renforcée par une autre représentation fréquente du fonctionnement des végétaux : la plante est souvent comprise (de l'école au lycée) comme « quelque chose fait pour pousser ». Les élèves peinent à entrer dans une problématique de production de matière organique par la plante car, pour eux, le végétal se développe dès lors qu'il est dans de bonnes conditions (eau, soleil, air) ou qu'il est approvisionné en substance « vivifiante » (sève, énergie, chlorophylle...). Notons que l'enjeu de la photosynthèse est souvent défini comme la production de la chlorophylle.

RÉFÉRENCES

- Rumelhard, G.** (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *ASTER*, 1.
Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1985_num_1_1_890
- Orange, C.** (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : P.U.F., p. 121.

4.8 Activité interne de la Terre

4.8.1 Fonctionnement des volcans

En dehors des conceptions « locales » du volcanisme (volcans expliqués par un feu ou un échauffement local), la plupart des représentations des élèves de collège et de lycée font appel à un réservoir planétaire de magma, qu'il soit proprement central (dans le « noyau » de la Terre) ou qu'il soit mantellique. On peut expliquer le caractère très résistant de cette conception par un certain nombre de causes complémentaires :

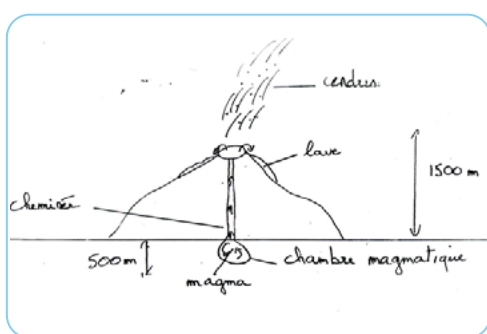
- l'idée que l'intérieur de la Terre est chaud est couramment admise ; or qui dit température importante dit fusion : dans la vie courante le passage liquide/solide est uniquement conditionné par la température ; donc, plus on est près du centre, plus il fait chaud et plus c'est liquide ;
- le fait de ne considérer qu'un seul paramètre pour expliquer la fusion correspond à un type de raisonnement « linéaire » bien caractérisé par les didacticiens des sciences physiques (Viennot, 1993) puis des SVT (Orange Ravachol, 2007) ;
- devant une structure sphérique, il est tentant de donner au centre une valeur particulière, presque magique ;
- l'idée d'un centre ou d'un manteau liquide possède un fort pouvoir explicatif, qu'il s'agisse de l'origine du magma, bien sûr, mais aussi de la localisation des volcans (sur les zones de faiblesse de l'écorce), et même de la dynamique des plaques (convection, mouvements des plaques).

Figure 4 :

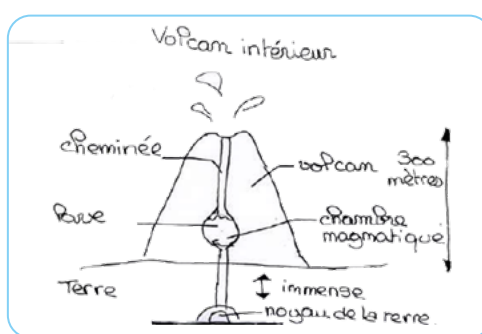
Deux productions écrites d'élèves (classe de 4^e, 13-14 ans)
et leur interprétation en termes de conception

Consigne : « Comment fonctionne un volcan ? »

Corpus M. Jurvilliers



Conception « locale »



Conception « centrale »

RÉFÉRENCES

- ASTER 20**, (1995). Représentations et obstacles en géologie. Disponible sur : https://www.persee.fr/issue/aster_0297-9373_1995_num_20_1?sectionId=aster_0297-9373_1995_num_20_1_1055
- Orange Ravachol, D.** (2007). Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques. *ASTER*, 44, 41-68. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2007_num_44_1_1465
- Viennot, L.** (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1, 13-27. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1993_num_1_1_909

4.8.2 Tectonique des plaques

Les plaques, connues des élèves dès l'école élémentaire, sont généralement comprises (par les plus jeunes, mais parfois aussi les lycéens) comme des « îlots » flottant sur un manteau liquide (magma) : elles sont alors confondues avec les continents et ne sont pas forcément jointives. Une telle conception fait de la tectonique des plaques un jeu d'« autos-tamponneuses » et évite le problème des frontières (dorsale, zones de subduction) où se renouvellent les plaques (création de nouveaux morceaux de plaques au niveau d'une dorsale ; disparition d'une portion de plaque par enfoncement sous une autre plaque au niveau d'une zone de subduction).

Par ailleurs, les mouvements sismiques sont souvent compris, chez les élèves, comme étant directement les mouvements des plaques.

Enfin, au lycée, persistent chez les élèves des difficultés à se représenter la dynamique d'une dorsale : elle est souvent simplement comprise comme une ligne de volcans, et non comme une zone de production de lithosphère dans toute son épaisseur.

RÉFÉRENCES

- Orange, C. & Orange, D.** (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21, 45-47. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1995_num_21_1_1060
- Orange Ravachol, D.** (2012). *Didactique des SVT, entre phénomène et événement*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Orange Ravachol, D.** (2007). Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques. *ASTER*, 44, 41-68. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2007_num_44_1_1465
- Orange Ravachol, D.** (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la Terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *ASTER*, 40. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2005_num_40_1_1272

4.9 Conceptions (représentations), obstacle épistémologique et modes de raisonnement

Le concept d'obstacle épistémologique (Bachelard, 1938) est en lien avec celui de conceptions (représentations), mais il présente un caractère plus général et plus transversal que celui de conception : il est ce qui, en profondeur, explique et stabilise la conception et la rend particulièrement résistante à l'apprentissage.

Un exemple fréquent est la tendance des élèves à produire des explications sous forme de « petites histoires » mettant en scène des objets (aliments dans le tube digestif ; nutriments et déchets pour le système cardio-vasculaire ; plaques tectoniques) qu'ils enrôlent dans une sorte de récit, successions temporelles et causales simples d'épisodes où le passage d'un épisode à un autre tient indistinctement de la causalité et de la chronologie (« à la suite de cela, donc à cause de cela »).

C'est le cas lorsque des élèves de fin de collège ou de lycée sont confrontés au problème de l'approvisionnement du muscle en nutriments et à l'évacuation de ses déchets. Ils placent le tube digestif (ou plus précisément l'intestin) et les reins de telle sorte que le muscle reçoive au plus vite les nutriments dont il a besoin et élimine très rapidement les déchets qu'il produit (figure 5 a). Tous les processus physiologiques (absorption intestinale, assimilation, excrétion) s'enchaînent dans des espaces différents. C'est une organisation en série des organes qui permet à ceux-ci de se nourrir efficacement et au sang de ne pas se salir. Les élèves de fin de collège ou de lycée ont du mal à comprendre le fonctionnement de la circulation sanguine tel qu'il est présenté dans la figure 5 b.

Figure 5 :

L'approvisionnement en nutriments (petites molécules organiques) et l'élimination des déchets azotés dans le corps humain

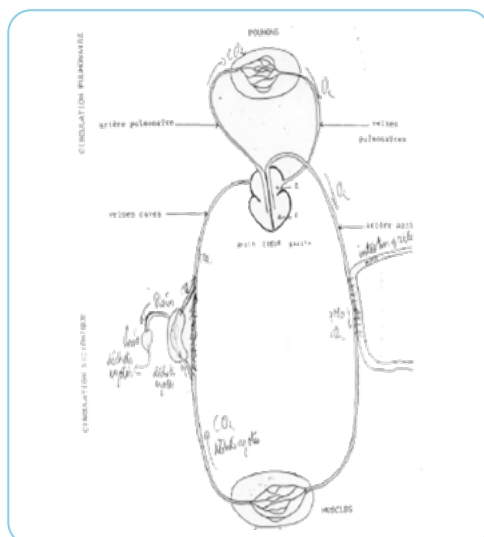


Figure 5 a

Selon un élève de Première scientifique, (16-17 ans)

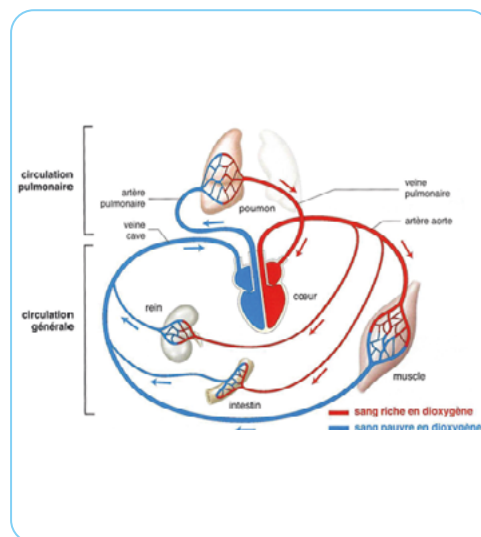


Figure 5 b

Selon les scientifiques

Ces raisonnements linéaires causaux, qui facilitent la compréhension du fonctionnement d'un système complexe, où plusieurs processus sont en jeu, empêchent les élèves d'accéder à des raisonnements systémiques (en entrée-sortie) où joue la simultanéité de ces processus.

RÉFÉRENCES

- Bachelard, G.** (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Orange, D.** (2003). Tendance à la « mise en histoire » par les élèves de lycée en sciences de la vie et de la Terre : étude de deux cas. *Actes des 3^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Toulouse, 239-246. Disponible sur : <https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/actes-2003.pdf>
- Orange, C. & Orange Ravachol, D.** (2023). Pensée critique et savoirs en SVT : un point de vue depuis le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation. *RDST*, 28(1), 115-142. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/rdst/5201>
- Orange, C., & Orange, D.** (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21, 40-44. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1995_num_21_1_1060
- Viennot, L.** (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1, 13-27. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1993_num_1_1_909

CHAPITRE

5

PROPOSITIONS DIDACTIQUES

1 ANALYSE COMPARÉE DE DEUX SÉQUENCES SUR LES MOUVEMENTS CORPORELS (FIN DE L'ÉCOLE PRIMAIRE – ÉLÈVES DE 8-11 ANS)

Dans de nombreux pays, les textes institutionnels de l'école et du collège préconisent l'engagement des élèves dans des démarches scientifiques d'investigation, de façon à leur permettre une meilleure appropriation d'un certain nombre de compétences et à les former à entrer dans des tâches et des situations complexes (Coquidé & *al.*, 2009). Il s'agit de les impliquer intellectuellement et de leur laisser une marge de manœuvre plus affirmée dans le travail des problèmes. Ainsi les problèmes doivent faire sens pour eux. Ils peuvent développer, confronter, discuter leurs conceptions, et les soumettre au contrôle de l'empirie (observations, expérimentations dans les limites du possible, documentation) (Orange Ravachol, 2011).

Dans cette contribution, nous mettons en comparaison deux séquences mises en œuvre à la fin de l'école primaire. Elles travaillent un même problème – l'explication des mouvements corporels – mais diffèrent par leur manière de faire. Nous choisissons de mettre en regard leur logique de fonctionnement (logique de réfutation et logique de problématisation ; voir le glossaire), leur prise en compte des conceptions des élèves (voir le guide et le glossaire), la caractérisation du savoir qu'elles permettent de construire (savoir : *assertorique, apodictique, propositionnel* ; voir le glossaire) à partir de la mise en texte de celui-ci. Nous pensons ainsi donner à voir des repères de choix pour la formation et l'enseignement.

1.1 Quelques appuis épistémologiques et didactiques

Les scientifiques et les épistémologues l'ont souvent exprimé par le passé ou le présent (Popper, 1985 ; Jacob, 1981) : les sciences ont pour but d'expliquer certains phénomènes du monde réel. C'est un premier repère pour l'enseignement des sciences et l'analyse de ce qui se fait dans la classe.

Les démarches scientifiques peuvent varier selon la logique qui les porte (Orange Ravachol, 2010). Deux grandes logiques peuvent être distinguées (voir le glossaire) et l'identification de la logique globale d'une séquence de classe est un deuxième repère pour son analyse.

- **Une logique de réfutation** (Popper, 1985), souvent décrite en termes d'étapes, caractérisée par la proposition et la filtration de la ou des solutions du problème explicatif. Le savoir construit au terme de la démarche comporte la ou les solutions étayées par des arguments la ou les validant, autrement dit tout ce qui leur a permis de résister à la discussion et à la mise à l'épreuve par l'expérimentation et l'observation. Ce savoir résulte donc d'un tri parmi les solutions possibles. Il est vraisemblable et toujours susceptible d'être réfuté.
- **Une logique de problématisation** (*voir le glossaire*). Comme dans la logique de réfutation, le savoir scientifique comporte la ou les solutions du problème explicatif, avec les caractéristiques précisées ci-dessus. Mais il contient aussi les conditions de possibilité de ces solutions. Les solutions acceptables sont alors doublement dépendantes : elles répondent à des nécessités et elles sont à l'épreuve de l'empirie (observation, expérimentations dans les limites du possible, documentation).

L'investigation caractérise aussi la pratique des chercheurs. En tant que pratique sociale de référence (Martinand, 1986), sa mobilisation dans les disciplines scientifiques scolaires (sciences de la vie et de la Terre, sciences physiques et chimiques) n'en est que plus importante. Le fait qu'elle s'applique tout autant aux idées qu'à l'empirie et aux interactions entre les idées et les faits est un troisième repère dans l'analyse du fonctionnement de la classe de sciences.

Les pratiques langagières font partie intégrante de l'activité des chercheurs (Latour & Woolgar, 1988) : débats, argumentation, écrits d'investigation discutés dans le cadre d'une équipe ou d'un laboratoire, écrits terminaux (comme le sont les articles par exemple) diffusés à la communauté du domaine. Les écrits produits dans l'enseignement habituel des sciences sont pour l'essentiel des écrits terminaux (« trace écrite du cours »), marquant la fin du travail d'un problème et ce qui est à mémoriser. Mais ils sont aussi des écrits de travail (compte rendu d'expérience, dessins, schémas annotés, tableaux) (Vérin, 1988, 1995 ; Astolfi & *al.*, 1998) discutés en groupe ou en collectif qui contribuent à l'avancée du travail de ce problème. La place des pratiques langagières (écrits et oraux) dans la démarche et leur contribution au type de savoir élaboré (savoir assertorique, savoir apodictique ; *voir le glossaire*) et au texte terminal de ce savoir sont un quatrième et un cinquième repère pour l'analyse du régime d'une séquence d'enseignement scientifique.

La figure 1 ci-après résume les repères qui seront utilisés dans l'analyse des deux séquences de classe.

Figure 1 :
Les repères utilisés pour l'analyse des séquences

Repère 1	▶ Problème explicatif ?
Repère 2	▶ Logique de réfutation ? ▶ Logique de problématisation ?
Repère 3	▶ Investigation sur les idées ? ▶ Investigation sur les faits ? ▶ Interactions idées-faits ?
Repère 4	▶ Types et fonctions des pratiques langagières dans la démarche ?
Repère 5	▶ Teneur problématique de l'écrit terminal ?

1.2 Les deux séquences étudiées

Les deux séquences que nous étudions se focalisent sur l'explication des mouvements corporels. En cela elles satisfont au repère 1.

- La première séquence étudiée est issue du site de la Fondation "La main à la pâte" (<https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/notre-corps-en-mouvement>). Elle s'inscrit dans le prolongement d'une séance de danse et après que les élèves se sont représentés en train de danser. La consigne donnée par le professeur des écoles aux élèves est la suivante : « *Expliquer ce qui permet à notre corps de faire des mouvements* ».
- La deuxième séquence est pensée par une petite équipe réunissant un professeur des écoles et deux didacticiens. Elle est conçue comme une situation forcée (voir le glossaire) dans le cadre de l'apprentissage par problématisation (voir le glossaire). Les élèves ont à prendre en charge la consigne suivante : « *Comment c'est fait dans ton bras pour qu'il puisse bouger de la position 1 à la position 2 ?* » Deux silhouettes de membre supérieur humain (membre plié, membre étendu) la complètent. (https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/Actes_2007.pdf)

Nous avons retenu ces deux séquences parce que leur travail d'un même problème, tout en étant étroitement relié à des pratiques langagières et empiriques affirmées, se fait selon des démarches d'investigation aux logiques différentes (réfutation/« vérification⁸ » ; problématisation) et construit des types de savoir contrastés. Cette analyse peut être une ressource pour des formateurs et formatrices d'enseignants et d'enseignantes.

⁸ Le terme de « vérification », au sens de rendre « vrai » est employé par le maître. Notons que dans cette logique, ce qui résiste au débat et à l'empirie est au mieux vraisemblable et toujours susceptible d'être réfuté.

1.3 Présentation et analyse de la séquence 1 (La main à la pâte)

→ <https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/notre-corps-en-mouvement>

1.3.1 Présentation de la séquence 1

Cette séquence comporte 6 séances d'environ 45 mn que nous présentons ci-après.

► Séance 1

À la suite d'une séance de danse, le maître demande aux élèves de se représenter en train de danser. En collectif, les dessins sont ensuite comparés et ceux qui expriment le mieux les mouvements (quelques élèves refont des mouvements devant la classe) sont identifiés.

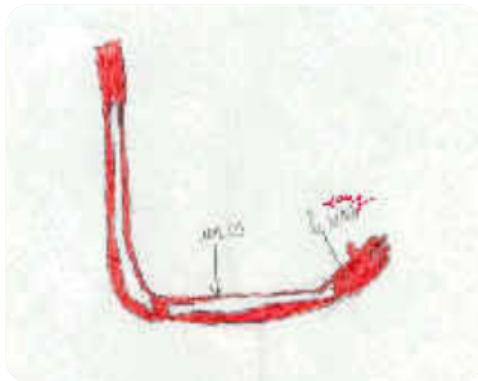
Une évaluation diagnostique des connaissances individuelles des élèves est alors engagée sur la base de la consigne suivante donnée aux élèves : « *Expliquer ce qui permet à notre corps de faire des mouvements* » (dessin de ce qu'il se passe alors dans leur bras). Les écrits individuels sont collectés par le maître.

Avant la deuxième séance, le maître retranscrit sur une affiche la liste des organes ou parties du corps citées par les élèves dans leurs réponses. Il sélectionne également cinq dessins d'élèves (présentant l'intérieur du bras) parmi les plus représentatifs de l'ensemble des conceptions initiales (figure 2).

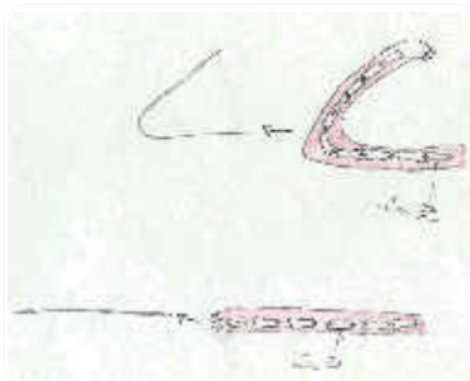
Figure 2 :
Les 5 dessins retenus (corpus La main à la pâte)

→ (<https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/notre-corps-en-mouvement>)

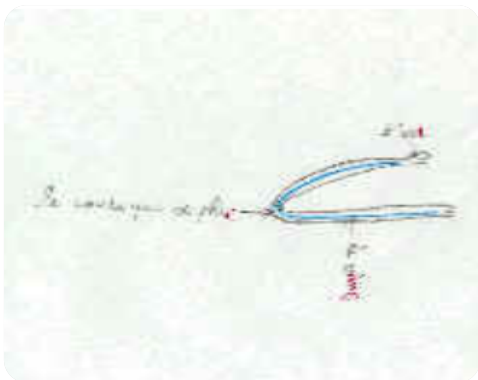
A



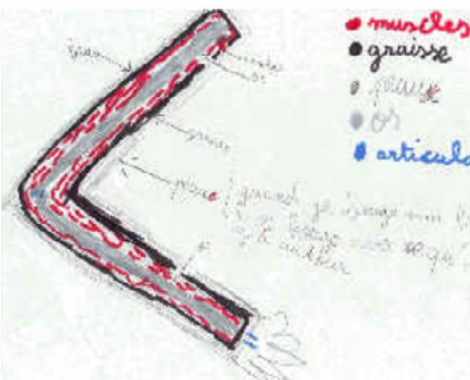
B



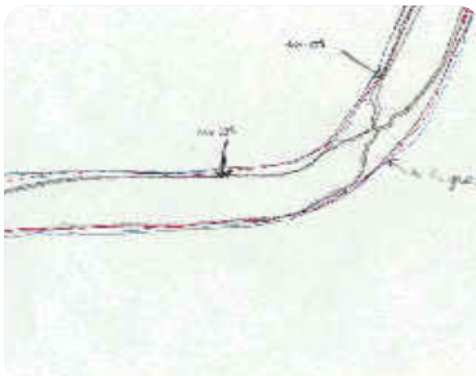
C



D



E



► Séance 2

Le maître affiche la liste des organes cités par les élèves dans leurs écrits et leur demande de classer ces réponses. Ce classement collectif amène les élèves à distinguer : les parties du corps qui bougent, les endroits où ça bouge et qu'ils connaissent sous le terme d'articulation ; ce qui fait bouger (peut-être les os, ou les muscles ou le cerveau).

Le maître répartit alors les élèves en groupes. Il leur fournit les cinq dessins (numérotés de A à E ; figure 2) sélectionnés parmi les dessins individuels et demande à chaque groupe de les comparer et de dire s'ils sont d'accord ou non, en expliquant pourquoi. La réponse de chaque groupe doit être présentée sous forme d'une affiche (figure 3).

Figure 3 :
Exemple de réponses d'un groupe

B : il y a plus d'os que A, C, D, E

C : ce n'est pas possible qu'un os se plie entièrement et la veine n'est pas dans l'os

D : il est clair avec la légende

A : les os sont attachés

E : l'os de l'avant-bras n'est pas tordu

Une mise en commun fait suite aux travaux des groupes : les cinq dessins, utilisés en groupes et agrandis, ainsi que les écrits des groupes, sont affichés au tableau. Les élèves lisent successivement les affiches des groupes et la classe discute des idées exprimées mais aussi des formulations. Le maître saisit l'occasion pour amener les élèves à distinguer un constat (on a seulement décrit ce que l'on a vu) d'une opinion (on est d'accord ou pas). Il incite les élèves à argumenter lorsqu'ils émettent une opinion.

► Séance 3

Après avoir réaffiché les dessins et écrits en groupe de la séance précédente, le maître invite les élèves à relire les affiches et à formuler clairement ce que l'on croit savoir et les questions qu'ils se posent. Un certain nombre de controverses sont engagées au sujet de la dureté des os, de la façon dont ils sont solidaires, de la nature et du rôle des muscles. Le maître écrit sur une affiche, sous la dictée des élèves : « Ce que nous croyons vrai, aujourd'hui (date) concernant les mouvements corporels » et « Les questions que nous nous posons pour mieux comprendre comment notre corps effectue des mouvements ».

Ce que nous croyons vrai,
aujourd'hui (date) concernant
les mouvements corporels

Les questions que nous nous posons
pour mieux comprendre comment notre corps
effectue des mouvements

► Séance 4

La relecture par les élèves de l'affiche qui a été élaborée lors de la séance précédente les conduit à la nécessité d'observer un squelette.

Les élèves observent le squelette (en matière plastique) pour chercher à répondre aux questions posées à la séance précédente. Chaque élève dessine le squelette sur son carnet de bord et écrit ce qu'il pense avoir compris. Puis une discussion collective prend place où le maître introduit les noms des principaux os : crâne, mâchoire, vertèbres, côtes, humérus, radius, cubitus, fémur, tibia, péroné, rotule, os des doigts et os des orteils.

Les élèves formulent avec son aide ce qu'ils ont appris et les nouvelles questions qu'ils se posent. Une nouvelle controverse s'engage notamment au sujet des relations entre les os au niveau des articulations. En effet, sur le squelette en matière plastique, les os sont attachés entre eux par des vis et des écrous.

Le maître écrit sous la dictée des enfants :

Ce que nous croyons vrai,
aujourd'hui (date) concernant
les mouvements corporels

Les questions que nous nous posons

Le maître décide, avec les élèves, qu'il faut poursuivre les investigations.

Des radiographies seront utilisées pour voir l'emboîtement des os. On recherchera dans les encyclopédies des réponses aux autres questions sur les os. Le maître distribue à chacun un schéma de squelette sur lequel les élèves placent les légendes en utilisant une liste de mots écrits au tableau.

► Séance 5

À l'aide des affiches produites lors des dernières séances, le maître fait rappeler les questions posées et les réponses déjà obtenues. On convient qu'il reste à comprendre comment les os sont liés entre eux et ce qui fait bouger les différentes parties de notre corps.

Les élèves proposent de disséquer un animal et de faire des expériences (ils ne savent pas trop lesquelles).

Le maître propose alors de disséquer des cuisses de grenouille (une demi-classe divisée en groupes) et de construire des maquettes analogiques du membre supérieur (l'autre demi-classe divisée en groupes) pour essayer de comprendre comment les os peuvent être reliés et actionnés.

Quel que soit le type d'activité, chaque groupe doit représenter ce qu'il a observé ou ce qu'il a construit et expliquer ce qu'il a compris. Une confrontation des différentes réponses est engagée.

Suite à ces activités, un premier bilan est élaboré et affiché dans la classe.

Une recherche documentaire (manuels) en groupes permet de compléter les informations et de vérifier que l'on ne s'est pas trompé.

Une mise en commun conduit le maître à écrire au tableau ce que disent les élèves :

- les ligaments, un peu élastiques, tiennent les os solidement ;
- les muscles en se contractant font bouger les os ;
- les muscles en se contractant se raccourcissent et gonflent, ils deviennent durs.

► Séance 6

L'activité se déroule dans le cadre des activités de Français. Les élèves sont repartis de leurs questions-problèmes et ont construit une explication en faisant la synthèse de tous les éléments de réponses obtenus lors des activités de résolution de ce problème de biologie (figure 4).

Figure 4 :

La trace écrite de structuration (le texte de savoir définitif)

Notre **squelette** est constitué de 206 os. Ils sont durs et cassants. C'est au niveau des **articulations** que les os peuvent se déplacer les uns par rapport aux autres. Ainsi, on peut effectuer des **mouvements**.

Les os sont **emboîtés** et maintenus l'un face à l'autre par des **ligaments**.

Pour protéger la tête des os au niveau des articulations, ils sont recouverts de **cartilage**.

1.3.2 Analyse de la séquence 1

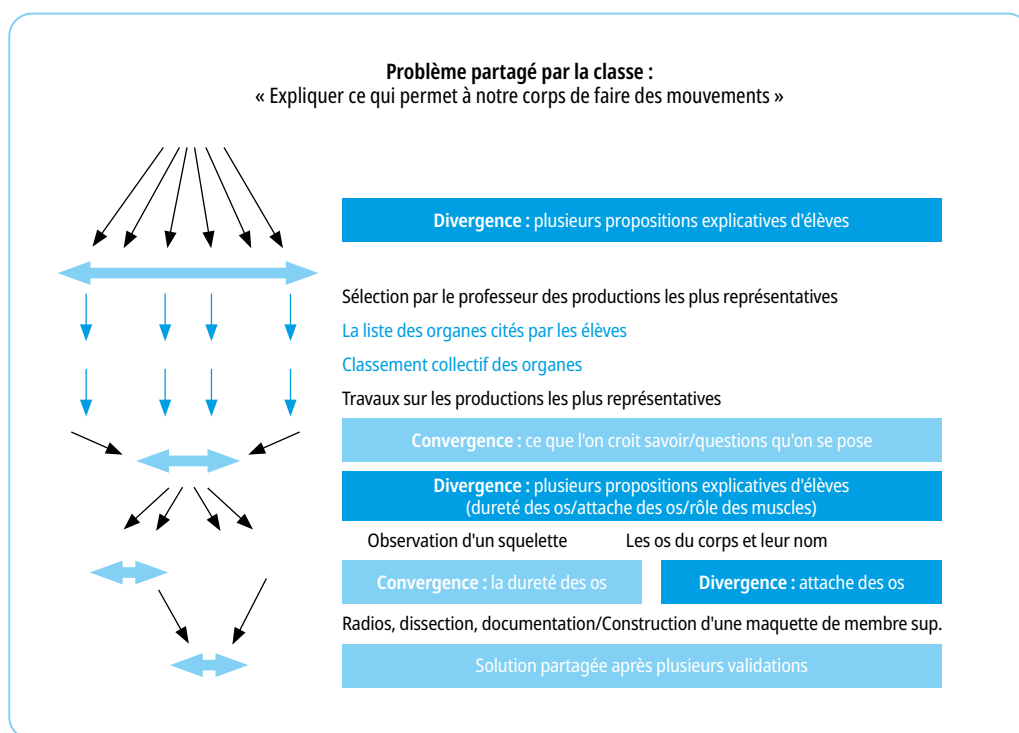
► La logique d'ensemble de fonctionnement de la séquence

Pour saisir de manière globale la logique de fonctionnement de la séquence 1, nous l'avons schématisée (figure 5) en distinguant deux grands types de moments (Orange Ravachol, 2011) :

- les moments d'activités divergentes, où les élèves sont susceptibles de produire des réponses différentes (par exemple les situations où l'enseignant demande aux élèves de développer leurs conceptions ; voir ici la séance 1) ;
- ces moments doivent nécessairement être suivis, à un moment ou à un autre, de situations faisant converger ces mêmes élèves vers un point d'étape pensé par l'enseignant ou vers un texte commun de savoir (séance 3 par exemple).

Figure 5 :

Moments d'activités divergentes et convergentes dans la séquence 1



La prise en compte de l'ensemble de la séquence 1 donne à voir une orientation vers une réponse au problème partagée par la classe, réponse construite et vérifiée progressivement tout au long de la séquence. Nous identifions en effet, tout au long de la séquence, d'une part, une filtration de « *ce que nous croyons vrai* » et d'autre part le souci d'effectuer des vérifications jugées nécessaires. Dans ce que proposent les élèves, un tri s'opère donc selon une logique guidée par la recherche du vrai. La réfutation, bien que moins mise en valeur, est implicitement présente (logique de réfutation de Popper).

► Des investigations sur les idées et sur le « réel »

Les élèves font des investigations sur leurs idées en plusieurs moments :

- lorsqu'ils se dessinent en train de danser (individuel, séance 1) ;
- lorsqu'ils recherchent une explication sur ce qui permet à notre corps de faire des mouvements (dessin de ce qu'il se passe alors dans leur bras) (individuel, séance 1) ;
- lorsqu'en collectif, ils discutent des idées exprimées par les groupes (séance 2) ;
- lorsqu'ils envisagent les relations entre les os au niveau d'une articulation (séance 4) ;
- lorsqu'ils construisent une maquette de bras (séance 5), la maquette étant une concrétisation de leurs idées.

Ils font aussi des investigations sur le « réel » (squelette, radiographie, cuisse de grenouille) pour tester leurs idées et dégager ce qu'ils « croient vrai » ou effectuer des vérifications (séance 5).

► Les pratiques langagières et la teneur problématique de l'écrit terminal

Les productions langagières, écrits et oraux en articulation, sont omniprésentes et variées :

- écrit individuel, écrit de groupe, écrit collectif ; écrit de travail, écrits terminaux ;
- débats, discussions, controverses (à l'échelle de groupe ou de la classe).

Bien que ces pratiques engagent les élèves dans l'argumentation et contribuent à donner de l'apodicticité au savoir en construction, nous notons que l'écrit terminal (figure 4) ne conserve pas de traces de ce processus. Cet écrit a deux caractéristiques principales :

- il expose un savoir assertorique, en ce sens qu'il se limite à la solution de l'explication des mouvements corporels et ne porte pas de traces d'argumentation et de « vérification »/réfutation ;
- il est propositionnel (Astolfi, 1992), du fait qu'il mêle des énoncés descriptifs des os du corps à la solution du problème explicatif (figure 6).

Figure 6 :

Le texte de savoir définitif

Notre **squelette** est constitué de 206 os. Ils sont durs et cassants. C'est au niveau des **articulations** que les os peuvent se déplacer les uns par rapport aux autres. Ainsi, on peut effectuer des **mouvements**.

Les os sont **emboîtés** et maintenus l'un face à l'autre par des **ligaments**.

Pour protéger la tête des os au niveau des articulations, ils sont recouverts de **cartilage**.

En bleu : Énoncés descriptifs des os du corps

En noir : La solution au problème explicatif des mouvements corporels

1.4 Présentation et analyse de la séquence 2

1.4.1 Présentation de la séquence 2 (classe d'Éric Maleyrot, Nantes)

→ **Orange, C., & Orange Ravachol, D.** (2007). *Actes des 5^e rencontres de l'ARDIST*, La Grande Motte. Disponible sur : https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/Actes_2007.pdf

Cette séquence comporte 9 séances dont nous présentons ci-après le contenu. C'est une « séquence forcée » (*voir le glossaire*) construite dans le cadre de l'apprentissage par problématisation (*voir le glossaire*).

► Séances 1 et 2

Par écrit, individuellement puis en groupes homogènes du point de vue des conceptions, les élèves tentent de répondre à la question suivante :

« Fais le schéma de ce qu'il y a dans le bras lorsqu'il est en position 1 et en position 2 ».

Chaque élève puis chaque groupe dispose d'une feuille (A3 puis affiche) portant les silhouettes d'un membre supérieur tendu et plié et un cadre destiné à accueillir un texte explicatif (figure 7)

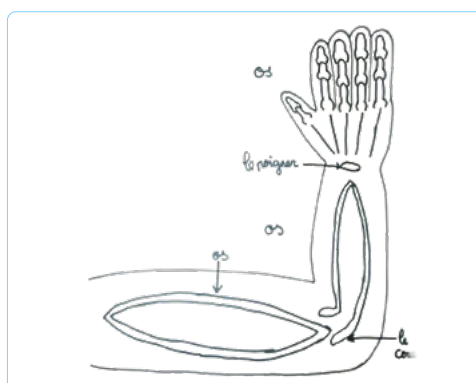
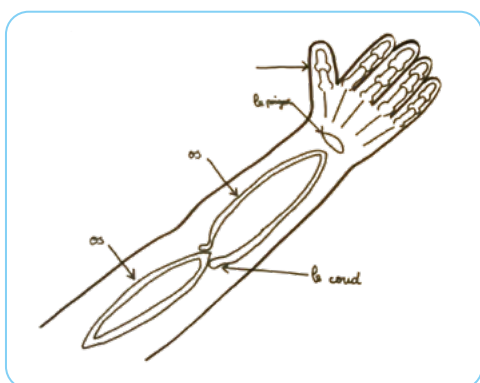
Figure 7 :

Les affiches produites par deux des groupes de la classe



Affiches du Groupe 1

(corpus Maleyrot, Orange et Orange Ravachol)



Affiches du Groupe 2

(corpus Maleyrot, Orange et Orange Ravachol)

► Séance 3

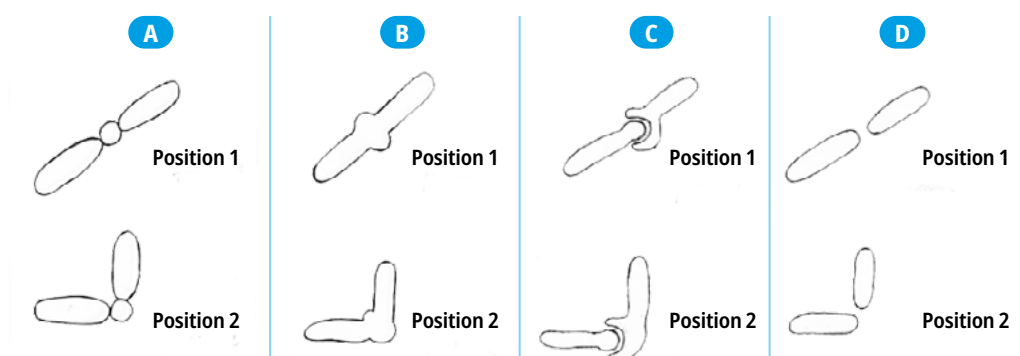
Cette séance est consacrée à la présentation et au débat sur les affiches des groupes.

► Séance 4

En s'appuyant sur les productions écrites des groupes, les chercheurs didacticiens collaborant avec le maître ont construit quatre prototypes d'explication (« caricatures ») du mouvement du bras (figure 8).

Figure 8 :

Les 4 « caricatures » soumises à la critique de la classe



Lors de la séance 4, le maître demande aux élèves, individuellement, en groupe puis collectivement, d'expliquer laquelle ou lesquelles de ces « caricatures » ne fonctionnent pas et pourquoi. La séance se termine par un écrit individuel du même type que celui qui débute la séance.

► Séance 5

Dans les écrits individuels réalisés à la fin de la 4^e séance, les chercheurs didacticiens ont sélectionné neuf raisons (figure 9) qui font que certaines représentations du membre ne peuvent pas fonctionner.

Figure 9 :

Les 9 « raisons » proposées au classement (séance 5)

En séance 5, les élèves doivent répartir ces raisons en trois catégories. Cette activité est réalisée en groupes hétérogènes du point de vue de la lecture puis en classe entière. Elle aboutit à un texte (écrit au tableau) des raisons de non-fonctionnement des modèles (figure 10):

Ça ne fonctionne pas parce que ce serait bloqué.	Ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a rien entre les deux os et parce que le bras serait tout mou.	Ça ne fonctionne pas parce que les deux parties sont fusionnées par un gros truc qui les empêche de se plier.
Ça ne fonctionne pas parce que le bras peut bouger partout.	Ça ne fonctionne pas parce que les os sont séparés et que les os vont tomber.	Ça ne fonctionne pas parce que le bras peut se plier dans tous les sens.
Ça ne fonctionne pas parce que les os ne sont pas reliés, ne sont pas attachés à quoi que ce soit.	Ça ne fonctionne pas parce que si la peau s'arrache, les os vont tomber.	Ça ne fonctionne pas parce qu'il n'y a pas de blocage.

Figure 10 :

Les raisons pour lesquelles cela ne fonctionne pas

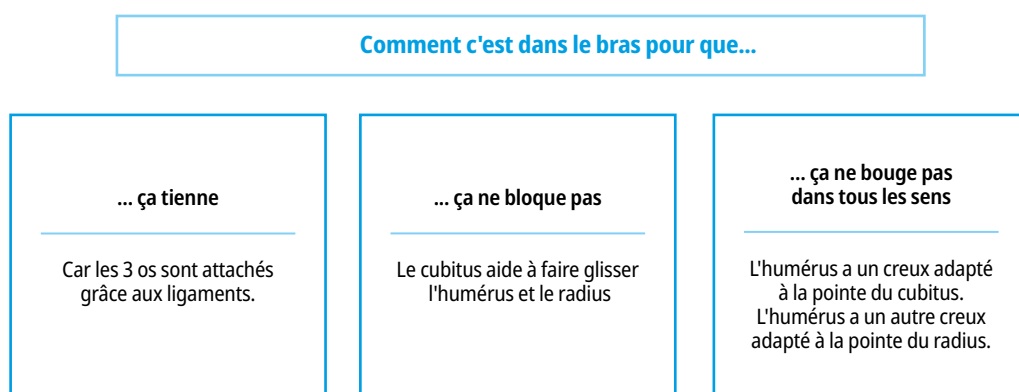
Ça ne fonctionne pas parce que :		
Ça tombe	Ça bloque	Ça bouge dans tous les sens

► Séance 6 et 7

Il s'agit de rechercher dans des documents (radiographies d'articulation, squelette du membre supérieur, schéma) « comment c'est dans le bras pour que ça ne tombe pas, ça ne bloque pas, ça ne bouge pas dans tous les sens ». Ce travail en groupes, suivi d'une mise en commun, conduit, grâce à un moment d'écriture collective, à un premier texte des savoirs sur l'articulation du coude écrit au tableau (figure 11) :

Figure 11 :

Un premier texte des savoirs sur l'articulation du coude

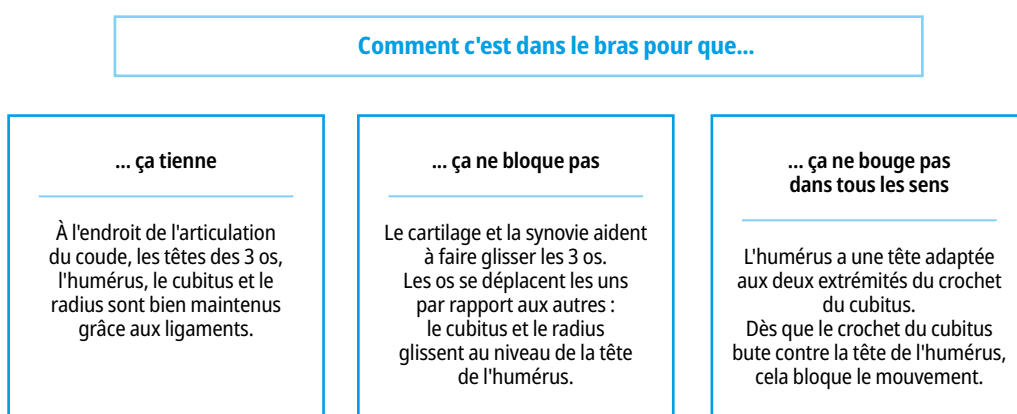


► **Séances 8 et 9**

Dans le but d'améliorer le texte produit, le maître donne aux élèves trois textes scientifiques (extraits de documentaires et de manuels). Le travail à partir de ces textes, individuel puis en groupes, débouche sur une nouvelle écriture collective. La classe aboutit au texte suivant (figure 12) :

Figure 12 :

La trace écrite de structuration (le texte de savoir définitif)

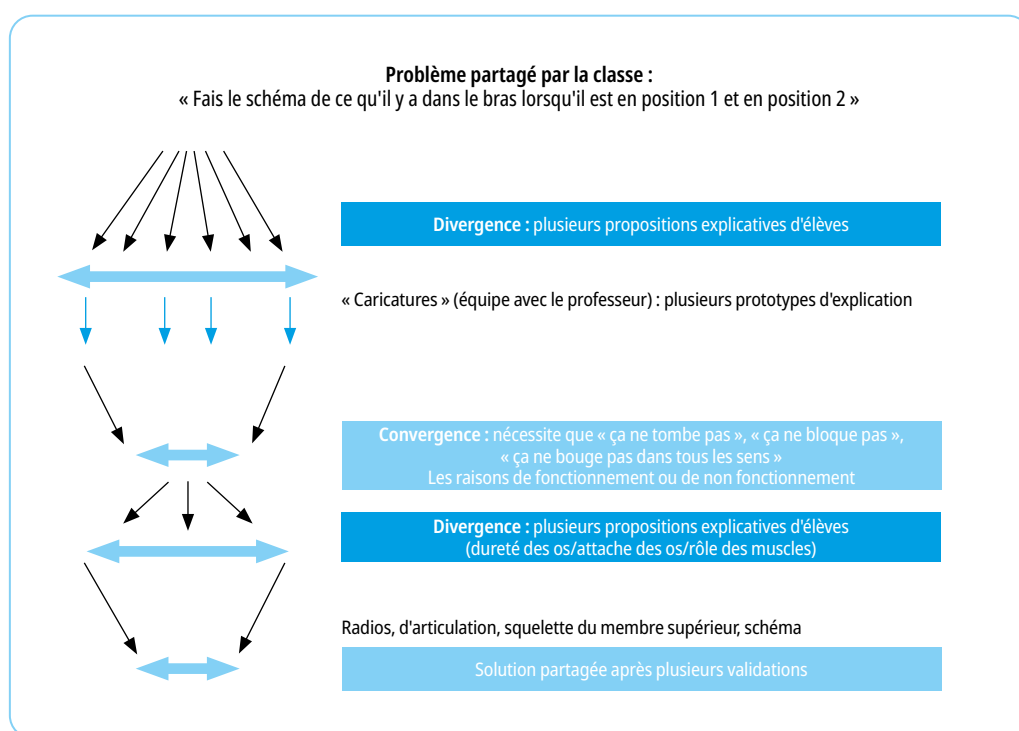


1.4.3 Analyse de la séquence 2

► La logique d'ensemble de fonctionnement de la séquence

Comme pour la séquence 1, nous appréhendons de manière globale la logique de fonctionnement de la séquence 2, en la décomposant en moments d'activités divergentes et convergentes (figure 13).

Figure 13 :
Moments d'activité divergentes et convergentes dans la séquence 2



La séquence 2, prise dans son ensemble, peut être subdivisée en deux grandes phases :

- une première phase, qui regroupe les cinq premières séances, fait passer la classe des idées explicatives des élèves sur le mouvement du membre supérieur à la formulation de raisons qui font que certains de ces modèles explicatifs ne peuvent pas fonctionner ;
- la seconde phase, à partir de la séance 6, conduit la classe des raisons identifiées à ce qui permet de les réaliser dans le corps humain et à la mise en texte finale des savoirs.

Pour expliquer le fonctionnement du membre supérieur, la logique adoptée tout au long de cette séquence explore et dégage ce qui est possible, impossible et nécessaire (logique de problématisation ; Fabre & Orange, 1997; voir le glossaire).

► Des investigations sur les idées et sur le « réel »

La première phase se caractérise par une exploration et une confrontation des idées. D'abord formulées individuellement puis en groupes, ces processus prennent une tournure nouvelle en s'exerçant sur les « caricatures » construites par l'équipe à laquelle appartient l'enseignant. Ces « caricatures » schématisent et homogénéisent la forme des modèles explicatifs soumis à la discussion, tout en les dépersonnalisant. Leur utilisation (pourquoi ce modèle peut-il ou non fonctionner ?) pousse les élèves à argumenter et à effectuer un recul critique, et ce faisant, à dégager des raisons de non-fonctionnement, qui dépassent tel ou tel modèle.

La deuxième phase articule la recherche des raisons de non-fonctionnement (investigations sur les idées) à la recherche de solutions (investigations sur le « réel »). Des documents (radiographies, squelette, schéma du coude) sont étudiés sous le contrôle critique des conditions de possibilité des solutions.

► Les pratiques langagières et la teneur problématique de l'écrit terminal

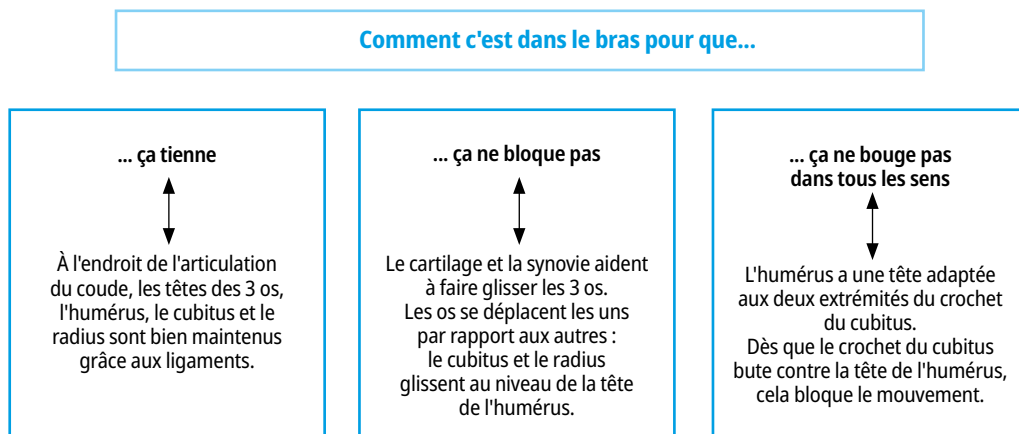
Comme pour la séquence 1, les productions langagières (écrites et orales en articulation ; individuelles, de groupe, collectives) sont omniprésentes et variées dans la séquence 2. Leurs particularités tiennent en trois points :

- la dépersonnalisation des écrits dans le courant de la séquence lorsque s'effectue le passage aux « caricatures » ;
- la mise en jeu articulée de différents types d'écrits (schémas, tableaux, textes) et de confrontations pour construire des raisons de non-fonctionnement ou de fonctionnement du membre supérieur ;
- un travail soutenu de déconstruction et de reconstruction de textes.

L'écrit terminal (tableau de la figure 12) met en valeur les nécessités fonctionnelles de réalisation du mouvement en articulation avec les caractéristiques anatomiques répondant à ces nécessités (figure 14). Il expose ainsi un savoir apodictique (*voir le glossaire*) parce que contenant à la fois la solution du problème explicatif et les raisons qui font que cette solution et pas une autre est retenue.

Figure 14 :

Le texte de savoirs final produit par la classe



1.5 Comparaison des deux séquences : éléments de synthèse

Le but poursuivi par l'analyse de ces deux séquences portant sur un même problème biologique est double :

- d'une part, montrer qu'un même problème biologique prenant en compte les conceptions des élèves et valorisant l'investigation des idées et du « réel » peut être traité selon plusieurs logiques d'investigation (« vérification »/réfutation ; problématisation) ;
- d'autre part, mettre au jour des points de vigilance sur la cohérence d'ensemble des investigations, sur les fonctions et les articulations des pratiques langagières et empiriques, et sur la nature du savoir scientifique construit (assertorique ; apodictique).

Ce sont autant de repères pour des observations et analyses de pratiques enseignantes en sciences de la vie et de la Terre.

Figure 15 :
Comparaison des deux séquences : éléments de synthèse

Séquence 1 (logique de « vérification »/réfutation)	Séquence 2 (logique de problématisation)
Même problème explicatif	
Prise en compte des propositions explicatives des élèves (investigation sur les idées)	
Investigations empiriques pour valider ou réfuter	Investigations empiriques pour répondre aux nécessités fonctionnelles
Convergence vers la « bonne » solution (pilotée par le professeur)	Convergence vers des nécessités fonctionnelles
Aboutissement à un texte de savoir assertorique	Aboutissement à un texte de savoir apodictique

RÉFÉRENCES

- Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B. & Vérin, A.** (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Paris : Retz.
- Astolfi, J.-P.** (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- Coquidé, M., Fortin, C. & Rumelhard, G.** (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *ASTER*, 49, 51-78. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2009_num_49_1_1520
- Fabre, M. & Orange, C.** (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 28-38. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1997_num_24_1_1093
- Jacob, F.** (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- Latour, B. & Woolgar, S.** (1988). *La vie de laboratoire*. Paris : La découverte.
- Martinand, J.-L.** (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- Orange Ravachol, D.** (2011). Apprentissage et médiation enseignante en sciences et en information-documentation. *MÉDIADOC-FADBEN*, 7, 7-10.
- Orange Ravachol, D.** (2010). Collaboration chercheur didacticien / enseignant et choix de l'enseignant en situation scolaire : une étude de cas en sciences de la Terre. *Recherches en Education*, Hors Série 1, 47-59.
- Orange, C. & Orange Ravachol, D.** (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des 5^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, La Grande Motte, 305-312. Disponible sur : https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/Actes_2007.pdf
- Popper, K. R.** (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- Vérin, A.** (1995). Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences. *REPÈRES*, 12. https://www.persee.fr/doc/reper_1157-1330_1995_num_12_1_2155
- Vérin, A.** (1988). Apprendre à écrire pour apprendre les sciences. *ASTER*, 6. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1988_num_6_1_1300

2 ENSEIGNER LA DIGESTION À LA FIN DE L'ÉCOLE PRIMAIRE

2.1 Enjeux éducatifs

L'enseignement des sciences à l'école primaire ne consiste pas simplement à transmettre des connaissances validées par la science au cours de leçons magistrales, mais à faire évoluer les conceptions initiales que les élèves construisent spontanément pour expliquer les faits et phénomènes du monde en construisant des compétences relevant de connaissances, capacités et attitudes.

L'étude de la digestion est prescrite dans les pays francophones à l'école primaire. Elle constitue une entrée privilégiée pour comprendre le fonctionnement du corps humain, initier les élèves à la notion d'appareil (un ensemble d'organes à fonction déterminée) et permet de questionner les relations entre alimentation, production et utilisation d'énergie par l'organisme, et la santé. Dans les programmes de fin d'école primaire, la digestion est un thème pour aborder le trajet et la transformation des aliments puis leur absorption.

2.2 Enjeux didactiques : représentations initiales, objectifs-obstacles

À l'école primaire, l'enseignement de la digestion constitue un domaine emblématique où les conceptions préalables jouent un rôle central dans l'apprentissage. En effet, les recherches en didactique des sciences (De Vecchi & Giordan, 2002) ont montré que les élèves de cet âge possèdent déjà des représentations initiales personnelles du fonctionnement du corps humain. Concernant la digestion (Paccaud & Vuala, 1999), beaucoup pensent par exemple que les aliments sont « réduits en miettes » simplement par un broyage mécanique, ou encore qu'ils « disparaissent » dans le ventre pour donner directement de l'énergie, sans comprendre les processus chimiques de transformation. Ils pensent également souvent qu'il existe un tri dans notre corps (bon/mauvais ou liquide/solide). Un autre élément qui ressort des représentations est l'origine de l'urine qui serait liée directement à l'ingestion de liquide (l'eau va directement de la bouche vers la vessie).

Ces conceptions, bien que scientifiquement erronées, sont cohérentes pour l'élève à partir de son expérience quotidienne et constituent un système explicatif qui fonctionne dans de nombreuses situations. Elles doivent donc être prises en compte et confrontées aux savoirs scientifiques à construire. Elles constituent des aides aux apprentissages sur lesquelles il faut que l'enseignant s'appuie et doivent être prises en compte dans leur dimension d'obstacle à l'apprentissage.

C'est ici qu'intervient la notion d'objectif-obstacle, contribution fondamentale de la didactique qui aide dans la planification de séquences pédagogiques en classe. La notion d'objectif-obstacle, développée par Martinand (1986) et inspirée de Bachelard (1938), peut être intégrée dans une démarche d'investigation pour construire un savoir scientifique ; cette démarche propose :

- d'identifier une ou des connaissance(s) intuitive(s) erronée(s) (une ou des conception(s)) ;
- d'en faire un levier didactique pour provoquer un changement conceptuel et une structuration d'un nouveau savoir ;
- d'organiser la séquence autour d'activités (séances) qui déstabilisent ces représentations.

Le concept d'objectif-obstacle sert à désigner des connaissances initiales des élèves qui, tout en étant utiles à un certain niveau de raisonnement, peuvent freiner l'accès à une compréhension plus élaborée. Par exemple, penser que la digestion s'arrête à l'estomac constitue un obstacle à la compréhension de l'absorption intestinale des nutriments. L'enseignant doit alors construire des situations-problèmes qui provoquent un déséquilibre cognitif, amenant l'élève à remettre en question sa représentation initiale. La confrontation des représentations initiales des élèves d'une classe permet de créer des conflits désignés souvent par « socio-cognitifs » : ils déstabilisent, questionnent et motivent pour en savoir plus et mieux.

Concrètement, cela suppose pour l'enseignant :

- de faire développer les conceptions des élèves en début de séquence (par un débat, un dessin, une question ouverte) ;
- d'identifier celles qui peuvent devenir des leviers de discussion scientifique ;
- de formuler et d'adapter des objectifs d'apprentissage en lien avec ces obstacles (par exemple, comprendre que la digestion transforme les aliments en nutriments absorbables) ;
- de concevoir des activités d'investigation, d'observation ou de modélisation pour faire évoluer ces représentations.

En articulant ainsi diagnostic des conceptions, analyse des obstacles et choix didactiques adaptés, l'enseignant permet à ses élèves d'accompagner les ruptures dans leurs savoirs, de construire une compréhension plus juste, plus complexe, et scientifiquement fondée des faits et phénomènes digestifs.

La suite de cette partie de chapitre s'organise en trois parties successives, qui relèvent du travail de l'enseignant en classe de sciences : analyser des productions initiales recueillies dans sa classe / analyser un moment de confrontation de ces productions initiales / enfin, analyser et penser des activités de classe pour résoudre un ensemble de problèmes posés.

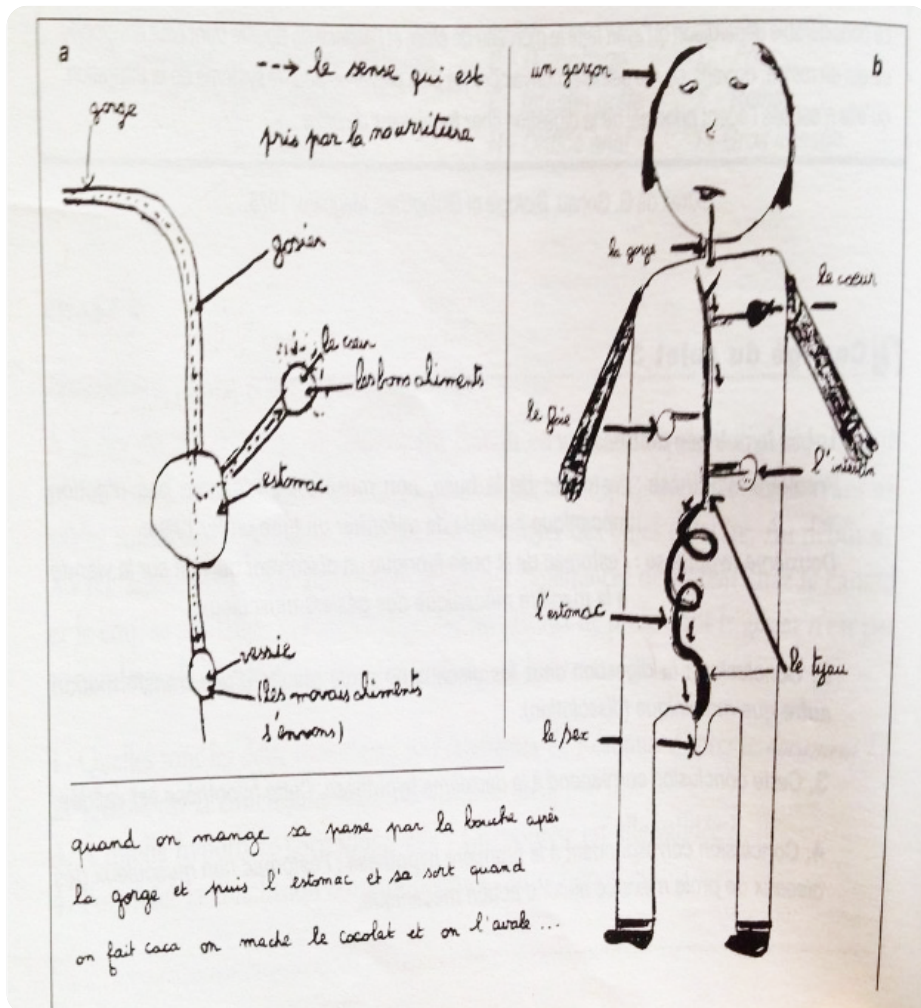
2.3 Une séquence 1 – Analyser des productions initiales

Au début de cette séquence, l'enseignant de fin d'école primaire (10-12 ans) interroge ses élèves en posant la question suivante : « explique par un dessin et par un texte le trajet d'un aliment et ce qu'il devient ».

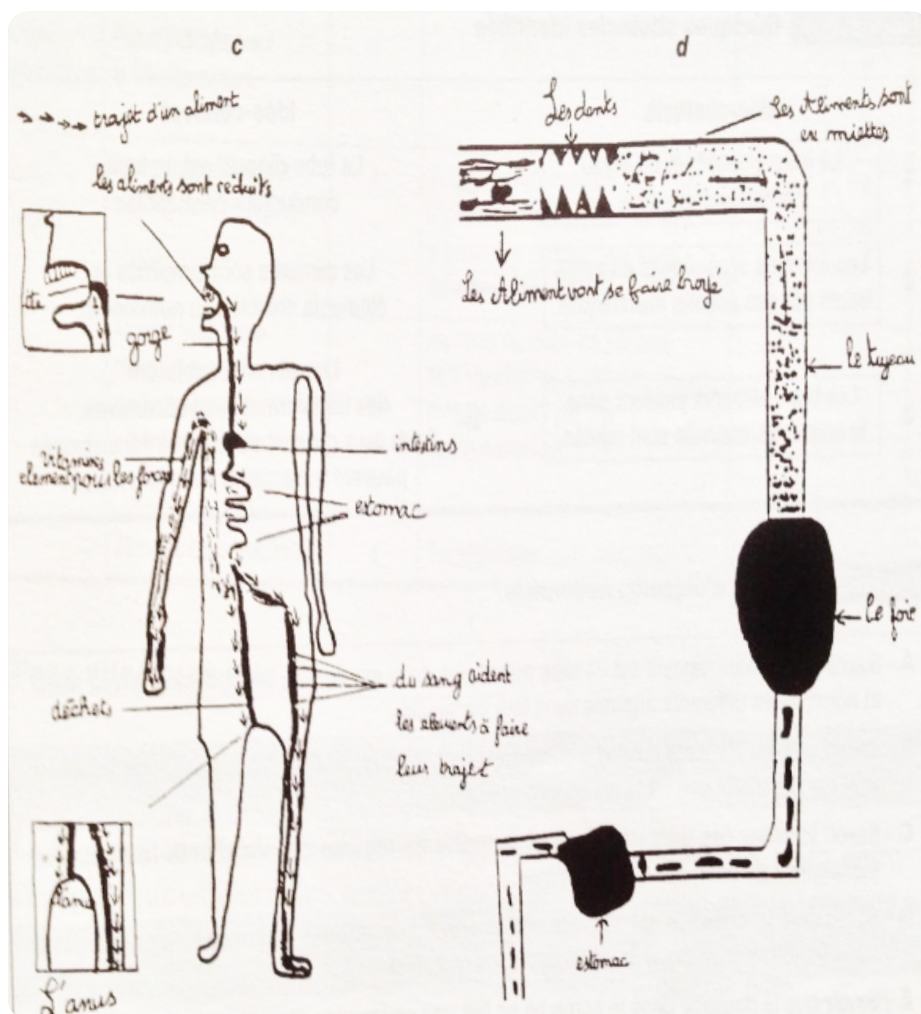
Cette question, visant à faire émerger les représentations, interroge à la fois l'anatomie (appareil digestif appréhendé comme l'ensemble formé du tube digestif — bouche, œsophage, estomac, intestin grêle, gros intestin et anus — et des glandes qui y sont reliées) et le fonctionnement/processus de la digestion (le devenir des aliments).

Six productions d'élèves (a, b, c, d, e et f) sont proposées ci-dessous dans le document 1. Elles renvoient à des catégories de conceptions que le lecteur va découvrir.

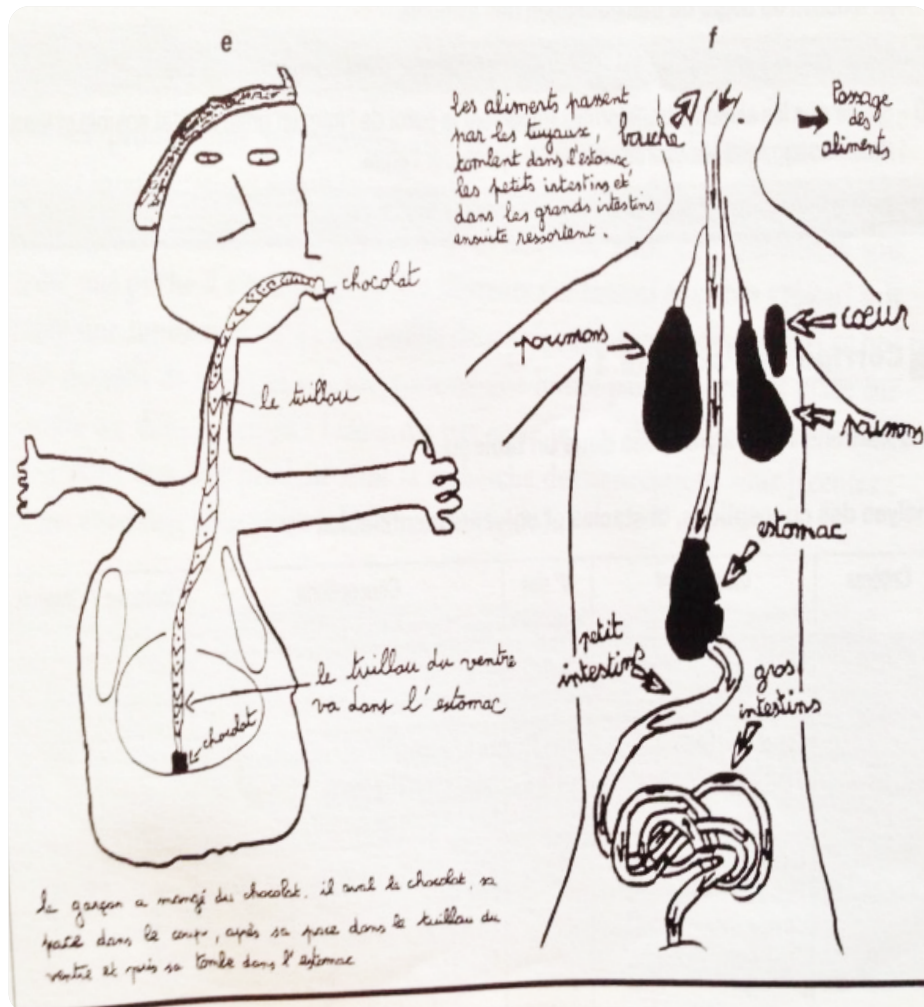
Document 1 :
Productions a et b



Document 2 :
Productions c et d



Document 3 :
Productions e et f



L'analyse de ces conceptions permet d'identifier trois obstacles à dépasser pour construire le concept. Ces éléments sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Idée-obstacle	Idée-concept
Le tube digestif est un tuyau conducteur étanche	Le tube digestif est un tuyau conducteur perméable
Les aliments sont réduits en petits bouts par des actions mécaniques	Les aliments sont simplifiés en éléments solubles ou nutriments (de plus petite taille moléculaire)
Les bons aliments passent dans le corps, les mauvais sont rejetés	Les aliments subissent des transformations successives. Seuls ceux qui sont suffisamment transformés peuvent traverser la paroi intestinale pour aller dans le sang

À la suite de cette analyse, l'enseignant a explicité les objectifs d'apprentissage ci-dessous (objectifs notionnels) :

- A** Savoir que le tube digestif est un tube perméable ouvert aux deux extrémités (bouche/anus).
- B** Savoir situer et nommer les différents organes dans leur continuité.
- C** Savoir localiser ces transformations et connaître les organes ou mécanismes responsables, notamment du point de vue mécanique.
- D** Savoir que la digestion correspond à la fois à une transformation mécanique, mais aussi à une transformation chimique (citer quelques sucs digestifs).
- E** Savoir que le passage dans le corps ne dépend pas du critère « bon/mauvais », mais du degré de transformation des aliments et de la taille, pour le passage dans le sang (absorption intestinale).
- F** Savoir que le tube digestif est un « tuyau conducteur », mais aussi perméable.
- G** Savoir que les aliments transformés traversent la paroi de l'intestin grâce à l'état soluble (taille réduite) pour rejoindre le sang, et que les excréments sont rejetés par l'an.
- H** Savoir que les nutriments sont transportés dans l'ensemble du corps.

Points de vigilance pour l'enseignant et le formateur

- **Choix des critères du classement** : c'est la formulation de la consigne/question initiale qui guide le choix des critères. Ici, deux critères sont à retenir : trajet et devenir. D'autres peuvent bien sûr émerger lors de l'analyse des productions (exactitude du dessin, des termes utilisés...) mais ils doivent être considérés comme seconds par rapport au problème posé.
- **Interprétation des productions** : certaines représentations ne peuvent pas être interprétées, ou admettent plusieurs interprétations. Par exemple, la représentation d'un trajet se terminant par une poche fermée (souvent un estomac) peut être considérée soit comme une poche d'accumulation (« les aliments s'entassent et ça fait grossir ») soit comme une limite à ce qu'il est possible de représenter (« on ne dessine pas ce qui est au-dessous de la ceinture »), soit comme une limite par rapport à la place sur la feuille ou dans le temps (« l'élève n'a pas eu le temps de terminer son travail »). Il faut donc être très prudent dans la recherche des conceptions sous-jacentes ; seul un entretien peut aider à lever les ambiguïtés.
- **Problème du choix des obstacles et des objectifs d'apprentissage** : l'enseignant doit choisir parmi tous les obstacles repérés ceux qui semblent pouvoir être dépassés par les élèves. La notion de simplification moléculaire ne semble pas abordable à l'école primaire, mais le passage des aliments à l'état soluble (de taille moléculaire réduite) peut être travaillé pour permettre la compréhension du mécanisme de traversée passive de membrane. Le tableau ci-après propose quelques hypothèses sur l'origine des conceptions et des obstacles rencontrés dans la construction de ce concept. Ce travail, qui nécessite l'analyse d'un large corpus de productions, peut permettre à l'enseignant d'être plus attentif aux difficultés rencontrées par les élèves.

Les conceptions peuvent donc constituer soit une aide, soit un obstacle. Ces éléments sont discutés dans le document de Paccaud & Vuala (1999) présenté ci-dessous :

Conceptions : aide ou obstacle

Tout élève peut éprouver le besoin de donner du sens à son fonctionnement biologique comme « *le trajet et le devenir des aliments dans son corps* »

MAIS

il n'a accès ni à sa réalité corporelle interne, ni à l'infiniment petit de la matière,

ALORS

Il s'appuie sur

les manifestations
extérieures de son
fonctionnement interne

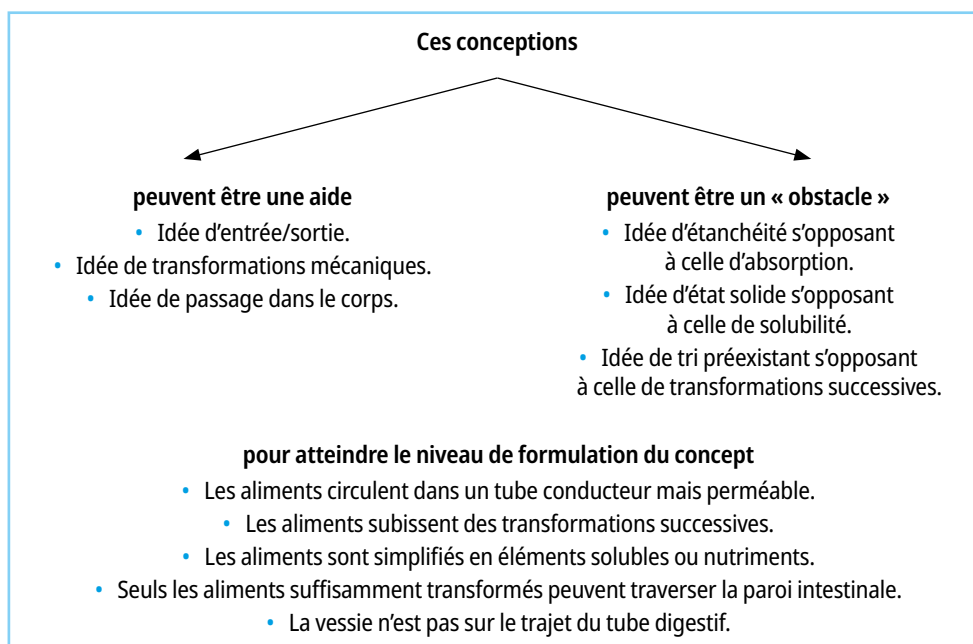
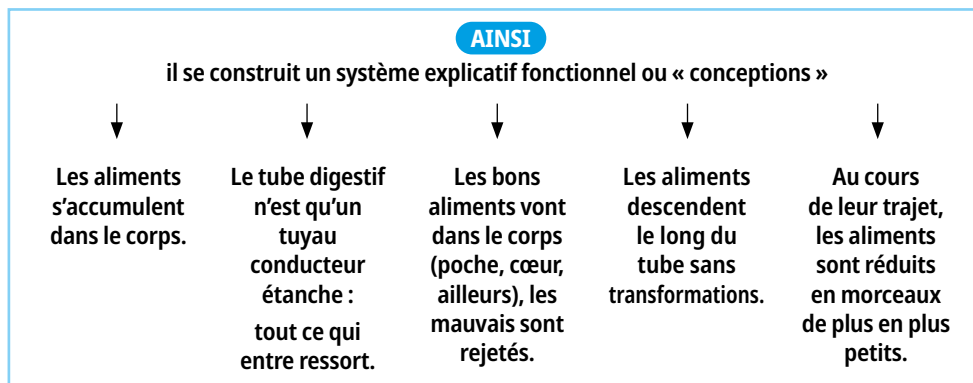
- Les excréments ne ressemblent pas du tout aux aliments.
- Les aliments entrent par la bouche, les excréments sortent par l'anus.
- Il y a un orifice d'entrée, deux orifices de sortie.
- Certains aliments colorent les selles.
- Le vomi, c'est des petits morceaux et ça sent mauvais.

le langage commun
qui évoque la fonction
biologique en cause

- L'utilisation des mots : tube, tuyau, aliments bons ou mauvais.
- L'utilisation de l'expression : c'est bon pour le corps.

des modèles de la vie
quotidienne qui lui
semblent pertinents

- Modèle du tuyau conducteur étanche (canalisation d'eau, tuyau d'arrosage...) où il y a écoulement d'un bout à l'autre.
- Modèle du tri par opposition de deux catégories : bon/mauvais, liquide/solide.
- Modèle de la fragmentation : on peut réduire un aliment solide en morceaux de plus en plus petits.



2.4 Une séquence 2 – Analyser une confrontation de productions initiales

En classe, les dessins des élèves sont affichés. Chaque élève, à son tour, explique sa production. Les idées émergent et sont confrontées. Des questions-problèmes sont formulées. Les élèves expriment des désaccords, les idées divergent : la démarche permet ainsi de progresser dans le travail. Un extrait d'une séance de confrontation est retranscrit ci-dessous, les numéros correspondent aux différentes interventions d'élèves.

Élève 1 - Ils ne sont pas tous pareils.

Élève 2 - Certains ont des tuyaux qui tournent.

Élève 3 - Y'a des bons aliments et des mauvais aliments.

Élève 4 - Ça va dans le corps ; y'a des aliments pour les muscles.

Élève 5 - Certains vont dans le sang ; certains ne vont pas dans le sang mais vont dans le corps.

Élève 6 - Y'a des dessins où ça s'arrête ; ça s'arrête comme ça ; si on mangeait beaucoup, ça va grossir, grossir ; ça ne se consomme pas...

Élève 7 - (*moqueur*) Il est complet le chocolat quand il arrive dans l'estomac ?

Élève 8 - Y'a deux tuyaux : ce sont les tuyaux digestifs, l'intestin grêle et le gros intestin.

Élève 9 - Tout le monde a oublié les bronches.

Élève 10 - Ça ne passe pas dans les bronches, les aliments ! À tous les bonshommes, on n'a pas fait le cœur... le cœur y nettoie le sang.

Élève 11 - Les aliments, ils ne passent pas dans le cœur pourtant !

Élève 12 - C'est fait pour donner des forces au cœur.

Élève 13 - Y a aussi le foie ; les aliments ne passent pas par le foie ; l'estomac est là, le cœur ne peut pas y être... ça dépend si c'est une fille ou un garçon...

Élève 14 - Le tuyau y va nulle part !

Élève 15 - Les déchets vont dans une boîte...

Élève 16 - Mais à force ça va grossir... les mauvais aliments...

Enseignant - C'est quoi les bons aliments et les mauvais aliments ?

Élève 17 - Ça nourrit le corps... les autres... ce sont les aliments riches qui contiennent du calcium, des protéines...

Élève 18 - La poche, ça veut dire... quand on est malade, ça s'appelle l'appendicite...

Élève 19 - L'appendicite, c'est quand il y a des microbes qui vont dans l'appendice.

Élève 20 - Le chocolat, quand on le mange, y en a que la moitié... non, c'est en petites miettes, on ne peut pas l'avaler tout rond !

Élève 21 - L'aliment se transforme au fur et à mesure.

Élève 22 - L'estomac c'est rempli d'eau...

Élève 23 - Oui, parce que si on n'a pas d'eau, on meurt.

Enseignant - L'eau et les aliments, ça passe par le même endroit ?

Élève 24 - Ce n'est pas pareil, avec l'eau ça nettoie le corps, les aliments ça nourrit aussi les os et le sang.

Élève 25 - Tous les organes ont besoin d'humidité...

La lecture de cet échange permet de voir que de nouvelles conceptions sur le devenir des aliments émergent : les aliments serviraient aux muscles (élève 4) ou donneraient de la force au cœur (élève 12). D'autres idées apparaissent également sur le trajet des aliments : l'élève 15 pense que les déchets s'accumulent dans une boîte.

Ainsi, suite à ce temps fondamental de confrontation des conceptions, des questions-problèmes apparaissent. L'enseignant peut les formuler, les noter, les conserver pour la suite... Quelques exemples ici :

1. Quel est le trajet suivi par les aliments dans notre corps ?
2. Les aliments s'arrêtent-ils dans l'estomac ou ressortent-ils ?
3. Les aliments que nous mangeons restent-ils inchangés ou subissent-ils des transformations ?
4. Existe-t-il un tri entre bons et mauvais aliments ? Qu'est-ce qu'un « mauvais aliment » (ou un « bon aliment ») ?
5. Les aliments peuvent-ils passer dans le corps, les muscles, le cœur ou le sang ? Et si oui, comment ?
6. Les déchets vont être accumulés ou rejetés ? Et comment ?

2.5 Une séquence 3 — Analyser des activités pour résoudre les problèmes posés

Enseigner un sujet portant sur la connaissance de l'intérieur du corps humain ne permet guère de recourir au réel. La dissection d'un lapin (ou un autre animal), toujours délicate à entreprendre en classe, est souvent remplacée par l'observation de photographies de dissection présentées dans les manuels ou des documents trouvés sur Internet. Il faudra que l'enseignant précise qu'un lapin fonctionne (en gros) comme un humain (ce n'est pas une évidence pour un élève de cet âge). Dans les manuels plus récents, des images biomédicales (radiographies de différentes parties de l'appareil digestif) remplacent les photographies de dissection d'animaux.

Le document 2 regroupe un ensemble d'images et de textes qui permet à des élèves de trouver des réponses aux problèmes formulés. Il ne s'agit bien sûr pas de proposer tous ces documents, mais d'opérer un choix en fonction des questions auxquelles on souhaite répondre.

Document 2a et 2b :

Un appareil digestif de lapin et les contenus de cet appareil
prélevé à différents niveaux

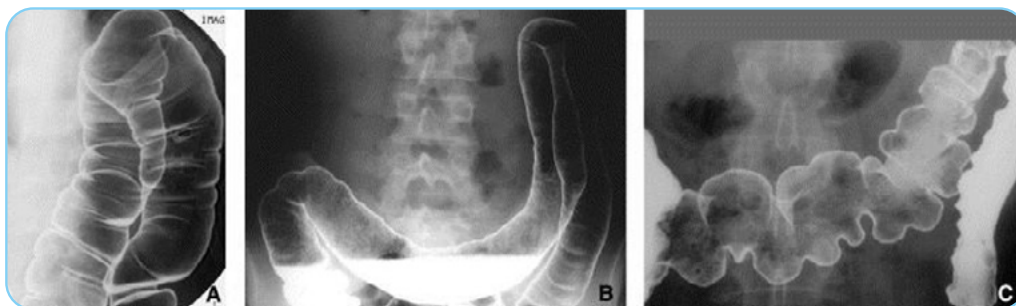
→ http://www.svtreunion.com/pages/classe-de-5eme/fonctionnement-de-l-organisme/l-appareil-digestif.html#google_vignette



Document 2c :

Radiographies de différentes parties de l'appareil digestif

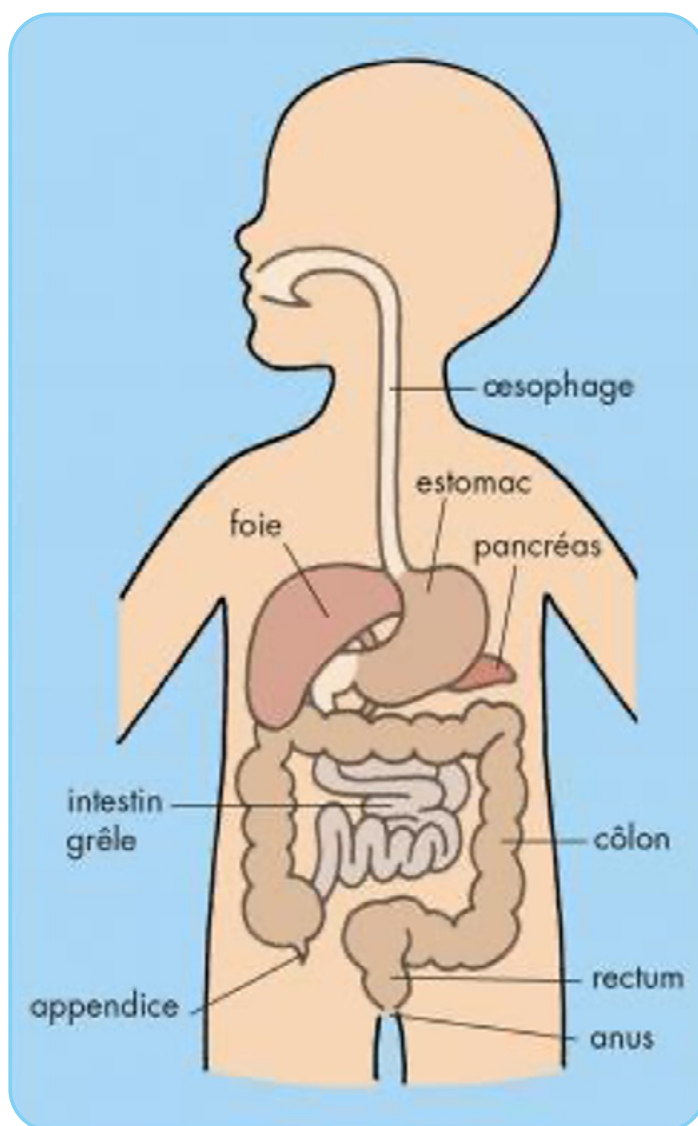
→ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1762570X04000350>



Document 2d :

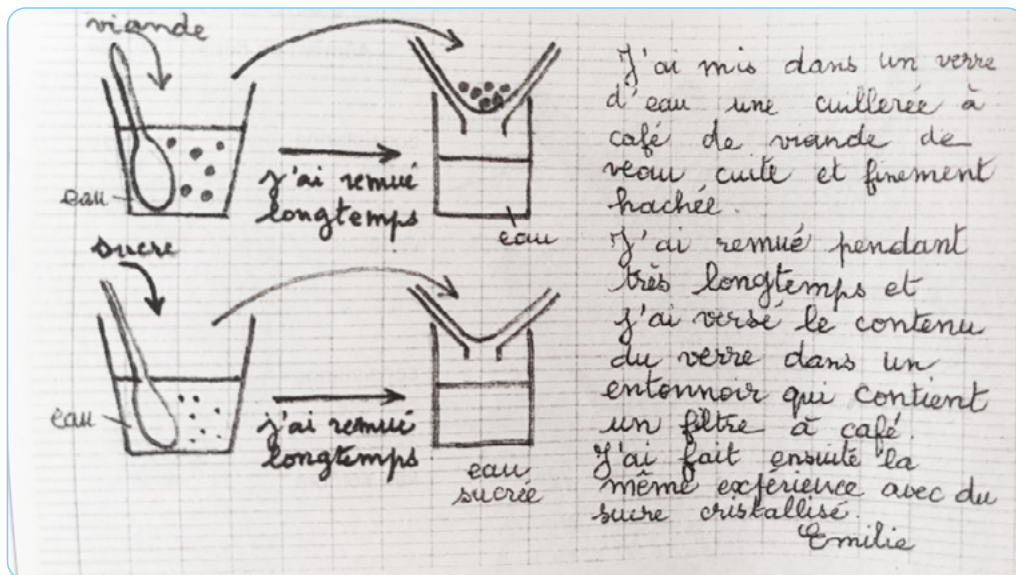
Schéma de l'appareil digestif humain

→ <https://www.sparadrap.org/enfants/dictionnaire/le-corps-humain/digestion>



Document 2e :

Des expériences pour comprendre (production d'Émilie, élève de fin d'école primaire)



Document 2f :

Photographie d'une anse d'intestin grêle



Document 2g :

Bilan des entrées et des sorties du tube digestif

Chaque jour, l'Homme mange 600 à 800 g de nourriture solide et consomme environ 2,5 l d'eau. Il rejette près de 150 g d'excréments dont 50 g de solides et 100 g d'eau. Les excréments sont toutes les substances que l'appareil digestif n'a pu digérer : l'homme ingère donc plus qu'il ne rejette.

- dans l'estomac, on trouve la totalité du repas ;
- au bout de 50 cm d'intestin grêle, 75% des aliments ont déjà disparu ;
- au bout de 2 m d'intestin grêle, environ 90% des aliments ont disparu ;
- au bout de 3 mètres, il n'en reste presque plus !

Extrait du CERPE de l'académie de Lyon, 2004.

Document 2h :

Une expérience célèbre de Spallanzani

Pendant très longtemps, la digestion a été considérée comme un simple broyage des aliments. Ce n'est qu'il y a environ deux siècles que les transformations chimiques liées à l'action des sucs digestifs ont été mises en évidence pour la première fois. Voici une expérience réalisée par un scientifique de cette époque.

Spallanzani avale un petit tube en bois, percé de nombreux petits trous, contenant un petit morceau de viande. Le tube est rejeté avec les selles vingt-quatre heures plus tard. Bien que protégée du broyage par le tube, la viande a « disparu ».

Spallanzani répète l'expérience plusieurs fois en remplaçant la viande par d'autres aliments. Dans tous les cas, il constate que l'aliment est devenu soluble.

Extrait de Sciences et technologie, Bordas, 2015.

L'ensemble d'images et de textes du document 2 a été constitué par un enseignant de fin d'école primaire. Il a repris les questions-problèmes retenues précédemment et a associé les documents les plus pertinents pour que les élèves trouvent une réponse ou un élément de réponse. Il a ensuite travaillé aux activités et tâches possibles à donner à ses élèves et les réponses attendues (en précisant parfois les limites des documents). Enfin, il a établi une correspondance entre les questions retenues, les documents qu'il a sélectionnés et les objectifs-obstacles déterminés lors de l'analyse des représentations initiales.

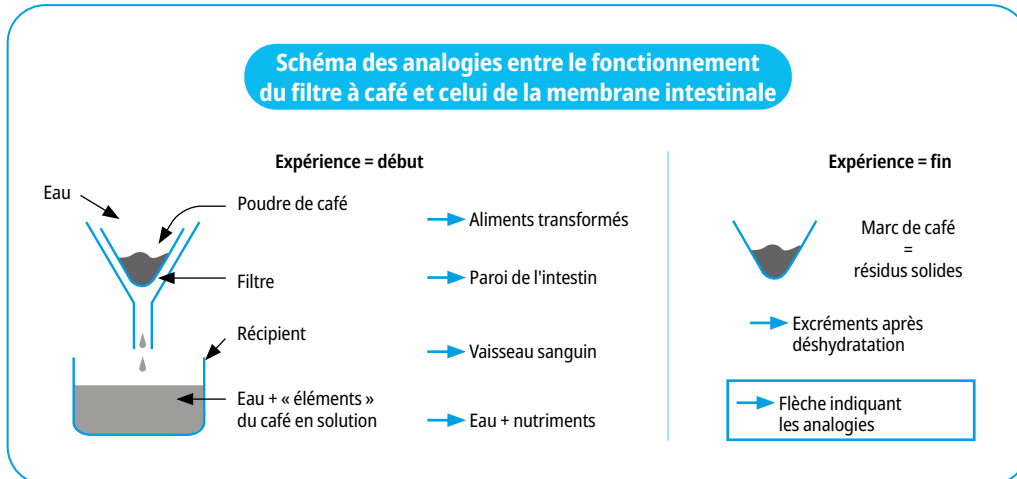
Le tableau ci-dessous résume tout le travail de l'enseignant :

Questions-problèmes	Documents et tâches données aux élèves	Réponses susceptibles d'être trouvées par l'activité proposée	Objectifs obstacles visés
1. Quel est le trajet suivi par les aliments ?	Document a Colorier le trajet sur un schéma correspondant à la photo. Découper la photo en relevant le trajet des aliments.	On peut suivre le trajet depuis l'œsophage jusqu'à la partie terminale du gros intestin avec les crottes bien visibles et construire l'idée de tube continu mais pas celle de tube ouvert puisqu'on ne voit ni la jonction bouche/œsophage ni la jonction rectum/anus. Cette activité permet de s'approprier l'ordre et le nom des organes, la notion de glandes annexes au tube digestif et de s'interroger sur la notion de tube ouvert aux deux bouts.	A
	Documents a et c Mettre en relation les différentes radios et les parties correspondantes du schéma du tube digestif. Découper les radios pour reconstruire la continuité du trajet.		
2. Les aliments s'arrêtent-ils dans l'estomac ou ressortent-ils ?	Documents d et g Analyser le bilan, en tirer des informations. Indiquer ces informations sur un schéma de l'appareil digestif.	Certains aliments ressortent, ils ne s'arrêtent pas dans l'estomac. Les aliments disparaissent dans l'intestin grêle. Dans le gros intestin, il n'y en a presque plus.	A
3. Les aliments restent-ils inchangés ou se transforment-ils ?	Documents b Décrire les quatre contenus, les comparer, formuler des questions.	Les aliments changent d'aspect, de couleur, de consistance. Le passage solide/liquide permet de poser la question de l'origine des liquides (eau des aliments, apport de sucs). Le passage liquide/solide permet de s'interroger : du liquide a disparu, où est-il passé ?	B - C

Continue en page suivante ►

Questions-problèmes	Documents et tâches données aux élèves	Réponses susceptibles d'être trouvées par l'activité proposée	Objectifs obstacles visés
4. Y a-t-il un tri entre bons, mauvais et aliments ?	Document h Schématiser l'expérience de Spallanzani (état initial, état final, résultats, conclusion). Pas de documents spécifiques.	Le travail sur l'ensemble des documents devrait permettre de trouver une réponse à cette question.	
5. Les aliments peuvent-ils passer... Comment ?	Documents f et g En réponse aux questions formulées lors de l'analyse du document b. Documents e Comparer les résultats obtenus par Émilie dans ses deux expériences ; donner les conclusions. Documents h Reprendre la conclusion de Spallanzani et la comparer à la conclusion d'Émilie.	L'analyse du bilan (doc. g) montre la disparition de la majeure partie des aliments au niveau du duodénum ; l'observation des capillaires sanguins sur la paroi de l'intestin (doc. f) permet d'émettre une hypothèse quant à l'endroit où ont pu passer les nutriments, mais il n'y a pas de preuve : il faudrait ajouter ici un document « prise de sang » qui montrerait l'augmentation de la quantité de sucre en grammes dans un litre de sang lorsqu'on boit un sirop. Seuls les aliments dissous (de plus faible taille moléculaire) traversent le filtre. Une substance de l'estomac agit sur la viande et permet sa disparition (état dissous ?) sans putréfaction.	G - D
6. Les déchets s'accumulent-ils ou sont-ils rejetés ?	Documents g À lire.	Les aliments changent d'aspect, de couleur, de consistance. Le passage solide/liquide permet de poser la question de l'origine des liquides (eau des aliments, apport de sucs). Le passage liquide/solide permet de s'interroger : du liquide a disparu, où est-il passé ?	

L'enseignant de cycle de fin d'école primaire propose à ses élèves un modèle, ensuite schématisé dans les cahiers, qui met en évidence certaines analogies entre le fonctionnement d'un filtre à café et celui de la paroi de l'intestin grêle.



Pour former les enseignants à l'enseignement des sciences, il est nécessaire de les amener à analyser *a priori* les activités et les documents, et à anticiper sur les conceptions initiales de leurs élèves. Ici, par exemple :

Il convient donc de faire une analyse *a priori* des activités et documents proposés aux élèves. Cette analyse doit porter à la fois sur le fond et sur la forme.

En ce qui concerne le fond, les activités doivent être pertinentes, en cohérence avec les problèmes posés ; il est nécessaire d'en préciser les limites.

Le modèle du filtre à café permet de montrer :

- que les éléments passent en solution ;
- que la perméabilité est bien liée à la taille des éléments, mais ce modèle est purement passif. Sur le vivant, les mécanismes sont en réalité beaucoup plus complexes (passage nécessitant de l'énergie).

Le statut de la preuve : une activité isolée ne permet généralement pas d'atteindre un objectif. Il faut en associer plusieurs pour établir un début de preuve. Par exemple, le document 2g permet de poser la question « Que sont devenus les aliments disparus ? » ; le document 2f permet d'émettre une question sur le rôle possible des nombreux vaisseaux sanguins de la surface et peut être alors une hypothèse de passage vers le sang. Chaque document apporte un élément qui permet d'accepter l'idée de passage dans le sang.

Ce type de réflexion (pertinence-limite-preuve) est valable pour toute situation proposée.

En ce qui concerne la forme, l'enseignant doit se poser ces questions :

Le document est-il lisible ? Le document peut-il être rapporté à son contexte ? (Fragment d'intestin grêle, prise de sang...) La signification des symboles est-elle donnée ou acquise (flèches, couleurs...) ? Le vocabulaire employé est-il connu et accessible ?

RÉFÉRENCES

- GetG** (2023). Séquence pédagogique sur la digestion. [Fichier pdf]. Disponible sur : <https://www.gommeetgribouillages.com/wp-content/uploads/2023/05/sequencesDIGESTION-GetG-CM1.pdf>
- Bachelard, G.** (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Martinand, J.-L.** (1986). *Connaître et transformer la matière : un problème pour la didactique des sciences*. Berne : Peter Lang.
- Paccaud, M. & Vuala, J.** (1999). *Biologie et Géologie, PE1 et PE2*. Paris : Hatier.
- De Vecchi, G. & Giordan, A.** (éd. 2002). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que ça marche ?* Paris : Delagrave.

3 APPRENTISSAGE DU PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'ALTERNATEUR : UNE PROPOSITION DIDACTIQUE

L'apprentissage de la production d'énergie électrique nécessite, de la part des élèves, une conceptualisation du principe de fonctionnement de l'alternateur. Dans cette présentation, nous suggérons une proposition didactique pour l'enseignement de ce principe en classe de troisième, testée en situation réelle. Dans ce guide, nous nous contentons de présenter une analyse *a priori* des différentes phases du dispositif didactique. Le lecteur peut retrouver le compte rendu de sa mise en œuvre et une analyse à postériori de l'action enseignante dans les travaux de recherche de Oké (2012) et (Oké & Briaud, 2014).

L'analyse *a priori* porte sur l'organisation de la séquence d'enseignement et la formulation d'une hypothèse locale relative à la déstabilisation didactique des connaissances des élèves. Nous rappelons que l'objectif de la séquence proposée est l'apprentissage de la production d'énergie électrique par l'alternateur. Plus précisément, il s'agit d'arriver à un apprentissage décontextualisé du principe de fonctionnement d'un alternateur de manière à comprendre le fonctionnement d'un barrage hydroélectrique, d'une centrale électrique et pouvoir inférer plus tard la problématique de production de l'énergie électrique. En nous référant à la théorie des situations de Brousseau (1998) et plus précisément le concept de dévolution, nous proposons un dispositif-problème (Oké & Briaud, 2012). La dévolution correspond à l'acte par lequel l'enseignant amène l'élève à accepter la responsabilité d'une situation d'apprentissage ou de la résolution d'un problème, tout en assumant lui-même les conséquences de ce transfert (Brousseau, 1998, p. 303). Le dispositif-problème est un problème principal décomposé en sous-problèmes de manière à assumer les éléments de l'étayage proposés par Bruner (1983) : réduction des degrés de liberté (T2 de la tutelle), maintien de l'orientation (T3 de la tutelle) et par une signalisation des caractéristiques déterminantes (T4 de la tutelle) tout en faisant en sorte que la tâche ne soit pas éprouvante pour les apprenants (contrôle de la frustration, T5 de la tutelle). Le problème principal est formulé comme un problème ouvert (Boilevin, 2005) :

Problème :

Partout dans la vie de tous les jours, l'énergie électrique est utilisée. Comment pouvons-nous produire de l'énergie électrique pour la consommation ?

Dans le but de réduire la portée des idées naïves des élèves, à partir d'une enquête préalable (Oké, 2012) pour les identifier, nous avons proposé un premier sous-problème.

Sous-problème 1 :

1. Réfléchir au problème sans document
2. Répondre au problème avec document

Support de travail : texte de situation de départ et texte en annexe du cahier d'activité de l'élève

Nous supposons que les élèves chercheront d'abord à résoudre le problème sans document, individuellement puis en groupe. Ensuite, ils tenteront de le résoudre à l'aide de documents, également individuellement puis en groupe. À la fin de cette première phase, la classe doit avoir construit le problème qui lui est posé. Les élèves doivent prendre conscience qu'ils ne savent pas comment produire de l'énergie électrique. Leurs propositions de réponse ou solution peuvent être, en référence aux travaux de Oké (2012) :

- ▶ nous ne pouvons pas produire d'énergie électrique parce que nous n'avons pas les moyens ;
- ▶ nous allons consulter les agents de l'entreprise qui s'en occupent pour savoir comment faire ;
- ▶ nous allons consulter des personnes et des documents à la bibliothèque pour savoir comment faire ;
- ▶ nous allons construire un barrage hydroélectrique ;
- ▶ nous allons construire une centrale électrique ;
- ▶ nous allons voir et comprendre comment est-ce que l'alternateur de vélo produit de l'énergie électrique et essayer de reproduire ce fonctionnement.

En institutionnalisant cette étape (nous ne savons pas comment produire de l'énergie électrique), l'enseignant oriente la recherche en proposant aux élèves d'analyser le fonctionnement d'une génératrice de vélo qui produit de l'énergie électrique. Cela conduit à un deuxième sous-problème :

Sous-problème 2 :

La source la plus simple de production d'énergie électrique est incontestablement la génératrice de vélo. Lorsque nous pédalons, de la lumière jaillit d'une ampoule connectée à la génératrice.

Expliquez l'allumage de la lampe par un schéma ou un texte explicatif.

Support de travail : Un texte décrivant le fonctionnement d'une génératrice de vélo, une coupe de génératrice de vélo, une génératrice de vélo démontée.

Les réponses des élèves peuvent être (en référence aux travaux de Oké, 2012) :

- ▶ l'allumage de la lampe s'explique par le courant fourni par la génératrice du vélo ;
- ▶ l'allumage de la lampe s'explique par la rotation du galet ;
- ▶ l'allumage de la lampe s'explique par la rotation de l'aimant ;
- ▶ l'allumage de la lampe s'explique par la rotation du pneu du vélo ;
- ▶ la lampe s'allume parce qu'on pédale et le vélo roule.

À l'aide d'étayages, l'enseignant conduit les élèves à formuler un savoir provisoire : « le courant électrique est produit par la rotation de l'aimant dans une bobine ». Cette conclusion explique le fonctionnement d'une génératrice, d'un alternateur de vélo. Elle conduit à l'idée que seul l'aimant peut être en mouvement par rapport à la bobine pour produire de l'énergie électrique. Selon cette posture épistémologique de l'élève, la bobine doit toujours rester fixe. Ce qui n'est pas complètement le savoir scientifique pour lequel il peut s'agir aussi du mouvement de la bobine par rapport à l'aimant. Il y a donc une nécessité didactique de faire reconstruire (décontextualisation) ce savoir aux élèves pour qu'ils apprennent le principe de fonctionnement de l'alternateur de façon non contextualisée : c'est la troisième étape du travail en classe (sous-problème 3).

Sous-problème 3 :

Le problème principal que nous cherchons à résoudre est : comment pouvons-nous produire de l'énergie électrique pour la consommation ? Cela nous a amené à examiner comment la génératrice de vélo produit l'énergie électrique et nous étions tombés d'accord sur la conclusion que : la rotation de l'aimant dans la bobine permettait à la lampe de bicyclette de s'allumer, donc permet de produire l'énergie électrique. Maintenant, nous allons observer des faits d'expérience et voir comment nous pouvons résoudre notre problème en améliorant notre conclusion provisoire.

Consigne :

1. Observe des faits d'expérience
2. Améliore la conclusion provisoire formulée au regard des nouvelles expériences dont tu viens de prendre connaissance

Dans cette phase, compte tenu des moyens limités disponibles (aimant, bobine, galvanomètre) et de l'effectif des élèves, l'enseignant va procéder à une monstration (Johsua & Dupin, 1986) en faisant déplacer un aimant par rapport à une bobine fixe reliée à un galvanomètre à zéro central, d'abord dans un sens, puis dans l'autre. Ensuite il fait déplacer la bobine par rapport à l'aimant, d'abord dans un sens, puis dans l'autre. À ce stade, il est possible que les élèves confondent le concept de courant électrique et celui d'énergie électrique (Briaud, 2010).

Le dispositif expérimental est simple. Une bobine comportant un grand nombre de spires dont les deux bornes sont reliées à un galvanomètre à zéro central (cela signifie que selon le sens du passage du courant, son aiguille dévie vers la droite ou vers la gauche). Un galvanomètre est un ampèremètre très sensible qui détecte de très faibles courants électriques.

On approche un pôle (le pôle Nord) de l'aimant de l'une des faces de la bobine ; l'aiguille du galvanomètre dévie dans un sens déterminé noté 1. Cette déviation cesse dès que le mouvement de l'aimant s'arrête.

On observe le même résultat en maintenant l'aimant immobile et en approchant la bobine (même face) du même pôle (pôle nord) : courant électrique de sens 1.

Revenons à la position initiale en plaçant maintenant le pôle Sud de l'aimant en regard de la bobine (toujours même face) et en l'approchant vivement ; le galvanomètre indique le passage d'un courant électrique dans le sens 2. Il n'indique plus rien ($i = 0$) lorsque l'aimant s'immobilise.

On obtient le même résultat en gardant l'aimant fixe et en rapprochant la bobine (même face) du pôle sud : courant électrique de sens 2.

Nous faisons l'hypothèse que l'observation de ces faits expérimentaux permet la déstabilisation du savoir provisoire formulé précédemment. Ces observations doivent conduire les élèves vers un apprentissage décontextualisé du principe de fonctionnement d'un alternateur et leur permettre d'inférer plus tard la problématique de la production d'énergie électrique dans un barrage hydroélectrique ou dans une centrale. En d'autres termes, nous faisons l'hypothèse que la déstabilisation didactique provient de l'observation de ce dernier fait expérimental. Elle amène les élèves à reformuler le savoir initial : la rotation de l'aimant dans la bobine permettait à la lampe de bicyclette de s'allumer, donc permet de produire de l'énergie électrique.

Globalement, l'expérimentation de ce dispositif nous a révélé qu'il est difficile pour des élèves travaillant seul de relier le mouvement relatif (de la bobine par rapport à l'aimant et de l'aimant par rapport à la bobine) à la création d'un courant électrique alternatif, donc au fonctionnement de l'alternateur de bicyclette. La conception substantialiste du courant électrique et la non-maîtrise de la relativité du mouvement semblent freiner l'apprentissage du fonctionnement de l'alternateur. La monstration de l'expérience mettant en jeu aimant, bobine et galvanomètre n'a pas provoqué assez vite une véritable déstabilisation du modèle de fonctionnement de l'alternateur de la bicyclette. L'apprentissage par la modélisation ne va pas de soi pour les élèves. Cette difficulté, présente dans les activités de résolution de problèmes et dans l'élaboration de nouvelles représentations, a également été mise en évidence par Dumas-Carré, Goffard et Gil-Perez (1992).

RÉFÉRENCES

- Boilevin, J.-M.** (2005). Enseigner la physique par situation-problème ou par problème ouvert. *ASTER*, 40, 13–37.
- Briaud, P.** (2010). Influence des variables didactiques sur la problématisation des apprenants : étude de cas en physique en électricité en 1^{ère} S et en formation des professeurs des écoles. In *Congrès ARET : actualité de la recherche en éducation et formation* (13-16 septembre 2010, Genève, Suisse).
- Bruner, J.-S.** (1983). *Le développement de l'enfant : savoir-faire, savoir-dire*. Paris : P.U.F.
- Dumas-Carré, A., Goffard, M., & Gil-Perez, D.** (1992). Difficulté des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, 53–75.
- Dupin, J. J., & Joshua, S.** (1986). L'électrocinétique du collège à l'université. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 683, 779–800.
- Oké, E.** (2012). Étude des activités d'enseignants et d'élèves en classe de physique par l'analyse des interactions verbales : étude de cas en 3^e et en 2^{nde} [Thèse de doctorat]. Université d'Abomey-Calavi.
- Oké, E., & Briaud, P.** (2012). Processus d'étayage d'un enseignant pour attaquer une conception erronée des élèves sur le concept de courant électrique dans un dispositif d'enseignement-apprentissage par problème au Bénin : étude de cas en classe de seconde. *Actes des 7^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Bordeaux.
- Oké, E., & Briaud, P.** (2014). Vers un apprentissage décontextualisé du phénomène de production du courant alternatif en classe de 3^e. *Actes des 8^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Marseille.

4 : DONNER DU SENS AUX ACTIVITÉS SISMQUES ET VOLCANIQUES AU COLLÈGE

4.1 Place de la séquence dans la programmation

L'étude des activités sismiques et volcaniques relève de la dynamique interne de la Terre. Ainsi, elle permettra aux apprenants et apprenantes de prendre conscience de l'ampleur, de la vitesse et de la durée des mouvements de matière dans le globe terrestre et la valeur des forces qui les provoquent. Il est rare qu'une année se passe sans que la presse ne fasse l'écho d'un ou de plusieurs tremblements de terre provoquant des destructions d'immeubles et de nombreuses victimes. Les apprenants vont mobiliser les éléments essentiels qui leur permettront d'opérer un changement de conception de la dérive des plaques, pour édifier la théorie de la tectonique des plaques qui intègre dans un ensemble cohérent des phénomènes aussi divers que les séismes, le volcanisme, la formation des chaînes de montagne, etc. Ils pourront identifier les causes de ces activités et les relations qui existent entre elles à travers l'exploitation de la dynamique du globe constaté.

L'objectif de cette thématique est donc de faire construire aux apprenants un premier modèle de la tectonique des plaques, modèle qui sera repris et enrichi au lycée. À cet effet, la mise en relation de la répartition des séismes et du volcanisme avec des éléments du relief (fosses océaniques, dorsales, chaînes de montagnes) permettra de délimiter des plaques à la surface du globe. La limite lithosphère-asthénosphère est établie à partir du constat des variations de vitesse des ondes sismiques en fonction de la profondeur. La découverte des manifestations concrètes de l'activité interne de la terre, que sont le volcanisme et les séismes, permettra à l'apprenant d'acquérir une base scientifique pour construire une première approche de la tectonique des plaques.

La consolidation des savoirs sur la mobilité des plaques doit être établie à partir de l'exploitation et de la mise en relation de faits scientifiques, et de ce qui fonde l'actuelle théorie de la tectonique des plaques. Cependant, une approche historique est possible, par exemple, confronter la théorie de Wegener aux faits scientifiques pour en tester la validité.

Les déformations de la lithosphère sont présentées simplement (strates géologiques anticlinales, synclinales...).

L'étude des séismes présente deux intérêts qu'il faudra associer :

- les séismes comme sources d'ondes dont l'enregistrement puis l'analyse ont conduit à un premier modèle de structure du globe dans lequel, les continents et les océans seront distingués par leur morphologie, leur nature et leurs roches constructives. Les notions de lithosphère et d'asthénosphère seront explicitées compte tenu des données accessibles à la classe ;
- les séismes comme indicateurs de mouvements à la surface du globe, de leur localisation et de leur nature. Il existe de vastes zones quasiment sans aucun séisme, ces zones asismiques sont appelées plaques. Ces plaques sont séparées par d'étroites bandes où est concentrée la presque totalité de la sismicité mondiale.

L'analyse de divers documents (photographies, schémas, textes...) permettra de comprendre la mise en place d'une coulée volcanique, la structure de sa lave, son origine, ses rapports avec le socle et les relations entre ces éléments.

La répartition mondiale du volcanisme orientera vers l'activité des dorsales océaniques dont l'étude sera facilitée par les documents issus des explorations sous-marines. Le problème de la formation de la lithosphère océanique sera alors posé et résolu à l'aide de documents et de débats dans la classe, pour construire la nécessité d'un renouvellement des plaques (en effet, la taille de la Terre reste à peu près constante, et si en certains endroits les plaques « disparaissent », il faut imaginer qu'en d'autres endroits, elles s'agrandissent), portant sur la mesure de l'éloignement des continents, la construction de modèles explicatifs.

La tectonique des plaques permet de décrire et d'expliquer, à l'échelle du globe, les mouvements des plaques lithosphériques (divergence ou extension au niveau des dorsales et fossés d'effondrements, convergence ou compression au niveau des fosses océaniques ou au niveau des zones de collisions).

À terme, le fonctionnement de la lithosphère va apparaître comme un système cohérent capable d'expliquer la genèse et la mise en place des roches sur les continents et sous les océans.

4.2 La fiche pédagogique (niveau collège)

► Séquence

Phases didactiques et pédagogiques	Activités de l'enseignant	Activités de l'apprenant	Observations
1. Introduction – Réveil des automatismes – Vérification des prérequis	a. L'enseignant amène les apprenants à faire un rappel de l'activité qui a fait objet d'apprentissage lors de la séance de cours précédente, ainsi que les résultats majeurs obtenus. b. L'enseignant demande aux apprenants de citer les questions de recherche formulées à l'issue de l'activité de mise en situation de la séance précédente.	a. Les apprenants répondent successivement. b. Réponse attendue : ► Comment peut-on expliquer la répartition des séismes et des volcans à la surface du globe terrestre ? ► Quels sont les mouvements des plaques et leurs conséquences ? ► Comment les habitants des zones à risques parviennent-ils à vivre dans ces régions ?	
– Orientation	L'enseignant : ► pose le problème à résoudre : Comment peut-on expliquer la répartition des séismes et des volcans à la surface du globe terrestre ? ► présente les objectifs d'apprentissage. À la fin de ce cours, chacun doit être capable de : – Expliquer la répartition des séismes à la surface du globe terrestre – Expliquer la répartition des volcans à la surface du globe terrestre – Élaborer la notion de plaque, mobile et jointive avec d'autres plaques.	Les apprenants écoutent et perçoivent les objectifs du cours.	

Continue en page suivante ►

Phases
didactiques et
pédagogiques

	Activités de l'enseignant	Activités de l'apprenant	Observations
– Élément déclencheur	L'enseignant met à la disposition des apprenants, une situation déclenchante et leur demande d'exprimer leurs perceptions des faits évoqués dans cette situation déclenchante. Texte : le récit d'un témoin <i>« Nous venions de passer un agréable dimanche d'août, le 13 août, et voilà qu'en pleine nuit, à onze heures-onze heures et quart, nous avons été subitement tirés de notre sommeil. Je croyais que c'était un avion qui passait. Mais à la seconde j'ai réalisé. Des cailloux tombaient ; le lit était drôlement balancé. J'essayai d'allumer : pas de lumière. Comme j'ai pu, je me suis faufilé à travers les escaliers qui étaient couverts de cailloux et de plâtre. J'essaie de sortir : impossible, portes coincées, fenêtres coincées... Enfin, à faire de secouer une fenêtre j'ai réussi à la faire céder. J'ai sauté par la fenêtre... On entendait crier de partout. Et ensuite nous nous sommes rendus en effet à travers le village pour voir l'ampleur du dégât. Naturellement la nuit nous a paru très longue et de temps en temps, la première émotion se renouvelait, car les secousses se sont multipliées encore pendant toute la nuit, à intervalles plus ou moins réguliers... Alors ces secousses donnaient l'impression d'une bombe qui explosait sous ses pieds, laquelle explosion était suivie d'un grondement accompagné de secousses. Nous étions comme secoués horizontalement... »</i> Source : extrait du guide pédagogique, classe de quatrième, MESFPRJ-INIFRCF-Bénin, 2015, p.30.	Les apprenants expriment leurs perceptions des faits évoqués dans la situation déclenchante.	Les apprenants peuvent formuler sous forme de questions d'autres besoins en informations sur ces faits évoqués dans la situation déclenchante.

Phases didactiques et pédagogiques

2. Présentation par l'enseignant, du problème à résoudre pour la séquence du jour et, prise en charge du travail par les apprenants

Activités de l'enseignant

- a. L'enseignant pose le problème à résoudre : Comment peut-on expliquer la répartition des séismes et des volcans à la surface du globe terrestre ?
- b. L'enseignant demande aux apprenants d'exprimer leurs conceptions initiales sur la répartition des séismes et des volcans à la surface du globe terrestre.
- c. L'enseignant précise la nature du travail à faire, puis propose aux apprenants une démarche en six étapes :
 - ▶ 1^{ère} étape : exploiter les informations sur la localisation des séismes (individuellement) ;
 - ▶ 2^e étape : exploiter les informations sur la localisation des activités volcaniques (individuellement) ;
 - ▶ 3^e étape : se rendre compte que les activités sismiques et volcaniques se situent sur des zones étroites et allongées, que toutes les zones volcaniques sont également sismiques, mais pas l'inverse (individuellement) ;
 - ▶ 4^e étape : expliquer cette répartition des activités sismiques et volcaniques (individuellement, puis en groupes homogènes du point de vue des conceptions, afin de pousser le plus loin possible le travail de la classe) ;
 - ▶ 5^e étape : Présenter et confronter des productions de groupe ;
 - ▶ 6^e étape : structurer les acquis sur des étapes précédentes pour élaborer la notion de plaque lithosphérique, mobile et jointive avec d'autres plaques (individuellement, puis en groupes homogènes du point de vue des conceptions) ;
 - ▶ 7^e étape : Présenter et confronter des productions de groupe sur l'élaboration de la notion de plaque lithosphérique, mobile et jointive avec d'autres plaques.

(Ce qui ouvre sur des problèmes à traiter plus tard au lycée : l'explication de l'origine des séismes, l'explication des activités volcaniques au niveau des dorsales et des zones de subduction).

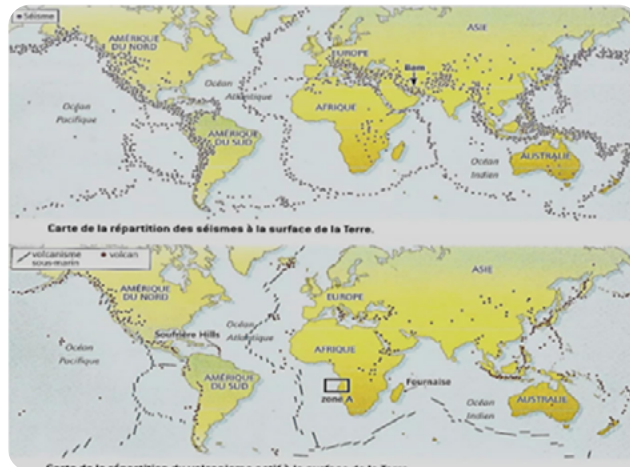
Activités de l'apprenant

- a. Les apprenants écoutent attentivement.
- b. Les apprenants expriment leurs conceptions initiales sur la répartition des séismes et des volcans à la surface du globe terrestre.
- c. Les apprenants doivent :
 - ▶ exploiter les informations sur la localisation du séisme ;
 - ▶ exploiter les informations sur la localisation des activités volcaniques ;
 - ▶ se rendre compte que les activités sismiques et volcaniques se situent sur des zones étroites et allongées, que toutes les zones volcaniques sont également sismiques, mais pas l'inverse ;
 - ▶ travailler individuellement puis en groupes homogènes du point de vue des conceptions, pour expliquer cette répartition des activités sismiques et volcaniques ;
 - ▶ présenter et confronter des productions de groupe ;
 - ▶ travailler individuellement puis en groupes homogènes du point de vue des conceptions, pour structurer les acquis sur des étapes précédentes pour élaborer la notion de plaque lithosphérique, mobile et jointive avec d'autres plaques ;
 - ▶ présenter et confronter des productions de groupe sur l'élaboration de la notion de plaque lithosphérique, mobile et jointive avec d'autres plaques.

Observations

Figure 1 :

Cartes de la répartition des séismes et volcanismes à la surface de la Terre

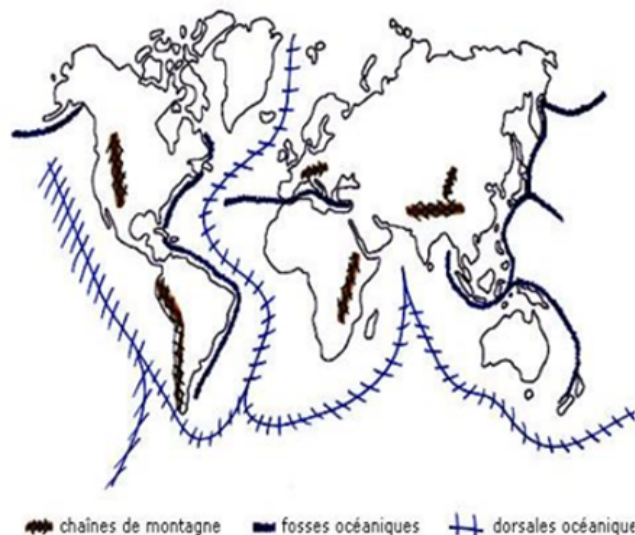


→ <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://sciencesdelavieetdelaterre93.wordpress.com/>

L'idée d'une organisation de la lithosphère en plaques en mouvement se base sur des observations faites sur les continents et au fond des océans. La lithosphère est découpée en une douzaine de plaques rigides. Les bords de ces plaques sont des zones d'intenses activités sismiques et volcaniques.

Figure 2 :

Répartition des reliefs à la surface de la Terre



Phases didactiques et pédagogiques	Activités de l'enseignant	Activités de l'apprenant	Observations
3. Ce qu'il faut retenir	L'enseignant demande au rapporteur d'un groupe d'écrire sa production au tableau. Il engage un débat autour de cette production en invitant les autres groupes à la questionner tout en y apportant des améliorations éventuelles.	Les apprenants questionnent et apportent des améliorations à la production au tableau. Réponse attendue : ▶ La mise en œuvre de la 1^{ère} étape conduit aux idées explicatives suivantes : Les séismes sont particulièrement localisés dans certaines zones de la surface terrestre. Ils se produisent surtout dans les chaînes de montagnes, près des fosses océaniques et aussi le long de l'axe des dorsales. ▶ La mise en œuvre de la 2^e étape conduit aux idées explicatives suivantes : Les volcans actifs ne sont pas répartis au hasard à la surface du globe. Sur les continents, les volcans actifs sont alignés, principalement autour de l'océan Pacifique et le long des grandes cassures. Dans les océans, les zones volcaniques se situent au niveau de l'axe des dorsales océaniques. ▶ La mise en œuvre des étapes 3, 4 et 5 conduit à la structuration suivante : La répartition des séismes et des volcans sur le globe terrestre suit les limites des plaques tectoniques. Il existe une relation entre les activités sismiques et volcaniques au niveau des dorsales. Séismes et volcanismes affectent pratiquement les mêmes zones du globe terrestre. Il s'agit des zones actives, étroites et allongées. Les zones volcaniques sont également sismiques, mais pas l'inverse. ▶ La mise en œuvre des étapes 6 et 7 conduit à la structuration suivante : La répartition des séismes et des manifestations volcaniques ont permis de délimiter les plaques à la surface du globe terrestre. La plaque lithosphérique est une unité mobile et rigide de la surface de la Terre. Elle est limitée par des frontières qui correspondent à des zones d'activité géologique intense. Elle interagit continuellement avec les autres plaques. Ces interactions façonnent la géographie et la géologie de la Terre en créant des reliefs, des séismes, des volcans et des océans.	

**Phases
didactiques et
pédagogiques**

Activités de l'enseignant

Activités de l'apprenant

Observations

4. Réinvestissement

L'enseignant propose une activité pour sensibiliser à l'idée de risque géologique, ainsi qu'aux moyens et techniques visant à en limiter les conséquences.

Les apprenants réalisent des affiches pour sensibiliser à l'idée de risque géologique, ainsi qu'aux moyens et techniques visant à en limiter les conséquences.

The background is a solid blue color. It features a large, faint, light-blue circle on the left side, which is partially cut off by the edge. Additionally, there are numerous small, light-blue rectangular segments scattered across the background, arranged in a radial pattern that suggests a larger circular structure or a stylized sunburst.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CE GUIDE se veut avant tout une ressource de référence pour la formation. Les exemples présentés n'ont pas vocation à être reproduits tels quels. Ils sont proposés comme des supports d'analyse et de discussion, destinés à être adaptés aux contextes éducatifs, aux réalités des classes et aux expériences des enseignants. Chaque situation présentée peut ainsi devenir un point de départ pour observer, questionner et enrichir les pratiques de formation.

À travers les chapitres qui le composent, ce guide met en lumière plusieurs dimensions essentielles de l'enseignement des sciences : l'attention portée aux conceptions initiales des élèves, le rôle des situations-problèmes dans les apprentissages ou encore la place de la modélisation dans la construction des savoirs. Il invite également à porter un regard attentif sur les raisonnements des élèves et à considérer l'erreur non comme un écart à corriger, mais comme une ressource précieuse pour comprendre les apprentissages et accompagner leur progression.

Cette approche s'inscrit pleinement dans l'orientation du programme APPRENDRE, qui encourage une réflexion didactique approfondie sur les pratiques d'enseignement et les conditions d'apprentissage des élèves. Les lectrices et lecteurs qui souhaitent prolonger cette réflexion pourront également se tourner vers le guide pédagogique du GTE 7 consacré à l'évaluation au service des apprentissages.

Ce guide a vocation à vivre dans les formations, dans les échanges entre formateurs et enseignants, et dans les pratiques de classe. Nous espérons qu'il donnera envie d'explorer ces démarches, de les discuter collectivement et d'en inventer de nouvelles, au plus près des réalités des classes.



BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

- APPRENDRE** (2023). Guide pour le formateur d'enseignants de mathématiques. Disponible sur : <https://apprendre.auf.org/ressource/guide-pour-le-formateur-denseignant-de-mathematiques-des-outils-didactiques-pour-penser-organiser-et-lire-la-classe/>
- Arendt, H.** (1961). *La condition de l'homme moderne*. Paris : Calmann-Lévy.
- ASTER.** (1995). *Représentations et obstacles en géologie*, 20. Disponible sur : https://www.persee.fr/issue/aster_0297-9373_1995_num_20_1?sectionId=aster_0297-9373_1995_num_20_1_1055
- ASTER.** (1991). *Respirer, digérer : assimilent-ils ?*, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/issue/aster_0297-9373_1991_num_13_1?sectionId=aster_0297-9373_1991_num_13_1_976
- Astolfi, J.-P.** (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- Astolfi, J.-P., & Develay, M.** (1989). *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., & Vérin, A.** (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Paris : Retz.
- Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B.** (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *ASTER*, 16. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_16_1_1012
- Bachelard, G.** (1967). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance* (5^e éd.). Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- Barlet, R., & Plouin, D.** (1997). La dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *ASTER*, 25, 143–174. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1997_num_25_1_1108
- Barlet, R., & Plouin, D.** (1994). L'équation-bilan en chimie un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *ASTER*, 18, 27–56. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1994_num_18_1_1020
- Ballini, P., Robardet, G., & Rolando, J. M.** (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S. *ASTER*, 24(1), 81–112. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1997_num_24_1_1095
- Benseghir, A., & Closset, J. L.** (1993). Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique : points de vue historique et didactique. *Didaskalia*, 2(1), 31–47. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1993_num_2_1_924
- Beorchia, F., & Lhoste, Y.** (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherches en éducation*, 3. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/ree/3759>
- Boilevin, J.-M.** (2005). Enseigner la physique par situation-problème ou par problème ouvert. *ASTER*, 40, 13–37.
- Boilevin, J.-M.** (2018). La démarche d'investigation : simple effet de mode ou bien nouveau mode d'enseignement des sciences ? In *Epistémologie & didactique*, 195–220.

- Bouard, R., Canac, S., & Kermen, I.** (2022). Modélisation des transformations chimiques : Mise en regard d'un programme et de pratiques enseignantes. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 25, 69–100. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/rdst/4165>
- Briaud, P.** (2010). Influence des variables didactiques sur la problématisation des apprenants : étude de cas en physique en électricité en 1ère S et en formation des professeurs des écoles. *Congrès AREF : Actualité de la recherche en éducation et formation*, 13-16 septembre 2010, Genève, Suisse.
- Bruner, J.-S.** (1983). *Le développement de l'enfant : savoir-faire, savoir-dire*. Paris : P.U.F.
- Caldas, H., & Saltiel, É.** (1995). Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 6(1), 55–71. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1995_num_6_1_976
- Canac, S.** (2021). Nom et formule chimique — Une double interprétation macroscopique et microscopique : Une difficulté pour les élèves. *Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 115(1032), 263–276.
- Canal de Leon, P.** (1992). Quel enseignement sur la nutrition des plantes en éducation "de base" ? Proposition didactique. *ASTER*, 15. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1992_num_15_1_997
- Chalmers, A. F.** (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : La Découverte.
- Charpak, G., et al.** (2005). *L'enfant et la science : L'aventure de La main à la pâte* (2^e éd.). Paris : Odile Jacob.
- Chauvet, F.** (1993). Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 750, 1–28.
- Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M.** (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *ASTER*, 7, 143–184. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1988_num_7_1_1342
- Clément, P.** (1991). Sur la persistance d'une conception : la tuyauterie continue digestion - excrétion. *ASTER*, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1991_num_13_1_978
- Closset, J. L.** (1992). Raisonnements en électricité et en hydrodynamique. *ASTER*, 14(1), 143–155. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1992_num_14_1_991
- Closset, J. L.** (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 931–948.
- Closset, J. L., & Viennot, L.** (1984). Contribution à l'étude du raisonnement naturel en physique. *Communication. Information Médias Théories*, 6(2), 398–420.
- Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G.** (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *ASTER*, 49, 51–78. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2009_num_49_1_1520
- Couchouron, M., & Viennot, L.** (2000). Les intentions didactiques manifestées dans les programmes d'électricité de 1993, classe de quatrième : mise en œuvre d'un outil pour en évaluer l'impact sur les acquis des élèves / Evaluating the effects of a new syllabus in electricity in grade 8. *Didaskalia*, 16(1), 57–80. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_2000_num_16_1_1087

- De Hosson, C.** (2009). Comment voit-on les objets qui nous entourent ? À la découverte de la lumière. Éditions Le Pommier. Disponible sur : <https://hal.science/hal-01663274/document>
- De Hosson, C., & Kaminski, W.** (2002). Les yeux des enfants sont-ils des « porte-lumière » ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1907-2003.
- De Vecchi, G., & Giordan, A.** (Éds.). (2002). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que ça marche* ? Paris : Delagrave.
- De Vecchi, G., & Giordan, A.** (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche"* ? Paris : Z'Éditions.
- Demounem, R., & Astolfi, J.-P.** (1996). *Didactique des sciences de la Vie et de la Terre*. Paris : Nathan.
- Desit-Ricard** (2009). *Histoire de la physique en clair*. Paris : Éditions Ellipse.
- Dumas-Carré, A., Goffard, M., & Gil-Perez, D.** (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *ASTER*, 14, 53-75.
- Dupin, J. J., & Joshua, S.** (1986). L'électrocinétique du collège à l'université. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 683, 779-800.
- Fabre, M., & Orange, C.** (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 28-38. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1997_num_24_1_1093
- Fawaz, A., & Viennot, L.** (1986). Image optique et vision. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 686, 1125-1146.
- Fillon, P.** (1997). Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles. *ASTER*, 25, 113-141. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1997_num_25_1_1107
- Furio, C. J., Bullejos, J., & de Manuel, E.** (1994). L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche. *ASTER*, 18, 141-164. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1994_num_18_1_1026
- Gauchon, L.** (2005). Transformation chimique : conceptions des élèves / notion de réactif limitant. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 876, 733-746.
- Giordan, A.** (dir.). (1994). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- Giordan, A., & De Vecchi, G.** (1987). *Les origines du savoir*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Guesne, E., Delacote, G., & Tiberghien, A.** (1978). Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique : Deux exemples : les notions de chaleur et lumière. *Revue française de pédagogie*, 25-32. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1978_num_45_1_1674
- Haéri, G., & Roche, B.** (1999). *Introduction à la philosophie des sciences : thèmes et sujets*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jacob, F.** (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- Johsua, S.** (1988). Le schéma électrique : aspects perceptifs, aspects conceptuels. *Bulletin de psychologie*, 41(386), 687-693. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/bupsy_0007-4403_1988_num_41_386_12926
- Johsua, S., & Dupin, J.-J.** (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : P.U.F.

- Kaminski, W.** (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 973–991.
- Kaminski, W., & Mistrioti, Y. (2000). Optique au collège : le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 823, 757–784.
- Kermen, I.** (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée : Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Kermen, I., & Méheut, M.** (2004). Évolution des systèmes chimiques et équilibres chimiques en terminale S. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1145–1156.
- Koliopoulos, D., & Tiberghien, A.** (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges. *ASTER*, 2(1), 167–178. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1986_num_2_1_904
- Kuhn, T.** (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Lafarge, D.** (2006). Conceptions des élèves sur les notions de « chaleur » et de température après enseignement du programme de première de 2001. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 885, 715–728.
- Latour, B., & Woolgar, S.** (1988). *La vie de laboratoire*. Paris : La Découverte.
- Laugier, A.** (2004). La démarche d'investigation au collège : du déjà vu ou une (R)évolution annoncée ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 98(866), 1043–1056.
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2004). L'Équation de Réaction : un nœud d'obstacles difficilement franchissable. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 51–68.
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : Quelles convergences ? *Didaskalia*, 22, 69–97. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_2003_num_22_1_1146
- Laugier, A., & Dumon, A.** (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la réaction chimique par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : Une étude en classe de seconde (15-16 ans). *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 61–75.
- Laugier, A., & Lefèvre, R.** (1993). Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen. *ASTER*, 143–169. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_16_1_1013
- Lavarde, A.** (1994). Figurabilité dans le domaine de la circulation sanguine. *Didaskalia*, 3, 79–91. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1994_num_3_1_953
- Legendre, M.-F.** (2001). Sens et portée de la notion de compétence dans le nouveau programme de formation. Université de Montréal.
- Martinand, J.-L.** (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- Masselot, P., & Robert, A.** (2007). Le rôle des organisateurs dans nos analyses didactiques de pratiques de professeurs enseignant les mathématiques. *Recherche & formation*, 56, 15–31. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/rechercheformation/841>

- Maurines, L.** (1999). La propagation des ondes en dimension 3 : analyse des difficultés des étudiants quant au modèle géométrico-ondulatoire. *Didaskalia*, 15(1), 87–122. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1999_num_15_1_1076
- Maurines, L.** (1998). Les élèves et la propagation des signaux sonores. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 800, 1–22.
- Maurines, L.** (1991). Raisonnement spontané sur la propagation des signaux : aspect fonctionnel. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 733, 669–677.
- Maurines, L., & Saltiel, E.** (1988). Mécanique spontanée du signal. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 707, 1023–1041.
- Maury, L., Saltiel, E., & Viennot, L.** (1977). Étude de la notion de mouvement chez l'enfant à partir des changements de référentiels. *Revue française de pédagogie*, 15–29. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1977_num_40_1_1637
- Megalakaki, O.** (2009). Développement conceptuel de la notion d'énergie relative à des objets inanimés et animés chez les élèves de dix à 17 ans. *Psychologie française*, 54(1), 11–29. Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0033298408000587>
- Méheut, M.** (1989). Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : Premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 15–26.
- Molvinger, K., Chesnais, A., & Munier, V.** (2017). L'enseignement de la masse à l'école élémentaire : Pratiques d'une enseignante débutante en éducation prioritaire. *RDST*, 15, 133–167. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/rdst/1501?lang=en>
- Oké, E.** (2012). Étude des activités d'enseignants et d'élèves en classe de physique par l'analyse des interactions verbales : étude de cas en 3^e et en 2^{nde} [Thèse de doctorat]. Université d'Abomey-Calavi.
- Oké, E., & Briaud, P.** (2012). Processus d'étayage d'un enseignant pour attaquer une conception erronée des élèves sur le concept de courant électrique dans un dispositif d'enseignement-apprentissage par problème au Bénin : étude de cas en classe de seconde. *Actes des 7^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Bordeaux.
- Oké, E., & Briaud, P.** (2014). Vers un apprentissage décontextualisé du phénomène de production du courant alternatif en classe de 3^e. *Actes des 8^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Marseille.
- Orange Ravachol, D.** (2012). *Didactique des SVT, entre phénomène et événement*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Orange Ravachol, D.** (2011). Apprentissage et médiation enseignante en sciences et en information-documentation. *MÉDIADOC-FADBEN*, 7, 7–10. Disponible sur : https://www.apden.org/IMG/pdf/apprentissage-et-mediation-enseignante-en-sciences-et-en_a204.pdf
- Orange Ravachol, D.** (2010). Efforts de problématisation et choix en situation : cas d'enseignants expérimentés et moins expérimentés. Quelle place pour la problématisation ? In M. Fabre, Dias de Carvalho & Y. Lhoste (Éds.), *Expérience de problématisation en éducation. Aspects philosophiques, sociologiques et didactiques*, 135–155. Porto : Edições Afrontamento.

- Orange Ravachol, D.** (2007). Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques. *ASTER*, 44, 41–68. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2007_num_44_1_1465
- Orange Ravachol, D.** (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *ASTER*, 40. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2005_num_40_1_1272
- Orange, D.** (2003). Tendance à la « mise en histoire » par les élèves de lycée en sciences de la vie et de la Terre : étude de deux cas. *Actes des 3^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Toulouse, octobre 2003, 239–246. Disponible sur : <https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/actes-2003.pdf>
- Orange, C.** (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Orange, C., & Orange Ravachol, D.** (2023). Pensée critique et savoirs en SVT : un point de vue depuis le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation. *RDST*, 28(1), 115–142. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/rdst/5201>
- Orange, C., & Orange Ravachol, D.** (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en Éducation*, 17, 46–61. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/ree/7934>
- Orange, C., & Orange Ravachol, D.** (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des 5^{èmes} Rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 17–19 octobre 2007, 305–312. Disponible sur : https://ardist.org/wp-content/uploads/2021/04/Actes_2007.pdf
- Orange, C., & Orange, D.** (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21, 40–44. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1995_num_21_1_1060
- Paccaud, M., & Vuala, J.** (1999). *Biologie et Géologie, PE1 et PE2*. Paris : Hatier.
- Popper, K.** (2001). *Logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
- Popper, K. R.** (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- Robardet, G., & Guillaud, J.-C.** (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Robert, A.** (2007). Stabilité des pratiques des enseignants de mathématiques (second degré) : Une hypothèse, des inférences en formation. *Recherches en didactique des mathématiques*, 27(81), 271–312. Disponible sur : <https://revue-rdm.com/2007/stabilite-des-pratiques-des/>
- Robert, A., & Rogalski, J.** (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505–528.
- Robert, A., & Vandebrouck, F.** (2014). Proximités-en-acte mises en jeu en classe par les enseignants du secondaire et ZPD des élèves : Analyses de séances sur des tâches complexes. *Recherches en didactique des mathématiques*, 34(2), 239–283. Disponible sur : <https://revue-rdm.com/2014/proximites-en-acte-mises-en-jeu-en/>

- Robert, A., & Vivier, L.** (2013). Analyser des vidéos sur les pratiques des enseignants du second degré en mathématiques : Des utilisations contrastées en recherche en didactique et en formation de formateurs – quelle transposition ? *Éducation & didactique*, 7(2), 115–144. Disponible sur : <https://journals.openedition.org/educationdidactique/1749>
- Rogalski, J.** (2000). Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant. *Actes du XXVI^e colloque COPIRELEM*, 45–66.
- Roletto, E., & Piacenza, B.** (1994). Faut-il construire le concept de substance ? *ASTER*, 18, 63–74. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1994_num_18_1_1022
- Rozier, S.** (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire* (Thèse de doctorat). Université Denis Diderot Paris VII.
- Rumelhard, G.** (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Paris : Peter Lang.
- Rumelhard, G.** (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *ASTER*, 1. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1985_num_1_1_890
- Saltiel, E.** (1978). *Concepts cinématiques et raisonnements naturels : étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences* [Thèse de doctorat]. Université Paris VII.
- Saltiel, E., & Malgrange, J. L.** (1979). Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 616, 1325–1355.
- Sauvageot-Skibine, M.** (1993). De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur. *ASTER*, 17, 189–204. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1993_num_17_1_1331
- Sauvageot-Skibine, M.** (1991). La digestion au collège : transformation physique ou chimique ? *ASTER*, 13. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1991_num_13_1_976
- Schneeberger, P., Orange, C., Orange Ravachol, D., & Lhoste, Y.** (2021). *Précis de didactique des SVT*. Bordeaux : Presses Universitaires de Bordeaux.
- Simon, J.** (2007). L'enseignement des sciences à l'école primaire : L'expérience de La main à la pâte. *Revue Française de Pédagogie*, 67–89.
- Solomonidou, C., & Stavridou, H.** (1994). Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *ASTER*, 18, 75–95. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1994_num_18_1_1023
- Stavridou, H., & Solomonidou, C.** (2000). Représentations et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. *Didaskalia*, 16, 107–134. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_2000_num_16_1_1089
- Taber, K. S.** (2008). Conceptual resources for learning science : Issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1027–1053.
- Talanquer, V.** (2009). On cognitive constraints and learning progressions : The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123–2136.

- Talanquer, V.** (2008). Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds : Additive versus emergent frameworks. *Science Education*, 92(1), 96–114.
- de Talenti, A., Kermen, I., & Canac, S.** (2023). Introduction à l'idée de transformation chimique par la réalisation de mélanges en classe de sixième. *Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 117(1057), 795–809.
- Tison, E.** (2023). *Modèles scientifiques scolaires de l'énergie au cycle 4 - Une analyse de documents institutionnels et de pratiques déclarées et effectives de formation continue* [Thèse de doctorat]. CY Cergy Paris Université.
- Vérin, A.** (1995). Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences. *REPÈRES*, 12. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/reper_1157-1330_1995_num_12_1_2155
- Vérin, A.** (1988). Apprendre à écrire pour apprendre les sciences. *ASTER*, 6. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1988_num_6_1_1300
- Viennot, L.** (1996). *Raisonner en physique : La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Viennot, L.** (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, 1, 13–27. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1993_num_1_1_909
- Viennot, L.** (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue française de pédagogie*, 16–24. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1978_num_45_1_1688

The background is a solid blue color. It features a large, faint white circle on the left side, which is partially cut off by the edge. Overlaid on this circle and the rest of the page are numerous thin, light blue radial lines that extend from the center towards the edges, creating a subtle pattern.

PRÉSENTATION DES AUTEURS

Sophie CANAC possède une agrégation de chimie et est Maîtresse de Conférences en didactique de la chimie à l'Université Paris-Est Créteil (UPEC) dans le Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR). Elle intervient dans l'académie de Créteil, pour l'enseignement de la physique et la chimie, à la fois en formation initiale des enseignants du premier degré et des enseignants du second degré, lycée général et lycée professionnel, et en formation continue.

Ses principaux travaux s'articulent autour de trois axes.

- Le premier axe porte sur le développement de recherches collaboratives pour élaborer et mettre en œuvre des ressources pour l'enseignement de la chimie dans le but de travailler les relations entre modèles, réalité expérimentale et registres sémiotiques.
- Le deuxième axe porte sur l'étude des pratiques ordinaires des enseignants dans le cadre de l'enseignement des modèles, de l'utilisation de ressources historiques - leur appropriation et leur transformation – et de l'enseignement expérimental. Dans le troisième axe, elle étudie l'impact de la bande dessinée sur les apprentissages des élèves.

Elle est membre du Groupe Thématique d'Expertise 4 (GTE 4) du programme APPRENDRE depuis 2022.

Frédéric CHARLES possède une agrégation en sciences de la vie et de la Terre. Il est Maître de Conférences Habilité à Diriger des Recherches en Sciences de l'Éducation et de la Formation. Il mène ses recherches au Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR) et enseigne à l'INSPE de l'Académie de Versailles au sein de CY Paris Université. Dans ses travaux à orientation curriculaire, il développe des savoirs sur le curriculum possible en éducation scientifique et technologique à l'école primaire en privilégiant des approches collaboratives.

Depuis quinze ans, Frédéric CHARLES s'investit dans les projets de coopération à l'internationale : au sein du programme APPRENDRE, il est membre du GTE 4 (Groupe Thématique d'Expertise 4) pour la promotion et l'enseignement des mathématiques et des sciences et du Conseil Scientifique.

Olatoundé Amand Léonce AFFOLABI est Docteur en Didactique des Sciences et Technologies, Option : Didactique des Sciences de la Vie et de la Terre, à l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) au Bénin, dans le Laboratoire de Didactique des Disciplines (LDD). Il est enseignant-chercheur à l'Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques (IMSP). Il intervient à l'École Normale Supérieure (ENS) de Natitingou en formation initiale, pour l'enseignement de la didactique de la matière et épistémologie de la discipline et, la docimologie et évaluation des apprentissages.

Ses principaux travaux s'articulent autour de trois axes.

- Le premier porte sur la « Transposition de l'information génétique, des programmes d'étude à la préparation du projet de cours ».
- Le deuxième axe porte sur : « Apprentissages et problématisation scientifiques en science de la vie au Lycée: le cas de débats sur l'expression de l'information génétique en classe de Terminale D ».
- Dans le troisième axe de ses recherches, il étudie des pratiques de classe des enseignants dans le secondaire au Bénin en science de la Terre sur le thème « Naissance et évolution d'un paysage ».

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'un projet du programme APPRENDRE mis en œuvre par l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) avec l'appui de l'Agence Française de Développement (AFD) dont la thématique est : « Documenter et éclairer les politiques éducatives dans les pays francophones ». (Appel à projet de novembre 2018).

Depuis bientôt un an, il s'investit dans les projets de coopération à l'internationale : au sein du programme APPRENDRE, il est membre du GTE 4 (Groupe Thématique d'Expertise 4) pour la promotion et l'enseignement des mathématiques et des sciences.

S. Eugène OKÉ est Maître ès sciences en physique, professeur certifié (ancien normalien), Maître de Conférences (CAMES) en didactique de la physique à l'Université d'Abomey-Calavi où il est recruté depuis 2012. Il a d'abord enseigné la physique et la chimie au collège et au lycée avant d'entreprendre des recherches didactiques au Laboratoire de Didactique des Sciences et Technologies (LDST) et au Laboratoire de Didactique des Disciplines (LDD) dans la même université. Ses séjours d'études doctorales à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM) et au Centre de Recherche en Education de Nantes (CREN) lui ont permis de s'intéresser aux difficultés des élèves et des enseignants dans l'enseignement de la physique en contexte africain. Il a ensuite entrepris et mené des recherches sur l'activité de l'enseignant-e et des élèves en classe de physique dans les contextes africains en situation ordinaire. Il a participé à plusieurs études sur l'état des lieux et les conditions de l'enseignement des sciences en Afrique francophone. Il a également participé à l'élaboration et à la mise en place des offres de formation initiale et continue des enseignants de sciences sur le continent. Il intervient entre autres dans les formations à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST), l'Institut de Mathématique et des Sciences Physiques (IMSP), l'École Normale Supérieure de Natitingou au Bénin et participe aux activités de formation des pairs à travers le Centre de Pédagogie Universitaire et d'Assurance Qualité (CPUAQ) de l'université d'Abomey-Calavi. Il participe également aux activités du Groupe Thématique d'Expertise 4 (GTE 4) du programme APPRENDRE.

Denise ORANGE RAVACHOL est Professeure des Universités émérite de l'Université de Lille. Elle poursuit des recherches en didactique des sciences de la vie et de la Terre (SVT) et des « Éducatons à » au sein du Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille (CIREL). Elle est également chercheuse associée du Centre de Recherche en Education de Nantes (CREN) et chercheuse invitée du Centre de Recherches en Sciences de l'Éducation (CRSE) de l'Université Libre de Bruxelles (ULB). Ancienne élève de l'École Normale Supérieure (ENS Paris), agrégée de sciences de la vie et de la Terre, elle a enseigné dans le secondaire, formé des enseignants et enseignantes du primaire et du secondaire, participé au jury de l'agrégation interne de SVT, tout en conduisant des travaux en didactique des sciences. Ses recherches, à fort ancrage épistémologique, portent sur les problématisations en classe de sciences de la vie et de la Terre et dans les « Éducatons à ». Elles se focalisent sur la dimension historique de ces champs et sur les modes de raisonnement qui les caractérisent. Elles questionnent également les évolutions de la discipline SVT marquées ces dernières années par l'anthropisation des problèmes traités et la nécessaire articulation entre le passé et l'avenir de la Terre et des systèmes vivants. Membre du Conseil Scientifique du programme APPRENDRE, elle s'investit dans les travaux du Groupe thématique d'expertise 4 (GTE 4) pour la promotion et l'enseignement des mathématiques et des sciences.

apprendre.auf.org



<https://www.facebook.com/ProgrammeAPPRENDRE>



<https://www.linkedin.com/company/programme-apprendre>



<https://www.youtube.com/c/programmeapprendre>