

I.U.F.M. de l'Académie Montpellier

Année 1999-2000

Mémoire professionnel de deuxième année

Acquisition de la Démarche
Scientifique expérimentale

en 1^{ère}S

Option Sciences expérimentales

Par

Mlle Estelle BESSOLES

Professeur stagiaire des Lycées et Collèges en Sciences de la Vie
et de la Terre au Lycée privé Beauséjour à Narbonne.

Professeur tuteur : Mme Adeline GERONIMI

Assesseur : Mme Rose-Marie SCHWEBEL

Résumés

Constat : Mes élèves de première S, ne connaissent pas la démarche scientifique expérimentale; D'où le problème :

Comment faire acquérir la démarche scientifique expérimentale?

L'Hypothèse est de les rendre acteurs de cet apprentissage.

Deux stratégies de résolution :

La découverte des étapes de la démarche.

L'application des étapes.

En conclusion, je suis convaincue, que la participation des élèves à la construction de la démarche est une solution efficace pour son acquisition.

The first point of note is the following :

The pupils of year 11 who are doing science are not sufficiently familiar with the scientific process, they have to go through in order, to solve a scientific problem.

The main difficulty we are confronted with, is :

How could we find a solution to help the pupils to learn a method which would enable them to resolve a scientific problem?

The solution would be to make the pupils play an active part in their studies.

One of the strategies would be to let the pupils find out by themselves the scientific process they have to go through.

The second one would be to help them to put into practice the method they have learnt. The conclusion is that the pupils' active involvement in the putting together of a method remains one of the most efficient strategies that will contribute to the pupils' progress.

Cadre Réservé au JURY

MENTION :

Informations complémentaires :

ΣΟΜΜΑΙΡΕ

	Pages
Introduction.	1
I - Une vision historique de la pensée scientifique et de la didactique. 2	
1.1 La progression de la pensée scientifique.	2
1.2 Application pédagogique de la pensée scientifique.	3
II - La démarche pédagogique mise en œuvre.	6
2.1 Découverte et commentaire des étapes de la démarche expérimentale.	6
2.2 Application des différentes étapes de la démarche.	7
a) Du constat au problème.	7
b) Du problème à l'hypothèse.	8
c) Traitement et explication des résultats.	11
d) Application de la démarche dans sa totalité.	13
Conclusion	16
Annexes	17



Remerciements

Pour son soutien pédagogique amical, merci à Adeline.
Pour leur aide face à mes difficultés informatiques, merci à Guilhem et Jean-Jacques.
Au bout de la dernière ligne droite, un grand merci à mes parents.

Mémoire professionnel

La démarche scientifique expérimentale en Sciences expérimentales.

Introduction :

La démarche scientifique est un mode de pensée qui s'est formalisé depuis 1865 grâce à Claude Bernard. Malgré tout il reste peu enseigné pour ne pas dire pas lors du cursus universitaire. Je n'ai su vraiment ce qu'elle représentait que pendant mes deux années de préparation au concours. Elle s'impose également avec difficulté dans l'enseignement secondaire, à la vue de ma courte expérience professionnelle. En effet de nombreux professeurs ont du mal à se détacher du cours magistral, et me trouvent très ambitieuse, quand je leur dis que pour moi elle reste l'objectif majeur de mon projet personnel par rapport à mes élèves. D'autre part en début d'année un élève m'a demandé pourquoi , je ne faisais pas un cours normal. Ce n'est qu'après quelques explications, que je constatais que pour lui un cours normal est un cours magistral où la participation des élèves reste limitée, voire est inexistante.

Nous sommes obligés de constater que *la démarche scientifique n'est pas acquise* dans ma classe de première S, au vu des réponses obtenues à une simple question : Indiquer ce qu'est la démarche scientifique. (Cf Annexe 3)

Suite à ces constats alarmants, et à mes disponibilités dans cette classe en option Sciences expérimentales , il m'est apparu nécessaire de remédier à ces lacunes, et intéressant de le choisir comme sujet de mémoire. Un problème s'est dégagé :

PROBLEME : Comment faire acquérir aux élèves les différentes étapes de la démarche scientifique expérimentale?

HYPOTHESE : L'élève doit vivre les différentes étapes pour les acquérir.

STRATEGIES :

- 1) Reconnaître et commenter les différentes étapes au travers de deux textes (Cf. Annexe 4 et 5 "Introduction à la médecine expérimentale" 1865 de Claude Bernard, Eine Beri-Beri-ähnliche krankheit der hühner" 1897 de C. Eijkman).
- 2) Mettre en œuvre dans les séances de Sciences expérimentales, une partie des étapes.
- 3) Appliquer la démarche dans sa totalité.

Dans un premier temps, j'exposerai le côté historique du développement de cette pensée puis sa mise en place dans l'enseignement et enfin je détaillerai ma pratique pédagogique pour essayer de répondre au problème posé.

I Une vision historique de la pensée scientifique et de la didactique des sciences

L'histoire des sciences et de la didactique des sciences sont deux disciplines que l'on peut rapprocher par différents points. En tant qu'étudiante et maintenant enseignante, j'ai souvent éprouvé le besoin de retourner aux sources des connaissances, afin de trouver à travers l'élaboration historique des connaissances, des indices pour ma propre construction du savoir, et cette année pour la construction du savoir de mes élèves. De plus la tradition d'une histoire philosophique des sciences, est très présente en France. L'élaboration de ses concepts, ses ruptures et ses avancées doivent beaucoup à son alliance avec la didactique. Cette étroite relation est visible dans des citations telle celle d'Alain Karlan " la meilleure manière de mesurer la solidité des idées est de les enseigner " qui rejoint en cela le paradoxe souvent énoncé : "Enseigner est la meilleure façon d'apprendre". Ce constat m'a donc amené avant d'aborder la partie professionnelle de mon mémoire à une courte incursion dans l'histoire des sciences et de la didactique des sciences.

1.1 La progression de la pensée scientifique

La biologie "science des corps animés" commence avec Aristote(384-322 av. JC) qui s'appuie sur des observations sans précédent en anatomie comparée, en physiologie et embryologie. Pour ce philosophe grec, l'animal est l'être pourvu d'une âme, du latin anima : souffle vital,. L'âme selon lui est le principe explicatif de tous les êtres vivants. Etudier le vivant, c'est analyser les modalités de la composition de l'âme et de la matière corporelle. Seule la notion d'âme nous permet de comprendre la finalité du monde vivant : "En effet le bois n'est lit et trépied, que parce qu'il est cela en puissance." (*Des parties des animaux* IVe S av JC) ;autrement dit, le poisson est fait pour nager, ou l'oiseau pour voler (Cf. Annexe 2).

Chez Descartes, contrairement à l'animisme d'Aristote, on distingue l'âme du corps. Les fonctions du corps sont comparables aux mécanismes de fonctionnement d'une machine. (Cf. Annexe 2 *Les principes de Philosophie* 1664). Le vivant n'est déterminé que par la seule cause interne qui fait agir les mécanismes et ne doit plus être expliqué par rapport à une fin extérieure.

Aux modèles animiste et mécanique s'oppose un troisième modèle celui du vitalisme, affirmant une différence entre le vivant et l'inerte, supposant l'existence d'un principe vital distinct des lois matérielles. Kant pense que le vivant est bien une machine, mais qui à la différence d'une montre, s'autorégule, se reproduit...

Ce n'est qu'avec Claude Bernard qu'apparaît le modèle expérimental de la vie., (Cf. Annexe 2 *Introduction à l'étude de la méthode expérimentale* en 1865) Il affirme la nécessité de baser les sciences de la vie sur l'expérimentation. Toute finalité est exclue de l'étude physiologique expérimentale du vivant. C'est-à-dire que les sciences de la vie doivent expliquer le comment et non le pourquoi, en utilisant pour cela l'expérimentation. Ce n'est donc pas la métaphysique qui doit expliquer le vivant mais la démarche expérimentale

- ◆ Si le biologiste n'est pas mécaniste au sens strict du terme, sa méthodologie reste marquée par le modèle de l'analyse physico-chimique, même si aujourd'hui le mot d'ordre reste l'utilisation de la méthode expérimentale. Celle-ci est loin d'être acquise et totalement intégrée dans l'enseignement des sciences en ce début de millénaire, bien que l'on assiste à un changement de mentalité.

1.2 Application pédagogique de la pensée scientifique

L'objectif principal de tout enseignant d'une matière scientifique devrait être avant tout de former ses élèves à l'esprit scientifique, à l'esprit critique, à la curiosité du monde qui l'entoure.... Et ceci, pour qu'il puisse maîtriser et comprendre la société où il sera amené à s'intégrer.

Cet objectif est loin d'être atteint pour la majorité des élèves. Il faut donc sans cesse repenser nos méthodes d'enseignement, ce métier ne pouvant se concevoir que par une perpétuelle remise en question face aux évolutions des règles régissant notre société.

Même en essayant d'amener les élèves à acquérir la démarche scientifique la plus rigoureusement possible, de nombreux pièges peuvent se dresser devant nous :

- Nous pouvons nous heurter aux idées que se font les élèves d'un professeur, ou d'un cours (Cf la question de mon élève de première).
- Les apprentissages par de nouvelles méthodes, peuvent insécuriser les élèves qui se sentent alors perdus, les rendant ainsi inefficaces.

Au cours du temps de nombreuses méthodes pédagogiques se sont succédées afin de faire acquérir aux élèves les connaissances nécessaires à leur vie dans la société.

Les pratiques pédagogiques ont évolué et continuent de l'être ce qui ne serait-ce que pour s'adapter au changement de cette société. Nous pouvons distinguer quatre types de pratiques :

* Les méthodes expositives :

Elles s'apparentent au cours magistral, et sont celles des conférences, des articles de vulgarisation. Elles ont peu de succès auprès des élèves, bien qu'ils trouvent quelques fois ces méthodes plus reposantes, car ne demandant pas de réflexion personnelle. Il faut néanmoins savoir que ces méthodes sont peu adaptées au développement psychologique d'un enfant, qui construit son propre savoir par à-coups et rectifications successives, et non de façon linéaire. L'expérimentation quand elle existe reste au rang d'illustration.

* Les méthodes interrogatives :

Elles s'apparentent au cours dialogué qu'utilisent mes collègues d'histoire géographie. Cette méthode permet de rendre une classe active et dans une certaine mesure oblige le professeur à suivre la réflexion de l'élève. Cette méthode très ancienne était utilisée dans "l'enseignement" antique, elle avait pour but de détruire à l'aide de simples questions, le savoir apparent du disciple afin de le remplacer par le savoir vrai du maître. Mais là aussi ce dialogue doit être "vrai", et ne doit pas se limiter à des questions dont l'étroitesse des réponses possibles ou attendues enferme l'élève.

* La méthode de la redécouverte :

Cette méthode a été proposée par l'inspecteur Brunhold et utilise l'induction amorcée en 1880. Son objectif est le suivant : non de "répéter les démarches historiques de telle ou telle recherche" mais seulement de "retrouver, avec les moyens dont le professeur dispose aujourd'hui(..) , les résultats de ces recherches". C'est à dire qu'il envisage l'acquisition des connaissances par l'esprit et la méthode et non par les méthodes expositives jusqu'alors employées. La place occupée par l'expérimentation change. Elle se situe en début de leçon, le cours découlant de son interprétation. Mais ceci laisse apparaître une conception erronée de la démarche scientifique, car on a gommé les hésitations historiques. Les expérimentations n'ont ici qu'un but de vérification et non de test des hypothèses. Cette méthode impose des expériences devenues cruciales a posteriori, isolées de leur contexte de recherche et d'hésitations. La méthode de redécouverte apparaît au même titre que la méthode expositive, dogmatique, car elle impose une théorie qu'elle prétend déduire d'une expérience.

Le danger étant par cette formation de détourner les élèves des sciences lorsqu'ils s'aperçoivent du côté artificiel de la démarche, et d'être à la merci des mystificateurs et des charlatans (Cf annexe 16).

* La véritable redécouverte :

Elle consiste à mettre l'élève dans une situation de recherche véritable. Dans la méthode précédente, la situation de chercheur est totalement artificielle, car on parachute des expériences et on attend que les élèves retrouvent une théorie majeure de la science en quelques heures, alors que son élaboration a demandé des siècles de réflexion. Les élèves ne sont pas incapables d'effectuer des recherches, mais ils ne peuvent redécouvrir des concepts de la biologie ou de la physique en quelques heures.

Pour éviter ce genre de piège, il faut donc avoir des objectifs moins ambitieux mais plus rigoureux.

Dans le projet Nuffield, expérimenté en Grande-Bretagne, 1/10^e du temps d'études est consacré à un véritable projet de recherche, qui consiste à appliquer une méthode d'analyse déjà étudiée à un nouveau support. L'initiative des élèves est faible mais apporte des résultats nouveaux que l'on peut comparer à ceux déjà existants. Ceci permet d'en tirer des réflexions, la découverte est ici réelle.

En France, les premières tentatives d'acquisition d'une démarche expérimentale ont été faites sous la conduite de V.Host. L'objectif étant de conduire les élèves à se poser des questions, puis de tenter de les résoudre eux-mêmes en manipulant. Cette méthode s'apparente par certains côtés aux objectifs de sciences expérimentales et des TPE.

* L'enseignement par résolution de problème :

Ce dernier essaie d'intégrer toutes les évolutions et réflexions que j'ai exposées précédemment. Toute leçon doit rendre l'élève acteur de la construction de son propre savoir, le tout sous tendu par la démarche scientifique. Les étapes de celle-ci seront exposées dans la deuxième partie du mémoire. Cette pédagogie où l'élève doit adopter une démarche explicative, permet une construction des savoirs, et des "savoirs faire" d'une manière active. Il faut rester vigilant pour ne pas caricaturer cette démarche et être conscient du côté artificiel de certaines de nos progressions pédagogiques. Le cadre des sciences expérimentales et des futurs TPE sont des lieux privilégiés, où l'élève en autonomie réelle peut véritablement mettre en œuvre cette démarche.

Notons qu'un effort doit porter sur le prise en compte des représentations initiales. Toutes leçon devrait s'appuyer sur la connaissance des élèves. Le changement des mentalités a

permis de réaliser que l'esprit des élèves n'est pas comparable à un récipient vide qu'il convient de remplir, mais à un récipient qui contient déjà des savoirs. Ceux-ci sont issus de ses expériences, de son éducation. Quelles soient erronées ou non , il faut en tenir compte.

♦ On le voit la pédagogie des sciences a beaucoup évolué. L'acquisition de la démarche semble essentielle pour la formation de l'esprit scientifique. Comme dit Schatzman, pour former l'esprit scientifique "le contact précoce avec l'expérimentation est très important". Je pense qu'il est primordial que l'enseignement préserve également la curiosité des élèves, base de toute recherche et de toute avancée technologique et intellectuelle. Cette curiosité justifie la rigueur de la démarche à adopter pour la satisfaire. Ceci afin d'éviter le retour aux croyances magiques et autres superstitions connaissant un regain d'intérêt en début de ce millénaire (Cf. Annexe 16).

II La démarche mise en œuvre avec une classe de 1^{ère} S.

2.1 Découverte et commentaire des étapes de la démarche expérimentale

Cette découverte s'effectue au cours d'une séance de sciences expérimentales. L'objectif de la séance est double :

- * D'une part, je veux montrer à mes élèves que ce mode de pensée scientifique n'est en rien nouveau,
- * D'autre part que cette démarche est constituée d'étapes précises nécessaires au bon déroulement du raisonnement, reproductibles quel que soit le problème scientifique posé.

Pour cela je propose comme support deux textes : le texte de Claude Bernard extrait de "Introduction à l'étude de la médecine expérimentale, 1865" et le texte de C Eijkman, extrait de "Eine Beri-Beri-ähnliche krankheit der hühner 1897" (Cf. Annexes 4 et 5).

L'activité proposée (Cf annexe 4) consiste à retrouver les différentes étapes du raisonnement des deux scientifiques et à les comparer pour en tirer une généralisation de la démarche.

Réponses de quelques élèves :

Elèves	A partir du document 1		A partir du document 2	A partir du document 3
	<i>q2 Problème</i>	<i>q3 hypothèse</i>	<i>q 2 étapes du raisonnement</i>	<i>q2 Problème</i>
Marine	Puisque tous les poulets meurent, à quoi cela est-il dû?	Est ce une maladie infectieuse ?	Observation Problème Hypothèse(s) Expérience Conclusion	Pourquoi les lapins ont-ils la même urine que les carnivores?
Alexandra	S'agit-il d'une maladie infectieuse?	Il pense que c'est une maladie infectieuse.	Hypothèse Observation Interprétation Analyse Réponse à l'hypothèse.	Pourquoi l'urine est-elle claire et acide?
Rodolphe	Quelle est la cause de la maladie?	La maladie est infectieuse.	Observation Constat Problème Hypothèse Expérience Résultats	Pourquoi l'urine est claire et acide ?

Pour les 14 élèves, ces deux textes sont une découverte tant par leur ancienneté que par leur contenu. Toute fois certains remarquent, que certaines étapes sont bien visibles dans le cours. A partir de ce moment je n'ai plus eu à expliquer ou à revenir sur la démarche mise en oeuvre en classe. Cette activité m'octroya une certaine légitimité dans ma façon de travailler, surtout face à une classe de bon niveau et dont certains sont très critiques sur la qualité de ce qui leur est proposé. Cela donna même naissance à des discussions et à des confrontations lors des cours en classe entière entre ceux qui font l'option sciences expérimentales et les autres.

Les élèves repèrent dans le texte le problème, mais la majorité ne sait pas le formuler.(Cf tableau)

Les questions sont soit mal exprimées comme dans le cas de Marine, soit ne sont pas des problèmes mais contiennent l'hypothèse.

Les hypothèses pèchent surtout dans leur formulation.

Cette activité a permis de mettre en place l'ordre d'enchaînement des différentes étapes de la démarche et de les définir, ceci ayant permis de construire une fiche méthodologique.(Cf. Annexe 6)

- ◆ Connaître les étapes de la démarche et être capable de l'appliquer sont deux choses différentes. Je propose alors aux élèves plusieurs activités intégrées aux thèmes des sciences expérimentales.

[2.2 Application des différentes étapes de la démarche.](#)

a) Du constat au problème.

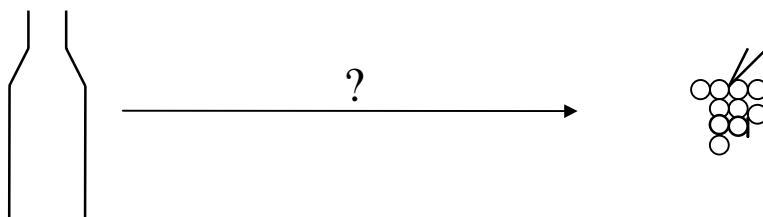
J'essaye deux approches différentes pour aborder un nouveau thème :

*Le premier thème choisi en biologie est celui du **vin**, dont le choix est justifié par le fait que la région de Narbonne est une région très viticole, et que les élèves ont donc tous des acquis sur la fabrication du vin.

Dans un premier temps une sortie dans une cave privée, a pour objectif la prise d'informations. Les élèves qui ne connaissent pas ce type d'exploitation ont ainsi quelques acquis, et ces informations nous serviront lors de l'élaboration d'exposés. Cette approche du thème est complétée par un Brain storming en classe où une liste de termes sont évoqués à propos du vin :

Raisins, alcool, fermentation, "cuite", vignes, dégustation, levures.....

A la suite de quoi j'amenais en classe une bouteille de vin et une grappe de raisin.



Le problème est évoqué sans difficulté : Comment passer du vin au raisin?, ce qui devient après une réflexion commune : Comment expliquer la transformation du raisin en vin ? ou **Quels sont les agents et phénomènes biochimiques responsables de la transformation du raisin en vin?**

Cette première approche d'un thème me semble à la réflexion avoir été trop dirigée. La sortie effectuée dans une exploitation privée aurait pu être utilisée dans la progression pédagogique :

- Soit en situation déclenchante pour formuler des problèmes explicatifs sur les techniques utilisées.
- Soit en stratégie de résolution, en tant que référent de protocoles réussis.

La formulation de problèmes pourrait s'effectuer autour de la réalisation de vin à partir de raisin. La confrontation des différents protocoles et les résultats plus ou moins satisfaisants, auraient permis l'émergence de problèmes explicatifs. La résolution de ceux-ci aurait donné lieu à un travail en groupe.

*L'approche du deuxième thème "**Germination et croissance des végétaux**" se fit uniquement à partir de matériel frais disposé sur une paille (Cf Annexe 7). L'élaboration de classifications des parties des végétaux proposées, suivie de leur confrontation, donna naissance à une vive discussion. Je ne sus pas exploiter leurs idées et je voulus trop vite imposer la classification botanique (Bulbe, fruits, graines, fleurs, tubercules). Celle-ci aurait dû émerger de la prise de conscience que les termes légumes, fruits ont des significations différentes dans les langages culinaire et scientifique. De cette difficulté de trouver des critères communs, aurait pu émerger la nécessité d'effectuer des plantations pour justifier le choix du critère biologique : "est capable de donner un nouvel individu". Les consignes auraient dû se limiter aux deux premières questions, retrouver la nature et le classement des éléments proposés.

La séance suivante est consacrée à l'observation des " plantations". De la confrontation de ce qui a poussé ou non, a émergé la notion de semence et un questionnement. De la critique des questions formulées découlent les problèmes scientifiques. L'ensemble de ceux-ci sont regroupés en un problème général :

Comment obtient-on un nouveau végétal à partir d'une semence?

Au vu du programme, de mes inquiétudes, nous avons limité l'étude des mécanismes de germination et de croissance à la graine. Une fois de plus tous les élèves doivent résoudre le même problème. Il aurait fallu un partage du travail, ce qui aurait limité le champ des connaissances et amélioré l'acquisition des "savoirs faire".

Concernant la méthodologie, il n'est rien resté de cette séance. Les élèves auraient pu définir le terme problème et établir les critères de réussite. Il suffisait d'explicitier et de mettre en forme les justificatifs des problèmes choisis. Ce travail a été effectué ultérieurement lors de la mise en œuvre de la démarche scientifique dans sa totalité.

b) Du problème à l'hypothèse

Comme je le montre dans la première activité (Cf. Tableau ci-dessus), la capacité à élaborer une hypothèse, n'est pas acquise. Donc pour commencer je propose une activité (Cf annexe 8) avec pour objectif de définir le terme et ceci au travers du texte intégral de Eijkman.

Réponses de quelques élèves

Elèves	Hypothèses	Définitions proposées
Alexandra /Cécile	Il s'agit d'une maladie infectieuse. La maladie provient de l'alimentation. Elle vient de la cuisson du riz. Il y a un poison dans l'alimentation. L'amidon de pomme de terre a été contaminé.	C'est une réponse possible au problème.
Marine /Natacha	C'est une maladie infectieuse. On soupçonne la nourriture. On pense que c'est la cuisson du riz. On pense à un poison dans l'alimentation. On pense à des micro-organismes. L'amidon de pomme de terre est responsable.	Une hypothèse est une solution possible au problème.
Nicolas/ Thomas	Il s'agit d'une maladie infectieuse. Localisation de la maladie dans l'alimentation. Localisation de la maladie dans la cuisson du riz. C'est un poison dans l'alimentation. C'est un micro-organisme. C'est l'amidon qui est responsable.	C'est une phrase affirmative pouvant être la solution au problème posé.

Dans les réponses des élèves nous pouvons noter que toutes les hypothèses du début du texte ont été trouvées. Les définitions proposées sont exactes au niveau du fond. Une prise de conscience également dans la forme, apparaît dans le dernier binôme.

Je propose alors dans le cadre de la résolution du problème ,concernant les conditions de mobilisation des réserves de la graine, une expérience(Cf. Annexe 9).

Réponses d'élèves :

Elèves	Hypothèses formulées
Marine/Natacha	Il existe une enzyme qui permet l'utilisation de l'amidon par la graine lors de la germination.
Marie Sophie/Camille	Il existe une enzyme libérée par la graine et qui permet l'utilisation de l'amidon lors de la germination.
Nicolas/Thomas	Il existe des enzymes permettant de mobiliser les réserves(l'amidon) lors de la germination.
David/Benjamin	Il existe une enzyme qui permet le consommation d'amidon par la graine lors de sa germination.
Philippe/Rodolphe	Il existe une enzyme permettant de mobiliser les réserves.

Toutes les phrases proposées sont affirmatives, et sont en relation avec l'expérience.

Mais ce ne sont pas les hypothèses testées. Essayons de comprendre les résultats :

- * Je me suis située dans un enseignement du style de la "méthode de la redécouverte", et je suis tombée dans les travers de cette technique pédagogique.
- * J'ai commis une erreur de méthode en proposant une expérience sortie de son contexte. Les hypothèses doivent toujours être en relation avec un problème. Il semble donc que la notion d'hypothèse et son élaboration soit acquise par les élèves. Dans ce cas ils doivent être désormais capable de l'intégrer dans une démarche scientifique et dans l'objectif d'une résolution de problème.
- * J'ai enfermé les élèves dans mon propre raisonnement, puisqu'ils m'ont répondu ce que j'attendais. Une réponse fautive dont je ne m'aperçus que bien plus tard.

Cette séance catastrophique montre à quel point, la pédagogie des sciences est difficile, et surtout qu'elle nécessite une réflexion à plusieurs pour éviter ce genre de bévue.

- ◆ Pour remédier à cette séance je propose à mes élèves de formuler des hypothèses à partir d'un problème.

Le problème général du thème 2 élaboré était : "Comment obtient-on un nouveau végétal à partir d'une semence particulière : la graine?"

Deux questions sous-jacentes furent énoncées :

- Quelles sont les conditions de la germination?
- Quelles sont les conditions et mécanismes de la croissance?

Suite à la première question les élèves ont émis des *hypothèses* concernant les facteurs de la germination :

- H1 : L'eau est un facteur nécessaire à la germination
- H2 : Une température particulière est nécessaire à la germination.
- H3 : La lumière est nécessaire à la germination.
- H4 : Le dioxygène est nécessaire à la germination.
- H5 : Le dioxyde de carbone est nécessaire à la germination.

Ici les hypothèses proposées sont correctes tant dans le fond que dans la forme. L'objectif semble a priori atteint.

- ◆ Les élèves entament alors les deux étapes suivantes de la démarche.

c) Le test de l'Hypothèse

La consigne globale est d'élaborer des protocoles afin de tester ces hypothèses. Une totale autonomie leur est laissée quant aux moyens à employer pour y parvenir. Le travail s'effectuant par groupe de 4, avec l'obligation d'une trace écrite sous forme de schémas. (Cf annexe 10) chaque groupe travaillant sur l'ensemble des hypothèses en même temps, Cette façon de procéder limite encore l'autonomie de l'élève ce qui est contraire à l'esprit des sciences expérimentales et rend la séance linéaire. Heureusement que les élèves sont indulgents. Avec du recul j'aurais du diviser la classe en 5 groupes avec chacun la responsabilité du test d'une hypothèse, à chacun de présenter le travail à leurs camarades, pour faire une synthèse globale. Cela aurait permis d'obtenir une séance plus formatrice sur la démarche, en y ajoutant un travail sur la communication scientifique.

Parmi les protocoles proposés par les élèves (Cf annexe 10) j'en ai choisi trois concernant le test de l'hypothèse H4 à propos de l'absorption du dioxygène. Le montage 1 proposé permet de montrer l'absorption de gaz par la graine, mais ne permet pas de connaître la nature du gaz absorbé.

Après réflexion un groupe d'élèves me proposa deux autres montages (Cf annexe 11). Les montages avec l'eau de chaux prouvent qu'un dégagement de CO₂ a lieu. Ces montages ne permettent pas de tester la nécessité ou non de O₂ lors de la germination. Pour le montage concernant l'absorption de dioxygène les résultats obtenus soulevèrent une vive discussion. En effet Rodolphe objecta que le montage proposé n'était pas rigoureux car la bougie consommait également de l'O₂ et que cette consommation appauvriait le milieu, provoquant au bout d'un certain temps son extinction par absence de O₂ dans l'enceinte. D'autres proposèrent alors le montage suivant (Avec des graines non germées) qui prouve sans ambiguïté que l'extinction de la bougie dans l'enceinte est due à un manque d'O₂ absorbé par les graines germées.

Mais la plupart trouvèrent que ces montages étaient du bricolage et proposèrent une expérience assistée par ordinateur. Cette expérience n'étant pas possible suite à une panne du seul poste à notre disposition ; je leur donne un document d'un enregistrement EXAO correspondant à leur montage (Cf. Annexe 12).

◆ Cette démarche que je n'avais pas prévue au départ semble être un des rares moments où les élèves sont des chercheurs véritables. L'étape suivante de la démarche scientifique est le traitement des résultats et leur explication.

d) Traitement et explication des résultats

La seule consigne que je donnais est : Traiter et expliquer les données amenées par le graphe. En début d'année, j'avais constaté durant les activités et dans les copies, que la plupart de mes élèves de première ne savait pas traiter les données d'un graphe, je leur avais donc proposé un exercice formatif (Cf annexe 13). Par manque d'expérience et de temps en tronc commun, je n'avais pas proposé d'autres exercices formatifs qui auraient permis aux élèves d'évaluer leurs progrès et leurs difficultés restantes. Je ne pensais pas non plus à en élaborer un pour cette séance, et laissais les élèves se débrouiller face au document. A ma grande surprise les réponses furent très mauvaises.

J'essayais donc de remédier à cette séance en détaillant avec eux une démarche possible et renouvelable pour traiter les données d'un graphe, ceci correspondant à une fiche méthodologique.

Une démarche possible :

1. Je présente le document en donnant un titre au graphe.
2. Je décompose les résultats sur la courbe.
3. Je décris et explique les variations observées dans un tableau à deux colonnes :

Les données traitées	Les données expliquées
Avec J'observe que..... Sans J'observe que.....	"Or je sais"J'en déduis
	Or je sais
	Donc j'explique..... J'en conclus.....

Exemples de réponses attendues :

1. Consommation de dioxygène par des graines de moutarde à différent stade de germination.
2. (Cf annexe 12)
3. Tableau du traitement et d'interprétation des résultats.

Les données traitées	Les données déduites et expliquées
Avec des graines germées, j'observe une augmentation de la consommation d'O ₂ au cours du temps de 0.9 micromoles en 3 min. Sans graine germée dans l'enceinte, remplacées par : des graines hydratées , j'observe une faible augmentation de la consommation d'O ₂ de 0.2 micromoles en 3 min. des graines séchées, j'observe aucune consommation d'O ₂ .	J'en déduis que les graines en germination prélèvent du dioxygène du milieu.
	Or je sais que la mesure de la consommation en O ₂ permet de mesurer la respiration.
	Donc, lors de la germination la graine se met à respirer et a une activité métabolique croissante. J'en conclu que H4 est validée.

Je suis consciente que le document choisi permet d'aller au delà du test concernant la consommation de dioxygène lors de la germination des graines. Un document plus adapté à l'objectif de départ aurait représenté la variation de la quantité de dioxygène dans l'enceinte, les élèves en auraient déduit la consommation par les graines germées, et donc leur besoin à cette phase du développement du végétal.

♦ Morceler la démarche en différentes activités que j'avais imaginées apparaît artificiel aux élèves C'est pourquoi j'organisai sur deux séances l'application de la démarche scientifique expérimentale dans sa totalité.

d) Application de la démarche scientifique dans sa totalité

Un des objectifs de ces séances est d'élaborer des critères de réussite des étapes, afin de compléter une fiche méthodologique.

Séance 1 : Suite à expérience (Cf. annexe 9) en réel et à la mobilisation de leurs connaissances en tronc commun, les élèves par groupe élaborèrent un constat : **Il existe une enzyme l'alpha Amylase produite par la graine qui dégrade l'amidon lors de la germination.**

Après ce constat toujours par groupe de 4 , ils élaborèrent un problème du type : **Comment l'amidon est-il dégradé par l'alpha Amylase?**

Deux hypothèses majeures furent trouvées :

La température a une action sur l'activité de l'enzyme.

Le pH a une action sur l'activité de l'enzyme.

Ces deux hypothèses furent subdivisées en deux pour faciliter leur test.

- H1 :
 - On suppose que l'élévation de température augmente l'activité enzymatique
 - On suppose que la diminution de température augmente l'activité enzymatique.
- H2 :
 - On suppose que l'élévation du pH augmente l'activité enzymatique.
 - On suppose que la diminution du pH augmente l'activité enzymatique.

Stratégie	Groupe 1	Groupe 2
Hypothèse testée	H1	H2
Facteurs constants	Gélose, graines germées, amidon, boîtes de Pétri	
Facteurs variables	La température	Le pH
Conséquences vérifiables	Si H1 est vraie alors si je fais varier la température alors je verrai une tache blanche de taille variable.	Si H2 est vraie alors si je fais varier le pH alors je verrai une tache blanche de taille variable.

Séance 2 :

Chaque groupe choisi l'hypothèse à tester, deux groupes s'occupent de l'action du pH et le troisième s'occupe de l'action de la température. Les élèves élaborent les protocoles sous la direction des consignes suivantes :

1. Elaborer les protocoles correspondant à l'hypothèse choisie à tester.
2. Elaborer une trace écrite des protocoles.
3. Réaliser
4. Etablir les critères de réussite d'un protocole reproductible.

Pour les aider, à leur disposition : deux ordinateurs sur le disque dur desquels j'avais aspiré, des sites internet concernant le rôle de l'alpha Amylase au cours de la germination des graines ; et des livres tels que : "Physiologie végétale - tome 2-Développement. Heller", "Travaux pratiques de biologie" de Didier Pol.

Bien entendu pour ne pas les influencer je n'ai pas sorti le matériel, les élèves lorsqu'il ont élaboré la trace écrite du protocole, me font une liste du matériel à sortir, et c'est avec un élève du groupe que nous installons ce dont ils ont besoin.

Les élèves ont peu l'habitude d'évoluer dans une autonomie comme celle que je leur est proposée. Certains sont même paniqués. Mais dans l'ensemble ils se prennent au jeu. Cela leur fait prendre conscience des limites imposées par le matériel, et les responsabilisent. Ceci se répercuta sur les TP que nous fîmes en tronc commun, où il cessèrent d'être consommateurs d'une "recette".

Les protocoles proposés par les élèves, montrent qu'ils n'ont toujours pas la notion de variation quantitative d'un paramètre notamment ici concernant le pH. En effet ils ont proposés des milieux Acide, Basic, ou neutre, et non une gamme de concentration plus étalée. Ceci est en partie dû au fait que je leur ai proposé deux solutions, une à pH acide et l'autre à pH basic, les enfermant sans m'en apercevoir dans une loi "du tout ou rien". Un seul élève proposa en fin de séance de diluer les solutions déjà prêtes, pour obtenir une gamme de pH plus étendue.

Toutes les séances de travaux pratiques, devraient impliquer l'élève dans sa construction. Mais les contraintes sont nombreuses : La durée des séances, les délais du programme. De plus laisser les élèves en autonomie même partielle demande un effort de la part de l'enseignant, une compréhension de la pédagogie appliquée de la part des parents, des élèves. En effet en ce qui me concerne, ce n'est que vers le mois de février que je me sentis capable de "lâcher" un peu plus mes élèves.

Pour respecter l'esprit des sciences expérimentales, il aurait fallu que chaque groupe d'élèves cherche à résoudre son propre problème. Ils auraient été autonomes non seulement dans l'élaboration des protocoles, mais pour l'ensemble de la démarche scientifique expérimentale, c'est à dire du problème à conclusion. Les deux séances avaient pour objectif de déterminer également les critères de réussite de la démarche (Cf. Annexe 14). La fiche méthodologique élaborée sera réinvestie dans le travail de 1^{ère} S et de terminale S. Les sujets II et III du Baccalauréat nécessitent en effet, la structure de la démarche scientifique exposée.

L'outil informatique aurait pu être mieux utilisé, en laissant les élèves chercher à tour de rôle lorsqu'il en éprouvaient le besoin, eux même sur internet au CDI. Ceci aurait été l'occasion de travailler dans un esprit proche des travaux personnels encadrés (TPE ou des travaux croisés du collège) où l'élève est acteur de son projet, et où les enseignants interviennent à plusieurs de façon ponctuelle, pour aider l'élève.

De plus dans les protocoles proposés, par les sites, de nombreuses erreurs s'étaient glissées, notamment dans la fabrication de la gélose. Le résultat fut décevant et me permit d'ouvrir le débat sur la nécessité de ne pas croire tout ce que l'on peut trouver sur internet ou sur tout autre outils de communication (Manuels, télévision , journaux....). D'où la nécessité d'apprendre à développer un esprit critique, si nous voulons être les citoyens responsables de demain. C'est par l'erreur que l'on apprend, notion qui chez les élèves est encore inaccessible, conditionnés par un système qui sanctionne l'erreur plutôt que de s'en servir comme moyen de progrès.

Conclusion :

La démarche scientifique expérimentale, qui date de Claude Bernard, est un mode de pensée qui s'intègre doucement à la pédagogie des sciences, et qui la soutend dans le meilleur des cas. Elle semble notablement faire partie de l'enseignement des SVT, en tout cas de façon plus visible que dans d'autre matière. Ces dernières années l'enseignement des SVT ex Biologie a beaucoup évolué ; de part les progrès et les découvertes faites (Clonage, séquençage du génome humain...), mais aussi dans la façon de l'enseigner. Il faut garder le soucis de rigueur et de développement de l'autonomie des élèves. Le mémoire professionnel que j'ai écrit se veut un témoignage de pratique pour permettre aux élèves d'atteindre ce mode de pensée. Il est évident , que l'objectif de cette acquisition ne peut se faire en un an. Il est donc nécessaire que ce type de raisonnement commence dès la sixième. Au cours de cette expérimentation, l'évaluation des élèves face à l'acquisition des "savoirs-faire" est incomplète par manque de temps. Pour répondre au problème : Comment faire acquérir la démarche scientifique expérimentale et tester notre hypothèse, il aurait fallu faire fonctionner les critères de réussite. Ceci sera effectué au cours des séances suivantes.

Cette démarche scientifique est aussi un moyen de réflexion et de raisonnement face à une société, qui nous inonde d'informations qu'il faut apprendre à trier si l'on ne veut pas sombrer dans la crédulité. L'esprit critique reste une priorité, et peut s'exercer au travers de ce type de raisonnement. Les progrès de la sciences ont été si importants ces dernières années, que beaucoup lui donne une dimension magique ou s'en serve pour appuyer des théories qui non rien de scientifique. Pour illustration, il suffit de lire l'article de G Lecointre (Cf annexe 16). Un mouvement créationniste défendant une création du monde selon une lecture littérale de la bible se développe aux Etats-Unis, le pire étant qu'il prétend s'appuyer sur des faits et un raisonnement scientifique. Si l'on ne connaît rien à la démarche scientifique, comment trouver la supercherie dans leur méthode "scientifique"? L'éducation scientifique à une grande responsabilité dans la formation des esprits. La science a le devoir de s'associer à la philosophie, la sociologie....afin de savoir distinguer ce qui est une vision poétique du monde de la réalité.

Αννεξεσ

	Pages	
Annexe 1	Bibliographie	1
Annexe 2	Textes philosophiques	2
Annexe 3	Analyses des résultats du constat	4
Annexe 4	Activité"Les étapes de la démarche expérimentale"	6
Annexe 5	Texte de Claude Bernard	7
Annexe 6	Fiche de méthode : Les étapes de la démarche expérimentale	8
Annexe 7	Situation déclenchante du thème 2	9
Annexe 8	Texte intégral d'Eijkman	10
Annexe 9	Expérience de la mobilisation de l'amidon durant la germination	17
Annexe 10	Montage 1 des élèves	18
Annexe 11	Montage 2 et 3 des élèves	19
Annexe 12	Montage et résultat EXAO (Respiration des graines germées)	20
Annexe 13	Exercice formatif	21
Annexe 14	Fiche méthodologique des critères de réussite de la démarche	22
Annexe 15	Protocoles d'élèves	23
Annexe 16	Texte de G lecointre	24
Annexe 17		25

ANNEXE 1

Bibliographie

<i>Titres</i>	<i>Auteurs</i>	<i>Références</i>
La didactique a t-elle raison de s'intéresser à l'histoire des sciences?	Daniel Raichvarg	Aster n°5 1987 Didactique et histoire des sciences.
Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences.	Gabriel Gohau	Aster n°5 1987 Didactique et histoire des sciences.
Travail autonome au Lycée.	J Guyon	Aster n°4 1987 Communiquer les sciences.
L'enseignement scientifique, comment faire pour que ça marche?	Giordan De Vecchi.	
L'équation du nénuphar	A Jacquard.	
.Aide méthodologique en Sciences de la Vie et de la Terre.	Berthou Geronimi Maynadier Quessada.	Dossier n°3 Décembre 1997
Philosophie TL Textes et idées	Birman Deschamps Gaillard Huisaman Le Strat Margat.	Nathan
Le créationnisme	Guillaume Lecointre	Pour la Science n° 265 Novembre 1999

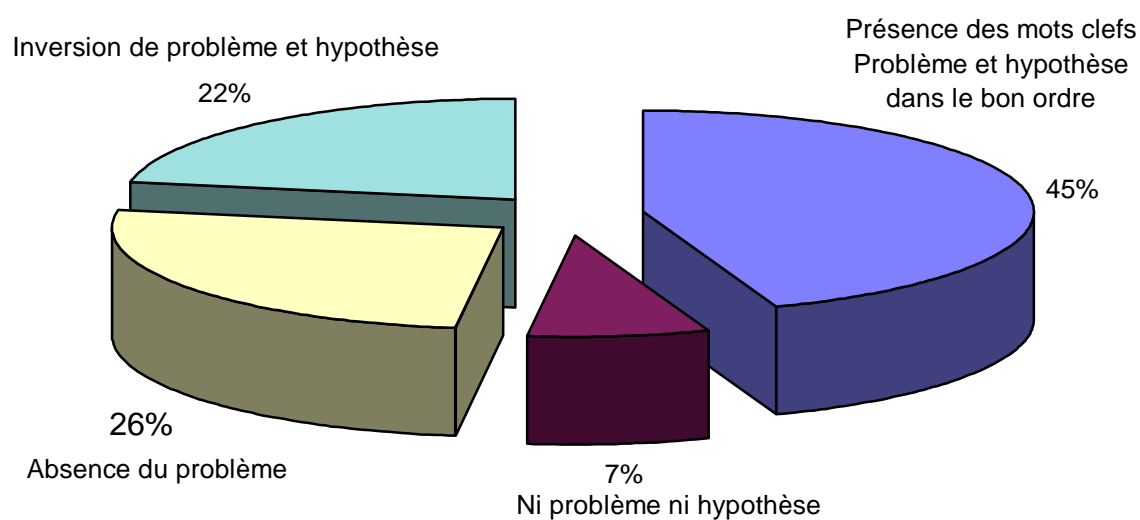
ANNEXE 2

ANNEXE 3

Les étapes de la démarche scientifique

Consigne donnée aux élèves : Indiquer les étapes de la démarche scientifique expérimentale

Graphique des réponses des élèves



Je n'ai pris en compte que deux étapes de la démarche ainsi que leur ordre d'utilisation car elles me semblent fondamentales dans tout raisonnement scientifique.

De plus parmi les 27 élèves de ma classe de première S, seulement trois ont été capables de lister en entier et de façon ordonnée les étapes de la démarche(du moins les principales)

ANNEXE 4

Consignes

A partir du document 1 :

1. Retrouver et souligner dans le texte les différentes étapes du raisonnement d'EIJKMAN.
2. Formuler le problème que s'est posé EIJKMAN.
3. Indiquer l'hypothèse et expliquer la stratégie adoptée par le chercheur.
4. Interpréter les résultats et conclure sur la validité de l'hypothèse.

A partir du document 2 :

1. Indiquer ce que fait EIJKMAN par la suite, ainsi que les différentes étapes de son raisonnement.
2. Généraliser en listant les étapes du raisonnement d'EIJKMAN à partir des deux documents.

A partir du document 3 :

1. Retrouver et souligner dans le texte de Claude BERNARD les étapes de la démarche reconnues dans les deux premiers documents.
2. Repérer les nouvelles étapes qui apparaissent et formuler le problème soulevé.
3. Lister pour terminer les étapes de la démarche scientifique expérimentale à partir des trois documents.

ANNEXE 5

ANNEXE 6

Fiche de méthode : Les étapes de la démarche scientifique expérimentale

Etapes de la démarche	Capacités
Acquis Faits	Utiliser les connaissances. Saisir des données.
Problème	Formuler un problème
Hypothèses	Emettre une hypothèse
Test des hypothèses	
Stratégie	Concevoir intellectuellement un moyen de tester les hypothèses.
Protocole expérimental	Choisir des outils adaptés Réaliser techniquement.
Résultats	Saisir des données.
Traitement des résultats et explications	Traiter les données. Adopter une démarche explicative
Conclusion	Adopter une démarche explicative
Conclusion générale (Résolution du problème et généralisation)	Elaborer une synthèse.

ANNEXE 7

Thème 2 Germination et croissance des végétaux

Séance 1 : Situation déclenchante :

Matériel		Consignes	<i>Critères de réussite</i>	<u>Objectifs</u>
Vivant	De laboratoire	1. Retrouver la nature de chaque élément et son origine.	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Tableau à 3 colonnes. ♣ Nature et origine exacte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remobilisation des acquis : - 6° Le peuplement d'un milieu Culture de végétaux 5° ou 4° Reproduction et pérennité des espèces 2nd organisation fonctionnelle des être-vivants.
Lentilles haricots blé	Pots terreau bêchers	2. Classer ces éléments selon les critères de votre choix.	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Tableau de 5 colonnes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborer la notion de semence.
avocat pommes fleurs oignons ail Pomme de terre graines de salade	germoir eau coton couteaux Erlenmeyers tubes à essai	3. Imaginer et schématiser des manipulations mettant en évidence la notion de semence. 4. Réaliser.	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Schéma du montage. ♣ Conditions indiquées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboration de manipulations et réalisations techniques(Autonomie) • Communication par le schéma. • Elaboration de problèmes lors de la séance prochaine.

ANNEXE 8

Consignes :

1. Indiquer les six ou sept premières hypothèses émises par Eijkman à propos de l'origine de la maladie.
2. Définir alors ce qu'est une hypothèse.

ANNEXE 9

Objectif de l'activité : Acquérir une démarche pour savoir formuler un problème.

Consignes :

1. Rappeler le rôle de l'eau iodée.
2. Indiquer le phénomène biologique étudié.
3. Déterminer alors le facteurs testé.
4. Enoncer l'hypothèse.

Expérience : Des grains de blé ou d'orge sont coupés dans le sens de la longueur et déposés dans une boîte de Pétri remplie de gélose additionnée d'empois d'amidon à 1^o/_o. On dispose la section contre la gélose. Les boîtes sont placées à l'étuve à 20/25°C. Quelques jours plus tard, on effectue une coloration à l'eau iodée.

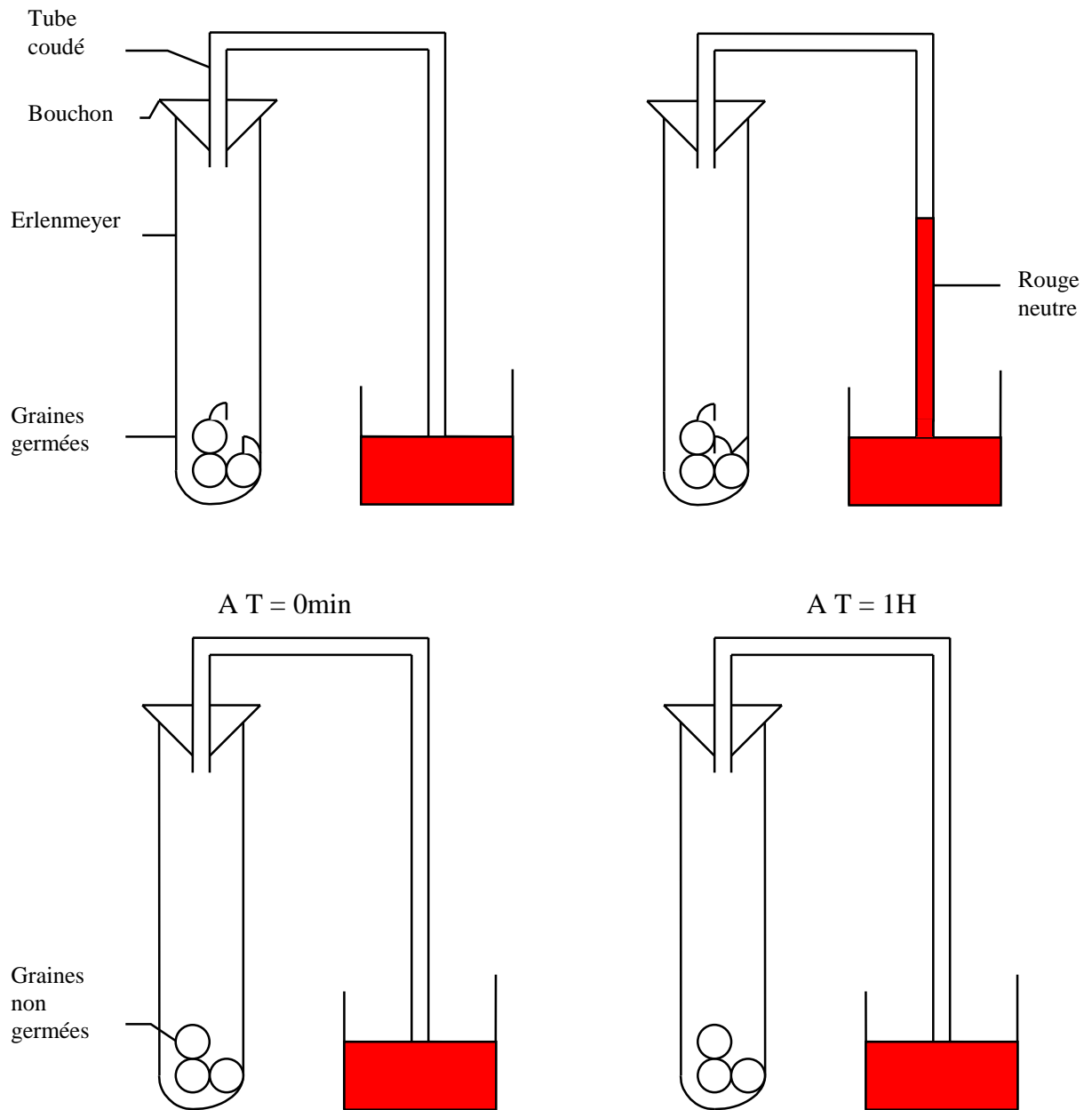
Graine non germée

Graine germée

ANNEXE 10

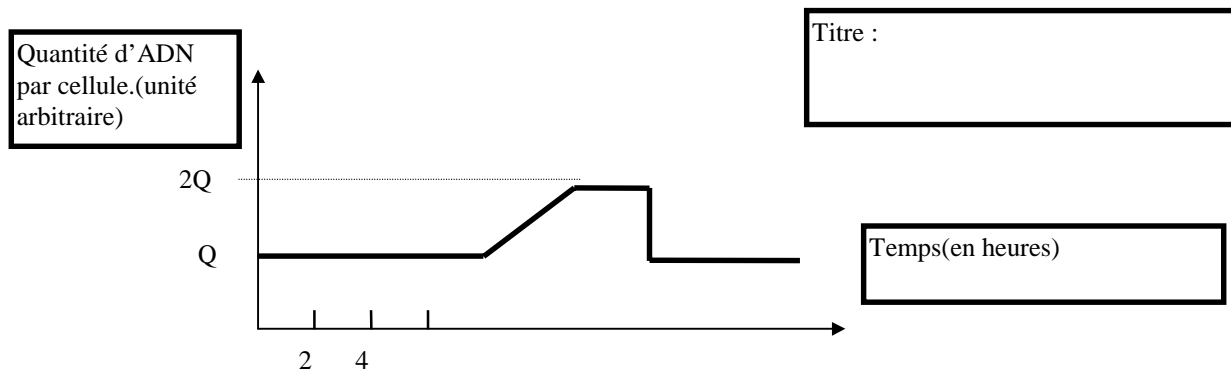
Protocoles élaborés par les élèves pour tester les facteurs de la germination

Montage 1



ANNEXE 13

Exercice formatif : Savoir utiliser un graphe.



Objectifs : Méthodologiques : - Saisir les données d'un graphe
- Formuler un problème

Consignes	Capacités	Critères de réussite	Réponses		évaluation
1. Donner un titre au graphe.	Saisir de données.	<ul style="list-style-type: none"> • Une phrase(commençant par : graphe) • Facteurs des axes correctement reliés. 			
2. Décomposer les résultats sur la courbe.	Saisir des données.	<ul style="list-style-type: none"> • Segments correctement délimités pour chaque segment de variation significative. 			
3. Décrire et expliquer les variations observées.	Saisir des données.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 phrase par segment • le sujet(le facteur) • le verbe(description de l'évolution du facteur) • valeurs chiffrées • Toutes les informations dans un tableau à deux colonnes(données , explications) 	<u>Données</u>	<u>Explications</u>	
4. Formuler un problème concernant la variation de la quantité d'ADN.	Adopter une démarche explicative.	<ul style="list-style-type: none"> • Une phrase interrogative. 			

ANNEXE 14

Fiche méthodologique des critères de réussite de la démarche scientifique expérimentale.

Etapas de la démarche.	Critères de réussite							
	<i>Fond</i>	<i>Forme</i>						
Problème	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Fait à expliquer, auquel on ne peut répondre directement. ♣ Qui concerne des mécanismes(fonctionnel). 	<p>Une question. Commençant le plus souvent par comment expliquer.</p>						
Hypothèses	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Réponses possibles au problème. ♣ Phase contenant : - Le phénomène biologique ou géologique à expliquer. - Le facteur étudié et sa variation. 	<p>Phrase affirmative.</p>						
Stratégie	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Facteurs constants. ♣ Facteurs variables (un à la fois). ♣ Conséquences vérifiables. 	<p>Si mon hypothèse est vraie et si je fais varier (le facteur testé) alors je verrai (une variation de la conséquence vérifiable).</p>						
Protocole	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Permettant de tester l'hypothèse. ♣ Réalisable avec le matériel à disposition. ♣ Présence d'un montage référent. ♣ Un seul facteur variant. 	<p>Schémas représentant les différentes étapes à effectuer. Quelques phrases explicatives.</p>						
Résultats	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Variation du paramètre mesuré. 	<p>Schéma, phrases ou tableau.</p>						
Exploitation des résultats	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Les données traitées : <ul style="list-style-type: none"> - Mise en relation entre variation du protocole et modification du paramètre étudié. - Valeurs chiffrées si possible. ♣ Déduction, explication : <ul style="list-style-type: none"> - Mise en relation des causes et des conséquences. - Utilisation des connaissances. - Signification géologique ou biologique. 	<p>Tableau à 2 colonnes :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Données</th> <th style="text-align: center;">Explications</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Sans..., j'observe....,</td> <td style="padding: 5px;">J'en déduis...., donc.....</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Avec..., j'observe....</td> <td style="padding: 5px;">Or je sais.... donc.....</td> </tr> </tbody> </table>	Données	Explications	Sans..., j'observe....,	J'en déduis...., donc.....	Avec..., j'observe....	Or je sais.... donc.....
Données	Explications							
Sans..., j'observe....,	J'en déduis...., donc.....							
Avec..., j'observe....	Or je sais.... donc.....							
Conclusion	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Hypothèse validée ou infirmée. ♣ Réponse totale ou partielle au problème. 	<p>Phrases ou schéma fonctionnel.</p>						

ANNEXE 15

Protocoles réalisés par les élèves :

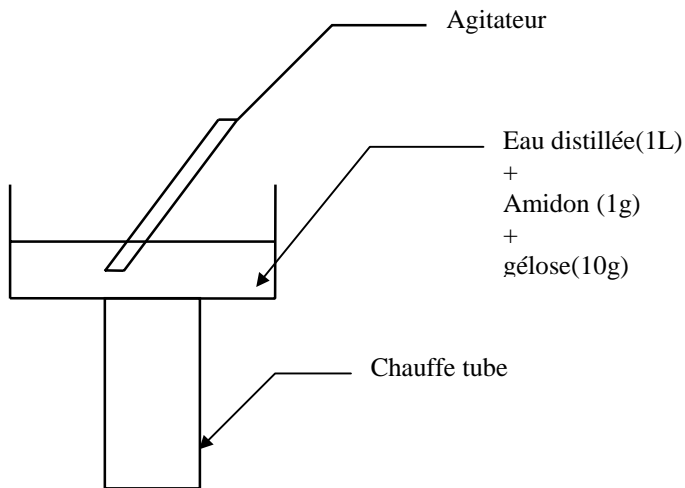
Hypothèse testée : Le pH a une action sur l'activité de l'alpha Amylase.

Matériel :

- ♣ Trois boîtes de Pétri
- ♣ Graines germées
- ♣ Gélose
- ♣ 3 Solutions : Acide, neutre, basique
- ♣ Amidon
- ♣ Lugol

Protocole :

1 Préparation de l'empois d'amidon et de la gélose.



2) Après avoir obtenu un mélange homogène, on ajoute la solution choisie et on coule le mélange dans les boîtes de Pétri. On ajoute alors le lugol.

Avec la solution acide

Avec la solution neutre

Avec la solution basique