

DES LYCÉENS FACE À UNE INVESTIGATION À CARACTÈRE EXPÉRIMENTAL : UN EXEMPLE EN PREMIÈRE S

Patricia Schneeberger
Raymond Rodriguez

Cette étude est centrée sur l'analyse des démarches des élèves face à un ensemble de tâches incluant un recours à la pratique expérimentale. Nous avons, pour cela, observé des groupes d'élèves auxquels nous avons proposé de réaliser une véritable investigation scientifique portant sur la biologie des levures et la fermentation alcoolique, dans le cadre de l'option "Sciences expérimentales" (élèves de 16-17 ans).

Notre objectif est de clarifier le rapport des élèves à l'expérimental en essayant de comprendre comment ils procèdent pour formuler et traiter un problème. Il va de soi que nous avons constaté des différences entre les groupes observés. Nous avons cependant pu dégager quelques tendances dans l'attitude des élèves face à une investigation scientifique à caractère expérimental. Cela nous a permis de construire des outils d'observation exploitables dans d'autres situations. Nous avons pu ainsi montrer l'intérêt que représente l'étude des démarches des élèves pour les enseignants.

L'apprentissage d'une démarche expérimentale est un des principaux objectifs de l'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre ; il est abordé dès l'école primaire, puis il est renforcé tout au long de la scolarité. Cependant cette démarche expérimentale est habituellement conçue comme un support permettant d'enseigner un résultat de la science. Le professeur choisit un objectif notionnel, puis il propose aux élèves une ou plusieurs activités pratiques permettant d'atteindre cet objectif ; il peut ensuite généraliser et construire la notion à enseigner. Les élèves n'ont alors, ni le choix du sujet d'étude ni, généralement, celui du protocole à adopter. De plus ils ne sont trop souvent confrontés qu'à des expériences qui visent chacune à valider une seule hypothèse. Il en résulte une sorte d'imprégnation qui n'a pas toujours l'efficacité souhaitée.

Notre équipe (1), constituée de trois professeurs de SVT (A. Cotten, S. Masson et R. Rodriguez) et d'un enseignant chercheur (P. Schneeberger), a étudié les pratiques des élèves de 1^e S dans le cadre de l'option "Sciences expérimentales". Cet enseignement représente un dispositif, unique dans le système français, qui permet de laisser une large place à

autoriser une
plus grande
autonomie

(1) Ce texte est issu de travaux de recherche sur "La pratique expérimentale dans la classe", conduits en association avec l'INRP de 1995 à 1998, sous la direction de Claudine Larcher.

des situations de recherche ouvertes et donc d'observer des démarches peu contraintes. En effet, les textes qui définissent cette option précisent que l'étude des thèmes proposés par les programmes officiels "*peut fournir l'occasion de confier aux élèves, en équipe, la conception et la mise en œuvre de projets d'ampleur raisonnable, impliquant une recherche personnelle (pratique, expérimentale, documentaire), pour laquelle le professeur soit en mesure de les guider*" (2).

Au cours de nos travaux, nous avons décidé de laisser les élèves libres de leur sujet d'étude ainsi que de la conception et de la mise en œuvre de la démarche à adopter. Ils devaient également exploiter les résultats obtenus et les communiquer aux autres élèves. Ils ont pu ainsi conduire une recherche qui s'apparente au travail des scientifiques, avec les incertitudes, les échecs et les controverses que cela suppose. Durant cette investigation, le professeur devait apporter aide et soutien à ses élèves tout en interférant le moins possible sur leurs travaux. Nous avons donc cherché à construire des outils d'analyse permettant à l'enseignant d'assurer cette fonction.

Le thème proposé aux élèves porte sur la fermentation alcoolique en relation avec les conditions de la vinification. Notre choix s'est porté sur ce champ d'investigation parce que c'est un domaine pour lequel il est matériellement possible de construire un champ empirique, d'autant plus facilement que nous travaillons dans une région viticole.

Nos observations se sont déroulées dans deux classes de 1^e S du lycée Jaufré Rudel de Blaye (Gironde), réparties en 13 équipes de deux ou trois élèves et encadrées par deux professeurs (A et B).

Nos données sont basées essentiellement sur les informations recueillies pendant l'année 1996-97, à partir :

- des observations organisées dans les classes des enseignants A et B ;
- de l'analyse des productions écrites des élèves (cahiers de laboratoire, brouillons, comptes rendus) ;
- de l'enregistrement des comptes rendus oraux ;
- d'enquêtes réalisées auprès des élèves observés.

1. LE CONTEXTE PÉDAGOGIQUE

Les professeurs responsables des classes observées ont, dans un premier temps, indiqué aux élèves ce qu'ils attendaient d'eux, en SVT, dans le cadre de l'option "Sciences

(2) B.O.E.N. Hors série du 24 septembre 1992, p. 89.

présenter
le cadre
général et
les conditions
de travail

expérimentales". Au cours de l'année, les élèves devaient concevoir et réaliser trois projets scientifiques en travaillant en équipes de deux à quatre élèves. Ces projets impliquaient nécessairement une recherche expérimentale et/ou documentaire se déroulant sur cinq à six séances de trois heures chacune. Un document leur était remis, consignait l'organisation des tâches. Cet enseignement diffère donc du cadre scolaire habituel : la créativité de l'élève y est privilégiée, le professeur ayant pour rôle de guider le travail des équipes. Dans un deuxième temps, les professeurs ont proposé de visiter un chai de vinification pendant les vendanges, au mois de septembre. Cette visite, encadrée par un œnologue, avait pour objectif de susciter le repérage, de la part des élèves, de problèmes à résoudre dans le cadre du thème étudié. En fait, les informations collectées lors de la visite du chai devaient, dans une première étape, être assimilées par les élèves. C'est une des raisons pour lesquelles les enseignants leur ont demandé de rédiger un compte rendu de visite.

deux visites
préparatoires

Le thème du travail qui fait l'objet de l'article a été abordé en janvier, après un projet sur un autre thème (germination et croissance végétale). Les élèves ont alors visité le laboratoire d'un œnologue qui, tout au long de notre travail, a été une personne ressource. L'objet de cette visite était double : voir les travaux qui sont réalisés dans un laboratoire d'analyses et rechercher des réponses aux problèmes techniques liés au sujet de recherche choisi par chaque groupe (comment mesurer un taux de sucre ? comment cultiver des levures ? comment mesurer la quantité d'alcool obtenue ? etc.). En cours de travail, certains élèves sont allés consulter l'œnologue en dehors du temps scolaire. Celui-ci a donc accepté de jouer le rôle de l'expert et a proposé son aide pour interpréter les résultats obtenus.

des élèves
responsables
de leur projet
de recherche

Après avoir défini un sujet de recherche, les élèves devaient construire une démarche d'investigation incluant la conception et la mise en œuvre d'un protocole expérimental, ainsi que l'exploitation des résultats obtenus. En outre, les professeurs leur ont demandé de faire une analyse critique du travail effectué (élaboration du protocole, oubli de certains paramètres, manque de rigueur dans les manipulations...).

Pendant leur travail, les élèves pouvaient consulter une documentation rassemblée par leur enseignant. Ce fonds documentaire, qui était à la disposition des élèves, était essentiellement constitué de documents "bruts" : fiches techniques des producteurs de Levures Sèches Actives, articles de revues professionnelles d'œnologie, comptes rendus de conférences universitaires, extraits de mémoires et de thèses. D'autres documents avaient été rédigés pour des élèves de lycées, notamment un dossier documentaire comprenant les acquis antérieurs (extraits de manuels de 6^e

et de 3^e). Enfin, dans la limite des capacités du laboratoire, les élèves pouvaient demander le matériel dont ils avaient besoin : microscopes, divers appareils de mesure (balances, thermomètres, mustimètres (3)...), verrerie, moût, différentes souches de levures etc.

Outre l'aide méthodologique et technique apportée, les enseignants ont fait en sorte que chaque élève :

- ait conscience qu'il n'était pas en situation d'apprentissage par simple enregistrement de résultats scientifiques préétablis (selon une voie canonique) ;
- sache qu'on attendait de lui la production d'un résultat pouvant être soumis à controverse par les autres élèves de la classe et par le professeur ;
- soit confronté à des faits pour lesquels il ne possédait ni réponse toute faite (stéréotypée), ni réponse qu'il lui était possible de construire par raisonnement à partir de ses connaissances uniquement (selon une démarche déductive).

changer de
critères de
réussite

Lors de nos observations, nous avons constaté que tous les élèves ont rapidement compris que les critères de réussite habituels (acquisition de connaissances qui sont des résultats de la science, apprentissage systématiquement encadré de l'utilisation de tel ou tel matériel...) ne correspondaient pas aux attentes des professeurs dans le cadre de l'option "Sciences expérimentales" en SVT. Cela n'a pas gêné la plupart des élèves mais nous avons constaté que certains, notamment parmi ceux qui réussissent le mieux scolairement, sont déstabilisés lorsqu'ils sont face à une véritable démarche d'investigation.

Au cours de leur travail, les élèves ont élaboré, en groupe, plusieurs types d'écrits : compte rendu de la visite du chai, cahier de laboratoire, compte rendu final. Chaque écrit est intervenu à une phase différente du travail et devait jouer un rôle spécifique. À l'issue de leur travail, les élèves ont présenté oralement leur recherche. Les élèves ont souvent considéré cette phase de communication et d'échanges comme importante, notamment les critiques apportées par les autres groupes. Un des élèves l'exprime ainsi : "*exposer nos résultats aux autres est enrichissant pour nous et enrichissant pour les autres*". Outre la présentation d'un travail fini, il nous a paru souhaitable que, régulièrement, les élèves puissent exposer à la classe, dans le cadre d'une discussion, le degré d'avancement de leur travail : quel est le projet de recherche ? qu'est-ce qui a été réalisé ? que reste-t-il à faire ? quelles sont les difficultés à surmonter ? Cet exercice permet non seulement à l'élève de savoir où il en est, mais aussi d'échanger des idées avec les autres, ce qui est souvent fructueux. De plus les élèves qui traitent des sujets voisins peuvent confronter leurs travaux, ce qui est souvent sécurisant.

(3) Cet appareil permet d'évaluer, dans un moût, la quantité d'alcool probable du vin.

des élèves
motivés

Les activités que nous avons proposées ont été ressenties comme agréables pour la plupart des élèves qui se sont responsabilisés. Pour s'en convaincre, il suffit de les avoir vus prendre l'initiative de passer au laboratoire, en dehors des heures de cours, pour réaliser des prélèvements d'échantillons, des mesures ou, tout simplement, pour "venir voir" leurs manipulations en cours. Nous avons le sentiment que les élèves qui ont suivi cette option, qu'ils aient par ailleurs de bons résultats ou de moins bons, ont pris plaisir à "faire de la science". Plusieurs auraient souhaité poursuivre leurs travaux plus longtemps sur ce thème.

2. FORMULATION DU SUJET DE RECHERCHE

Dans les classes observées, les groupes n'ont pas procédé de la même façon pour formuler leur problème ou sujet de recherche.

2.1. Évolution du sujet de recherche en cours de travail

Formuler un sujet de recherche est une activité qui dérouté beaucoup d'élèves car ils n'y sont pas entraînés. En effet, dans la plupart des situations de classe, le problème à résoudre est posé par l'enseignant. De plus, les connaissances antérieures des élèves dans le domaine des fermentations et de l'œnologie se sont avérées limitées. Il pouvait s'agir parfois de quelques souvenirs de Sixième mais, le plus souvent, de connaissances acquises hors du cadre scolaire. De ce point de vue, quelques élèves dont les familles sont liées à la viticulture possédaient généralement plus de connaissances que les autres (fermentation alcoolique, fermentation malo-lactique, étapes de la vinification, élevage du vin...).

Immédiatement après la visite du chai, les élèves avaient encore peu d'idées sur un éventuel problème à résoudre. Interrogés sur ce point, les 17 élèves du professeur B ont répondu de manière vague :

- *La transformation du sucre en alcool* (7 réponses).
- *Action et rôle des levures* (7 réponses).
- *La fermentation alcoolique* (3 réponses).

En janvier (4), quand les élèves ont repris leur travail sur ce thème, la formulation des problèmes est très différente :

1. *Savoir quelle levure a un effet killer sur l'autre.*

2. *La fermentation est-elle proportionnelle à la quantité de levures fournies ?*

(4) Entre septembre et janvier, les élèves ont travaillé sur un autre sujet de recherche proposé par l'enseignant : germination et croissance végétale.

la formulation
du sujet de
recherche
évolue

3. Recherche des conditions de développement optimales des levures en fonction de deux paramètres : température ambiante et concentration du moût en sucre.

4. Déterminer quels sont les facteurs environnants favorables à la vinification et leurs optimums respectifs.

5. Est-ce que les levures sont présentes en fin de fermentation et qu'est-ce qu'elles deviennent ?

6. Déterminer quelles sont les conditions externes nécessaires à la croissance et à la multiplication des levures.

7. Comment les levures transforment-elles le moût en vin ? Que deviennent les levures après transformation du moût en vin ? Est-ce qu'elles se développent (grossissent), se reproduisent ou meurent ?

8. Les différentes fermentations : alcoolique, malo-lactique.

La formulation finale des problèmes posés par les élèves est non seulement différente de la formulation proposée juste après la visite du chai en septembre, mais elle est aussi différente de celle proposée à la reprise des travaux en janvier. L'élève, comme le chercheur, ne dispose pas de la réponse au problème qu'il pose. Aussi il ne peut pas toujours le formuler d'emblée de manière claire. Il est en situation d'errance ; le problème peut avoir initialement un contour flou. Lors de nos observations, si 9 problèmes sont restés inchangés, 7 autres ont évolué en cours de travail vers plus de simplicité et de réalisme par rapport à l'investigation envisagée initialement.

2.2. Nature des sujets de recherche retenus

Les treize groupes observés ont formulé au total seize problèmes ou sujets de recherche (voir document 1), certains groupes ayant formulé plusieurs problèmes. Nous avons comparé ces différents problèmes en nous intéressant à leur formulation et aux types de recherche qu'ils supposent.

Généralement, le problème est posé sous forme de question ; les élèves n'en connaissent pas la réponse, mais ont souvent un avis, formulé ou non, sur celle-ci. Dans la plupart des cas observés, les élèves ont, dans leurs communications, utilisé le terme de "problème" de manière formelle, comme synonyme de question. Jamais ils n'emploient le terme de "sous-problème", même si celui-ci est parfois employé par les professeurs. Dans le cadre d'une activité d'investigation, ne conviendrait-il d'ailleurs pas mieux de parler simplement de sujet de recherche ?

quand
"problème"
est synonyme
de question

La moitié des sujets retenus par les élèves conduisent à des mesures alors que l'autre moitié conduit à des activités uniquement qualitatives. Le laboratoire est donc compris par les élèves comme un lieu où on peut reproduire un phénomène de manière à en observer les caractéristiques ou à en mesurer les différents aspects. Ils admettent alors qu'un phénomène biologique peut être décrit en termes de

grandeurs mesurables et que les résultats obtenus au laboratoire, dans une micro-vinification de 1 L, sont extrapolables pour une cuve de 140 hL, dans un chai.

un besoin
de collecte
de données

Qu'il s'agisse d'établir une relation entre deux paramètres, d'établir la valeur optimale d'un paramètre, de constater un aspect qualitatif ou un événement, tous les problèmes sont inscrits dans une démarche descriptive de la fermentation alcoolique. Ils correspondent tous à un besoin de collecte de données. Remarquons qu'aucun élève n'a finalement cherché à établir un mécanisme. Cependant, les élèves ne se sont jamais limités à mesurer ou à constater les paramètres d'une vinification standard. Tous les problèmes posés ont entraîné des activités permettant de constater des aspects qui ne sont pas directement perceptibles quand on observe une fermentation alcoolique. Cette attitude est à rapprocher de celle constatée au paragraphe précédent : puisque le laboratoire est compris comme un lieu où on peut reproduire un phénomène, alors il est intéressant d'y étudier des aspects du phénomène qui ne sont pas mesurables ou observables quand on est face à ce phénomène en vraie grandeur (ici le chai).

l'influence des
interventions
de l'enseignant

Alors que le professeur pose à ses élèves des problèmes qui sont à leur portée intellectuelle, le danger potentiel pour l'élève consiste, sans qu'il ne s'en rende compte, à poser un problème qu'il n'est pas en mesure de résoudre. Élève et professeur se trouvent alors dans une impasse. Aucun des groupes que nous avons observés ne s'est placé dans cette situation. Au contraire les problèmes posés ont souvent évolué dans le sens d'une plus grande faisabilité. Peut-être faut-il y voir le résultat de l'intervention, déterminée ou non, des enseignants. Reste à savoir si les problèmes formulés et traités s'inscrivaient dans un cadre plus général pour les élèves. La collecte de données, aussi fine soit-elle, était-elle un but en soi ou était-elle une étape obligée dans la résolution d'un problème plus vaste, difficile à résoudre, et qui, d'évidence, ne pouvait être envisagé d'emblée ? Nos observations n'ont pas permis de répondre à cette question.

2.3. Les stratégies de formulation du problème

cinq stratégies
observées

Les enseignants avaient, certes, précisé qu'ils souhaitaient une analyse critique du cheminement réel mais, dans leurs communications finales, les élèves peuvent facilement, et sans toujours s'en rendre compte, brouiller les pistes en proposant un cheminement cohérent qui n'est pourtant pas celui qu'ils ont suivi. En conséquence, les stratégies de formulation du problème, choisies par les différents groupes, sont parfois difficiles à distinguer les unes des autres et n'apparaissent souvent qu'en suivant pas à pas le travail des élèves. On peut néanmoins dégager cinq stratégies de formulation du problème qui correspondent, de la part des élèves, à des prises de risque plus ou moins importantes.

Document 1. Comparaison des sujets traité

Classe	Problème (formulation finale)	OBJECTIF DU SUJET	
		Qualitatif	Quantitatif
A	Pourquoi les maîtres de chai ont-ils rajouté des levures alors que le vin était en cours de fermentation ?	X	
	Que deviennent les levures après fermentation ?	x	
	Les levures se reconnaissent-elles entre elles ? (<i>effet "killer"</i>)	X	
	Par quels moyens les levures pourraient être "killer" entre elles ?	X	
	Les levures mortes assurent-elles leur fonction ? (<i>fermentation</i>)	X	
B	Rechercher une substance à effet "killer" et "voir" l'action de cette substance (si elle empêche le développement).	X	
	Quelle est l'influence de l'apport de levures, dans le moût, sur la fermentation alcoolique et plus précisément la Zymaflore par rapport à l'Œnoprox permet-elle une fermentation alcoolique plus rapide ?		X
	Le temps mis par le sucre pour se transformer en alcool est-il proportionnel à la quantité de levures fournies ?		X
	Comment la température et la concentration en sucre du milieu influencent-elles le développement des levures ?		X
	Déterminer quelle est la température optimale de vinification.		X
	Est-ce que les levures se reproduisent pendant la fermentation ?	X	
	Est-ce que les levures sont vivantes en fin de fermentation ?	X	
	Si les levures sont vivantes en fin de fermentation, influencent-elles les composés phénoliques (= <i>goût</i>) du vin ?	X	
	Déterminer quelle est la quantité de sucre nécessaire à la multiplication des levures.		X
	Comment les levures transforment-elles le moût en vin ? Sur quels éléments du moût agissent-elles ?	X	
Les fermentations se font-elles mieux en milieu aérobie ou anaérobie ?	X		
TOTAUX		11	5

ar les différents groupes

HYPOTHÈSE EN COURS DE MANIPULATION				ACTIVITÉ RÉALISÉE		CADRE D'INVESTIGATION
Absente	Formelle	Implicite	Explicite	Mesures	Comparaison	
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
			X		X	Expérimental
X				X		Empirique
		X		X		Empirique
	X			X		Optimisation
X				X		Optimisation
	X			X		Engagement formel
		X			X	Empirique
		X			X	Expérimental
		X		X		Empirique
			X	X		Expérimental
			X	X		Empirique
2	2	4	8	8	8	

• **La stratégie exploratoire**

L'élève pose un problème pour lequel il n'a aucune idée ni de la réponse, ni de la manière dont il va le résoudre. C'est un véritable défi qui motive certains élèves et que d'autres évitent.

Aurélie, Renaud, Nicolas

– *Le problème est posé de manière précoce : "Recherche des conditions de développement optimales des levures en fonction de deux paramètres : température ambiante et concentration du moût en sucre". Il ne subit pas de modification en cours de travail.*

– *Après hésitation sur la nature des manipulations à réaliser (culture des levures sur milieu gélosé), les élèves décident de réaliser des micro-vinifications (milieu liquide).*

– *Un moment, les élèves ne croient pas à ce qu'ils trouvent car les résultats des mesures ne correspondent pas à leurs attentes. Cependant, en fin de compte, les élèves admettent les résultats obtenus "pour voir", en dépit d'erreurs manifestes de mesure (liées à la non-homogénéisation des milieux de culture avant de prélever des échantillons destinés à compter les levures).*

• **La stratégie sécuritaire**

L'élève réinvestit de manière plus ou moins consciente des savoirs antérieurs. Il repère d'abord, au moins sommairement, des manipulations qu'il sait réalisables ; il connaît, ou croit connaître, une réponse au problème qu'il ne formule qu'ensuite artificiellement, pour donner un cadre aux manipulations qu'il envisage.

Karine et Isabelle

– *Le problème initialement posé est vaste : "Déterminer quelles sont les conditions externes nécessaires à la croissance et à la multiplication des levures (température, composition du moût, dioxygène)". Cependant, il subit une série de simplifications qui le ramènent à "Déterminer quelle est la quantité de sucre nécessaire à la multiplication des levures".*

– *Cette évolution du problème est motivée par des contraintes techniques (limiter le nombre de situations expérimentales) mais aussi parce que le sucre est familier et que les élèves connaissent son rôle dans la fermentation.*

– *Le fait que les élèves mettent en doute leurs résultats en avançant, a priori, des erreurs de manipulation, montre qu'au départ elles pensaient connaître la réponse. Le problème a donc été posé pour justifier une manipulation dont le résultat était supposé connu. Consciemment ou non, les élèves choisissaient de ne pas se placer dans une situation qui les aurait conduit à proposer une réponse nouvelle par rapport à leurs connaissances.*

une prise
de risque
importante...

...ou minimale

• **La stratégie adaptative**

C'est une stratégie intermédiaire entre les deux précédentes. Elle consiste à poser un problème, selon une stratégie souvent "exploratoire", puis à le reformuler en fonction des contraintes rencontrées, des possibilités d'expérimentation ou bien des résultats expérimentaux. Le problème initialement posé est ainsi, toujours, plus ou moins profondément modifié.

Katia, Séverine et Stéphane

resserrement
du problème

– *La formulation initiale était "La fermentation est-elle proportionnelle à la quantité de levures fournie ?" Celle-ci était présentée comme la reprise d'un travail antérieur (influence de la quantité d'hormones sur la croissance des plantules).*

– *En cours de route cette formulation a subi diverses modifications, elle s'est surtout compliquée. La formulation finale du problème est "Quelle est l'influence de l'apport de levures, dans le moût, sur la fermentation alcoolique ? Plus précisément, deux souches de levures utilisées en œnologie (Zymaflore et Œnoprox) permettent-elles une fermentation alcoolique plus rapide ? Le temps mis par le sucre pour se transformer en alcool est-il proportionnel à la quantité de levures fournies ?"*

– *L'évolution du problème est liée aux possibilités de manipulations offertes par le professeur (deux souches de levures et deux variétés de moûts).*

– *L'hypothèse n'est formulée de manière explicite que dans le compte rendu. Cependant certains résultats sont attendus de manière implicite.*

• **La stratégie pilotée par la manipulation**

L'élève qui adopte cette stratégie choisit une manipulation qui lui paraît plaisante, même si elle lui est inconnue. Il définit ensuite, de manière formelle, un problème, auquel sa manipulation se rapporte, simplement parce que le professeur le demande. Le protocole suivi se trouve donc souvent déconnecté du problème posé. Ce n'est pas une stratégie "sécuritaire" en ce sens que pour lui la réponse est inconnue.

priorité à la
manipulation

Benjamin et Géraldine

– *L'hypothèse testée "L'une des deux souches en présence va limiter la croissance de l'autre à l'aide d'une substance excrétée dans le milieu" ne correspond pas tout à fait au problème posé qui insistait sur la nature de la substance concernée : "Rechercher une substance à effet killer et "voir" l'action de cette substance". Les élèves s'attendaient à ce que la toxicité de la souche killer soit beaucoup plus forte que celle observée, peut-être même à une action de type binaire (tout meurt ou rien ne meurt).*

– *Le problème est donc posé parce qu'il en faut un, mais l'activité expérimentale n'est pas en rapport direct avec le problème posé.*

l'échec
comme refuge

• La stratégie défaitiste

Cette stratégie consiste à définir un problème puis à réaliser les manipulations sans soin, comme s'il était impossible d'obtenir un résultat. Dans ces conditions, l'échec est considéré comme inévitable, souvent attribué au matériel utilisé. Une seule élève, qui avait décidé de quitter son groupe d'origine, s'est comportée ainsi ; elle considérait qu'elle ne pouvait pas matériellement obtenir la réponse attendue et s'est contentée de s'initier aux techniques proposées.

Audrey

– Elle réalise des manipulations en suivant les protocoles du professeur, sans réfléchir et sans rigueur. Il en résulte de nombreuses erreurs de manipulation.

– Elle accorde peu d'importance aux résultats et n'essaie ni de les interpréter, ni de les critiquer. Elle considère qu'ils ne sont pas fiables, que le matériel disponible est inadapté, et qu'elle a échoué.

– Au lieu de constater l'évidence (il n'y a pas de différence entre les fermentations en milieu oxygéné ou non), elle met en doute les résultats et ne tire aucune conclusion.

3. ATTITUDE FACE À LA TÂCHE D'INVESTIGATION

À partir de la comparaison des groupes observés, nous avons essayé de caractériser les démarches des élèves dans le but d'expliquer les choix qu'ils font au cours de leur recherche.

3.1. Les cadres d'investigation

Nous avons tout d'abord analysé comment les élèves comprennent le but de l'investigation entreprise, en nous inspirant des travaux de Robin Millar (1996). Celui-ci propose un modèle utilisé dans le cadre d'une recherche, le projet PACKS (5), visant à explorer les différences dans les performances des enfants de neuf à quatorze ans, quand ils mènent des investigations scientifiques. Ce modèle nous a paru convenir, dans ses grandes lignes, au type de situation que nous avons mis en place dans les classes observées ; par ailleurs, nous disposions des éléments nécessaires pour utiliser ce modèle dans la mesure où nous avions travaillé (sans le savoir) dans des conditions similaires pour recueillir nos données.

un modèle
inspiré
des travaux
de R. Millar

(5) Procedural And Conceptual Knowledge in Science : Connaissances conceptuelles et procédurales en sciences

Millar définit quatre cadres d'investigation correspondant chacun à *"la compréhension, par les élèves, du but de la tâche d'investigation qu'ils sont en train de réaliser"* :

- cadre d'engagement
- cadre de modélisation
- cadre d'ingénierie
- cadre scientifique.

Nous avons remanié le modèle PACKS, en proposant une autre typologie pour les cadres d'investigation (voir document 2), ceci afin d'adapter les différentes catégories aux activités réalisées et aux élèves observés (âgés de 16 à 17 ans).

Les résultats de nos observations ont permis de faire apparaître des tendances avec des différences selon les enseignants. En effet, on peut constater (document 1) une plus grande diversité, du point de vue des cadres d'investigation choisis, dans la classe B (19 élèves répartis en 8 groupes) que dans la classe A (15 élèves répartis en 5 groupes).

Les cinq groupes de la classe A ont choisi un cadre expérimental contre trois seulement dans la classe B. Un tel décalage peut être attribué au mode d'intervention de l'enseignant ou à la perception qu'ont les élèves de ses attentes. Cependant, les enseignants n'ont pas cherché à privilégier tel ou tel cadre d'investigation, dont ils n'avaient d'ailleurs pas connaissance, puisqu'ils n'avaient pas encore consulté les travaux de R. Millar. Tout au plus ont-ils pu orienter les travaux des élèves par souci de respecter un contrat, plus ou moins implicite, qui consistait à permettre aux élèves d'obtenir des résultats interprétables dans des conditions définies par les contraintes institutionnelles. Il est bien évident que la fréquence obtenue pour chaque cadre d'investigation n'a qu'une valeur d'indicateur ; le contexte pédagogique a certainement influencé les élèves dans le choix de leurs orientations.

un contrat
didactique
plus ou moins
implicite

3.2. Types de problèmes formulés par les élèves et cadres d'investigation

Dans la pratique, les stratégies de formulation de problème et les cadres d'investigation sont étroitement intriqués en cours de travail pour un même groupe d'élèves (sans compter que les élèves d'un même groupe peuvent diverger à certains moments). Ces derniers n'ont évidemment pas conscience de se trouver dans telle ou telle stratégie ou situation, à tel ou tel moment de leur démarche. Cela n'a d'ailleurs aucune importance pour eux. Cependant, on constate que le cadre d'investigation choisi dépend de la nature du problème posé. Nous avons donc essayé de caractériser les relations entre la nature du problème que pose un élève et le cadre d'investigation dans lequel il se place.

Document 2. Cadres d'investigation

	Objectif de l'élève	Activités de l'élève	Situation de fin de tâche
Cadre d'engagement formel	L'élève se situe uniquement par rapport aux attentes supposées, et non intégrées, du professeur.	<ul style="list-style-type: none"> – Utilise le matériel et/ou les documents disponibles par tâtonnement, mimétisme ou simple exécution de consignes (comme un jeu). – Pas de plan ou de but apparent. – Absence de projection à long terme dans la tâche. 	– Pas de résultat attendu par l'élève donc pas d'échec possible tant que les attentes supposées du professeur sont considérées comme comblées (l'élève demande souvent au professeur si ce qu'il fait est correct).
Cadre analogique	Reproduire un aspect, un effet ou un phénomène.	<ul style="list-style-type: none"> – Rassemble des objets connus et les agence en les détournant souvent de leur utilisation initiale. 	<ul style="list-style-type: none"> – Le modèle obtenu "marche*" = réussite. – Le modèle obtenu ne "marche pas*" = échec. <p>* selon les critères de l'élève.</p>
Cadre d'optimisation	Évaluer la valeur optimale d'un ou plusieurs facteurs, avec ou non l'idée d'agir ensuite sur le phénomène étudié.	<ul style="list-style-type: none"> – Isole des variables indépendantes. – Imagine et réalise un protocole de mesure. 	– Soit l'investigation est réalisée "pour voir", pas de résultat attendu par l'élève, donc pas d'échec possible tant qu'une solution plus ou moins convaincante peut être proposée.
Cadre empirique	Rechercher une explication en mettant des données en relation.	<ul style="list-style-type: none"> – Imagine et réalise un protocole de recherche. – Établit une comparaison, une tendance, une dépendance ou une relation fonctionnelle entre deux données ou plus (documentaires, d'observation ou de mesure). 	– Soit l'investigation est réalisée alors qu'un résultat est attendu, mais pas toujours annoncé. Il y a alors sentiment de réussite si ce résultat est trouvé ou d'échec dans le cas contraire.
Cadre argumentatif	Rechercher une explication en argumentant à propos d'une hypothèse. L'expérimentation est réputée impossible ou son besoin n'est pas ressenti.	<ul style="list-style-type: none"> – Isole des variables indépendantes. – Formule une hypothèse. – Recherche et rassemble des données (documentaires, d'observation ou de mesure) en faveur ou en défaveur de l'hypothèse. 	<ul style="list-style-type: none"> – L'hypothèse est corroborée ou réfutée. – L'élève cherche toujours à vérifier une (des) prédiction(s) mais ne fonctionne pas en termes de réussite ou d'échec, sauf situation de controverse qui implique un parti pris.
Cadre expérimental	Rechercher une explication en éprouvant la validité d'une hypothèse. L'expérimentation est envisagée.	<ul style="list-style-type: none"> – Isole des variables indépendantes. – Formule une hypothèse. – Déduit une ou plusieurs conséquences vérifiables de cette hypothèse (= prédictions). – Établit un protocole permettant de tester chaque prédiction. 	

**• Pas de problème identifié :
le cadre d'engagement formel**

Dans ce cas, face à un fait nouveau, l'élève n'identifie pas de problème particulier, soit par manque de motivation, soit par manque d'imagination, soit par manque d'entraînement, soit enfin parce que ses connaissances antérieures ne le lui permettent pas. Dans cette situation l'élève se situe uniquement par rapport aux attentes supposées du professeur.

exécution
de consignes
données par
le professeur

Le cadre d'engagement formel ne concerne qu'un seul des groupes observés, et pour une partie de son travail seulement. Ce groupe n'a formulé le problème qu'après avoir réalisé la manipulation (comptage de levures) correspondante. Les élèves de ce groupe ont simplement suivi une indication générale du professeur (*"il faut compter les levures"*) sans chercher à savoir si cela s'appliquait à leur projet.

Il existe cependant des dérives vers ce cadre d'investigation chez certains groupes. Ceux-ci s'écartent alors de leur cadre d'investigation principal, celui qui paraît dominer, et se placent momentanément dans un cadre d'engagement formel. C'est le cas lorsqu'ils réalisent des mesures sans chercher à comprendre le principe sous-jacent (par exemple, la mesure de la densité du moût pour évaluer la concentration en sucre, alors qu'ils ne maîtrisent pas la notion de densité). Il est à remarquer que cette attitude peut représenter un obstacle lorsque les valeurs obtenues semblent aberrantes (augmentation de la concentration du moût au cours de la fermentation constatée par un des groupes). En effet, pour déceler l'origine des erreurs, il faut comprendre la méthode de mesure utilisée au lieu de l'appliquer sans discernement.

**• Problème par simple manque de données :
les cadres analogique et d'optimisation**

description d'un
phénomène

Dans ce cas, l'élève éprouve le besoin de reproduire un phénomène (cadre analogique) ou de le préciser en mesurant la valeur optimale d'un ou plusieurs des facteurs qui le régissent (cadre d'optimisation). Quoi qu'il en soit, l'élève demeure descriptif et ne cherche pas, ou pas encore, une explication.

Le cadre analogique n'est adopté par aucun des groupes observés. Il est vrai que les élèves disposaient déjà d'un dispositif permettant de reproduire la fermentation du moût (micro-vinification en magnum). Est-ce la seule explication ? Il faudrait pouvoir disposer de davantage de données pour en juger.

Par contre le manque de données quantitatives concernant divers aspects de la vinification (durée, quantité de levures, température, concentration en sucre) a induit deux problèmes conduisant à des cadres d'optimisation (voir document 1).

recherche
d'une
explication
nouvelle

• Problème par manque de représentation mentale : les cadres empirique, argumentatif et expérimental

Lorsque l'élève a conscience que ses connaissances ne permettent pas d'expliquer le fait nouveau, il peut alors rechercher une nouvelle explication soit en mettant en relation des données (cadre empirique), soit en argumentant à propos d'une hypothèse (cadre argumentatif), soit enfin en éprouvant la validité d'une hypothèse (cadre expérimental).

Les groupes qui se sont placés dans un cadre empirique cherchent simplement, du moins au départ, à "faire des expériences" ; quelquefois, les élèves formulent rapidement un problème en s'inspirant fortement d'un travail précédent (*influence de la quantité d'hormones sur la croissance des végétaux*). Dans ce cas, le choix du problème est guidé par la connaissance de moyens à mettre en œuvre pour le traiter. L'idée générale est alors de faire varier des paramètres et de constater des différences (*au niveau de la vitesse de fermentation par exemple*).

Aucun groupe ne s'est engagé dans un cadre argumentatif. On peut expliquer cela par le fait que l'attitude des professeurs pouvait suggérer de ne pas se placer dans ce cadre d'investigation. Pour le sujet proposé, si une hypothèse était envisagée, soit l'expérimentation paraissait évidente aux élèves, soit ils portaient du principe que le professeur attendait obligatoirement une expérience (cadre expérimental). La mise en relation de données mesurées (cadre empirique) a induit cinq problèmes (voir document 1).

Cependant, que le cadre d'investigation soit empirique ou expérimental, tous les groupes observés ont limité leurs travaux au constat d'un événement ou de la mesure de l'évolution d'un ou plusieurs paramètres. On a vu précédemment qu'ils ne se sont jamais engagés dans la recherche d'un mécanisme.

4. CONDUITE DE LA TÂCHE D'INVESTIGATION

Après avoir vu comment les élèves posent un problème et précisé leur attitude face à la tâche d'investigation, voyons maintenant quelques aspects de la manière dont elle a été conduite.

4.1. Le statut de l'hypothèse

Huit investigations sur seize comportent une hypothèse clairement formulée dès le début du travail d'investigation (voir document 1). Pour quatre investigations, l'hypothèse est soit absente, soit formelle en ce sens qu'elle est posée, mais ne fait l'objet ni de conséquences vérifiables ni de conclusion dans le compte rendu final. Pour quatre autres investiga-

tions, l'hypothèse est implicite et, au mieux, elle n'est formulée que dans le compte rendu final.

une tendance
à négliger
l'hypothèse

Cette tendance à négliger l'importance de l'hypothèse avait déjà été constatée lors d'une étude préliminaire réalisée par notre équipe en 1995-96. De plus, lors de leur exposé oral, les élèves utilisent un transparent (pour rétroprojecteur) sur lequel ils ont reporté un écrit préparé à l'avance. Majoritairement, on trouve dans cet écrit les éléments suivants : le problème étudié, la démarche suivie ou le principe expérimental, les résultats, les analyses et les travaux à envisager. Aucun groupe ne fait référence à ses hypothèses sur le transparent.

Les trois quarts des problèmes posés ont cependant conduit à une hypothèse implicite ou explicite et qui, d'une manière ou d'une autre, a été testée. Cela allait dans le sens de ce qui était demandé par les professeurs. On peut s'étonner qu'un quart des problèmes n'aient pas conduit à une hypothèse testée, même quand l'investigation a été menée avec soin et esprit critique. Sans doute les élèves ont-ils alors jugé qu'une hypothèse n'était pas systématiquement nécessaire dans une démarche d'investigation, mais ils en ont quand même posé une, de manière formelle et sans la tester, dans le compte rendu final.

4.2. Les fonctions de l'écrit

L'analyse des écrits produits par les élèves nous a permis de repérer des différences et de dégager des tendances dans les pratiques d'écriture des élèves.

• *Le compte rendu de la visite du chai*

Lors de la sortie qui s'est déroulée en septembre, pendant les vendanges, le professeur a précisé qu'il attendait un compte rendu de la visite. Afin de pouvoir le réaliser, les élèves ont pris des notes lors de la visite. La gestion des notes s'est faite de manière chronologique sans aucune organisation particulière. Lors de la rédaction du compte rendu, les élèves ont utilisé les notes de manière systématique (par exemple en soulignant ce qu'ils ont déjà repris) pour en constituer une restitution organisée. Spontanément, ils ont complété leurs notes par une recherche personnelle. Sur l'ensemble des informations présentes dans les comptes rendus, la moitié seulement provenait effectivement de la visite elle-même. Le reste a été apporté par les élèves pour compléter le compte rendu par des copies d'extraits d'ouvrages. Ils espéraient sans doute combler ainsi les attentes supposées de l'enseignant qui n'étaient pas toujours bien comprises.

reprise des
notes et apports
documentaires

• *Le cahier de laboratoire*

Avant que ne débute le travail, les enseignants des classes observées ont demandé aux élèves d'utiliser un cahier de

un outil...

laboratoire relié pour y consigner les notes prises au cours des différentes séances consacrées à l'option "sciences expérimentales". Volontairement, aucune consigne précise n'était donnée pour la tenue de ce cahier ; chaque groupe a géré comme il l'entendait l'utilisation de ce support. L'analyse des cahiers de laboratoire permet de distinguer trois grandes tendances.

– **Factice** : le groupe répond à la demande de l'enseignant mais n'y adhère pas ou ne la comprend pas. On trouve dans cet écrit seulement quelques dates matérialisant la visite du laboratoire, le début du travail et le jour de l'exposé sans autre élément ou presque. Les élèves n'ont visiblement pas pressenti l'intérêt de ce travail.

– **Chronologique** : le groupe retranscrit pas à pas ce qu'il fait c'est-à-dire le problème qu'il traite, les montages et les mesures réalisées, les résultats obtenus.

– **Analytique** : en plus des informations concernant le problème traité, les montages et les mesures réalisés ainsi que les résultats obtenus, le groupe fait une analyse des résultats et note ses commentaires ; parfois, un plan voire un brouillon du compte rendu y est également consigné.

Un sondage réalisé auprès des élèves du professeur B a montré que, pour une majorité d'élèves, le cahier de laboratoire est censé faciliter le suivi de leur expérimentation et la réalisation de leur compte rendu final. Il matérialise également l'avancement de leur recherche et leur sert de repère temporel dans la mesure où leur pratique s'étale dans le temps. Cependant, pour la plupart d'entre eux, le cahier reste une sorte de trace écrite soumise à évaluation implicite permanente par le professeur (ce qui n'était pas le cas).

• **Le compte rendu final**

Les conditions pédagogiques de réalisation du compte rendu final sont les mêmes que pour le compte rendu de la visite du chai, à savoir que c'est une requête de l'enseignant.

Pour construire leur compte rendu, les élèves consultent spontanément plusieurs documents :

- le compte rendu de la visite du chai, à propos duquel ils font des commentaires (sur la présentation, en particulier) ;
- la fiche d'auto-évaluation du compte rendu, fournie par le professeur ;
- les cahiers de laboratoire ;
- les fiches techniques utilisées ;
- le compte rendu final du travail précédent sur "Germination et croissance végétales" ;
- les dictionnaires et ouvrages à leur disposition.

L'aide de l'enseignant reste, en outre, un apport non négligeable pour l'élève.

La rédaction du compte rendu, en particulier la conception du plan, est une des principales difficultés rencontrées par

... diversement approprié...

... auquel les élèves attribuent des fonctions multiples

la conception
du plan oblige
à revenir
sur le travail
effectué

les élèves. Les observations accompagnées d'enregistrements des différents groupes permettent parfois de s'en rendre compte. Les élèves hésitent beaucoup pour établir un plan et se posent de nombreuses questions quant aux attentes de l'enseignant. Ne sachant ce qu'il faut mettre dans un compte rendu, les élèves sont indécis et font des confusions notamment entre conséquence vérifiable et paramètre ou entre problème et hypothèse. Certains groupes découvrent, au moment de l'élaboration du compte rendu, le statut de certains éléments de la démarche présentée par l'enseignant en début d'année scolaire. Ainsi, certains élèves se sont rendu compte qu'ils n'avaient pas formulé d'hypothèse.

• *Le statut de l'écrit*

vers la constitu-
tion d'une petite
communauté
scientifique

Des différences notables existent selon les élèves mais le rôle de l'écrit reste, pour la plupart des groupes, relativement formel puisqu'il répond à une commande institutionnelle ; la forme d'écrit initiée spontanément par l'élève n'est pas prépondérante, même si dans certains cas (relevé des mesures effectuées) il constitue une nécessité. La coutume scolaire qui associe tout écrit à une éventuelle évaluation par le professeur, caractéristique de notre enseignement, détourne les productions des élèves de leur fonction d'outil de pensée. Cependant, la réalisation de comptes rendus, communiqués au reste de la classe va contribuer à forger dans l'esprit des élèves l'idée de communauté scientifique : ils pourront ainsi construire une conception différente du travail des scientifiques. En effet, en associant travail de groupe et communication de leurs travaux, l'option les rapproche des conditions dans lesquelles s'effectuent la plupart des recherches scientifiques. Il s'agit, pour les élèves, d'un changement important par rapport au contexte pédagogique dominant, qui privilégie au contraire le travail individuel.

5. LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES ÉLÈVES

Nous avons classé les difficultés des élèves en trois domaines : les connaissances, les techniques et les méthodes. Notons dès à présent que ces difficultés, si elles sont bien réelles, n'ont pas empêché l'ensemble des élèves de conduire, de manière malgré tout satisfaisante, leur travail d'investigation.

un handicap
pour
l'élaboration
des protocoles :

5.1. Domaine des connaissances

Les élèves ont été placés dans une situation où ils devaient expliquer un phénomène en utilisant, d'une part, leurs

représentations sur la fermentation et, d'autre part, des acquis cognitifs et méthodologiques relevant de différentes disciplines (biologie, physique, chimie et mathématiques). Une des principales sources d'erreurs, ou tout du moins un des éléments perturbateurs lors de la mise en place des protocoles, réside dans la maîtrise insuffisante d'un ensemble de savoirs scientifiques.

• Maîtrise insuffisante des concepts fondamentaux de la biologie

Nous avons pu relever des erreurs ou des difficultés qui paraissent fréquentes.

– Confusion entre certaines notions

De nombreux élèves ne font pas la différence entre la multiplication et le développement des levures. Le terme de croissance est alors utilisé indifféremment pour une cellule ou une population sans que les élèves en prennent conscience.

– Nature précise des supports biologiques mal perçue

Certains élèves ne font pas la distinction entre une substance et les levures, êtres vivants unicellulaires. D'une manière générale, ils ont une mauvaise connaissance des organismes unicellulaires et font la confusion entre levure et bactérie (mais cela ne leur avait pas été enseigné auparavant).

– Concept de vivant mal appréhendé

Certains élèves recherchent "*Quelle est la partie vivante de la levure ?*". Dans ce cas, le vivant est assimilé à une partie de la levure c'est-à-dire à une structure, ou à un attribut que possède ou non une population de levures. D'autres élèves attribuent des caractères propres au monde vivant à certaines molécules (les protéines par exemple).

Cette mauvaise connaissance des concepts de biologie va handicaper les élèves dans l'élaboration des protocoles. En effet, ces difficultés apparaissent au moment du choix des paramètres et des techniques à employer.

• Connaissance imparfaite des notions d'œnologie

Les processus élémentaires de la fermentation sont mal connus des élèves, ce qui peut *a priori* paraître surprenant dans une région viticole. Certains élèves confondent la température du chai et celle de la cuve qui est régulée par un appareillage qui a été vu pendant la visite. De plus, ils ne font pas la différence entre température optimale de fermentation et température optimale de vinification. Tous ne connaissent pas non plus les relations entre sucres, dioxyde de carbone et éthanol au cours de la fermentation alcoolique (cela venait pourtant d'être étudié en cours). On peut s'étonner que les élèves aient du mal à réinvestir, dans un contexte nouveau, ces connaissances, acquises récemment et encore fraîches dans leur esprit.

méconnaissance
de concepts
fondamentaux
de biologie

des acquis
récents
non utilisés

**• Mauvaise maîtrise de connaissances
relevant d'autres disciplines scientifiques**

lacunes en
physique et
mathématiques

Certaines connaissances élémentaires de physique ou de mathématiques font parfois défaut. Ainsi, certains élèves ne savent pas calculer l'aire d'un disque, valeur utilisée pour estimer la densité des colonies de levures sur une boîte de Pétri. D'une façon générale, la notion de densité n'est pas maîtrisée et ceci a pour conséquence que les élèves réalisent parfois des mesures sans vraiment comprendre ce qu'ils font (utilisation du densimètre, du mustimètre et de l'alcoomètre). Certaines connaissances, qui paraissent élémentaires, comme la composition de l'air par exemple, ne sont pas acquises par une majorité d'élèves. Notons enfin que les élèves d'un des groupes observés semblent également ignorer qu'il existe différents sucres, or cela venait aussi d'être étudié en 1^e S.

5.2. Domaine des techniques

Au cours de leur pratique, notamment lors de la mise en place du protocole et de la réalisation des mesures, les élèves sont confrontés à d'autres difficultés.

• Recherche d'une méthode de mesure

manque
d'information...

Lors d'un choix du paramètre à mesurer, les élèves tiennent largement compte de la facilité éventuelle à effectuer cette mesure. Si le procédé est simple à mettre en œuvre, ils l'adoptent toujours et le rejettent souvent dans le cas contraire. Quelquefois le principe est connu (par exemple la distillation pour mesurer la quantité d'alcool) mais les modalités d'utilisation dans un cadre précis sont ignorées. Généralement, les élèves restent en attente d'une solution car ils ne connaissent pas de moyens pour réaliser la quantification.

... pallié
par la mise
à disposition
de ressources

Ce problème sera résolu avec l'aide de l'enseignant et de l'œnologue. Les élèves vont pouvoir ainsi consulter différentes sources :

- fiches techniques mises à disposition par l'enseignant ;
- procédures possibles présentées par l'œnologue lors de la visite du laboratoire ;
- manuels de sciences physiques ou de SVT dans lesquels il y a des protocoles explicites ;
- méthode mise en place par un autre groupe.

Ils ont pu également interroger directement leur professeur ou l'œnologue, pendant une séance ou entre deux séances.

• Réalisation des situations expérimentales

témoin et
répétition
sont omis

Le plus souvent, les élèves cherchent à concilier leurs idées, le temps dont ils disposent et les contingences matérielles (appareils et verrerie disponibles). Cependant il faut noter que le témoin est souvent omis soit parce que les élèves n'en perçoivent pas la nécessité, soit parce qu'ils ne savent pas comment le réaliser ou que la notion indispensable à sa mise

en place n'est pas maîtrisée. De plus, ils ne prévoient pas de répéter une même mesure.

• **Adéquation de la technique avec le paramètre à mesurer**

La condition pour que cette adéquation soit vérifiée repose sur une bonne prise en charge de la technique par l'élève. Or dans certains groupes l'appropriation n'a pas lieu et la mise en œuvre du procédé repose sur des présupposés. Ainsi, des élèves croient que la fiche ou le matériel mis à disposition sont là pour être obligatoirement utilisés.

• **Utilisation des techniques proposées**

Certains outils ou matériels utilisés dans d'autres contextes (autre discipline ou autre thème de biologie) ou même ceux proposés par l'enseignant se révèlent être mal maîtrisés ou rejetés par les élèves. Nous avons repéré plusieurs types de difficultés.

– **Maladresses de manipulation**

Quand elle existe, les élèves ne suivent pas toujours avec attention la fiche technique préparée par l'enseignant, ou ne prévoient pas les conséquences de leur action. Les élèves ne savent pas tous utiliser certains instruments de base comme une pipette ou un compte-gouttes. Comme dans le cas des connaissances, les élèves ont des difficultés à réinvestir des techniques déjà vues en classe ; c'est le cas notamment du travail en milieu stérile.

– **Méconnaissance des techniques de dénombrement**

Le dénombrement statistique des levures dans un mélange apparaît fastidieux et semble mal compris. Pour dénombrer des cellules (levures), les élèves ne pensent pas à réaliser des gammes de dilution ou alors elles ne sont pas appropriées : trop diluées pour un comptage significatif ou trop concentrées pour que les cellules soient discernables.

– **Approximation de la mesure**

La lecture des appareils ou des repères sur la verrerie reste imprécise ; cela tient à la précipitation et parfois à une incompréhension du principe de la mesure. La résolution de l'instrument elle-même n'est pas toujours prise en compte (exemple : utiliser un microscope optique pour voir les molécules). Dans les cas observés, un seul dispositif de mesure par situation est prévu. Même lorsque c'est matériellement réalisable, les mesures ne sont que rarement refaites plusieurs fois.

5.3. Domaine des méthodes

Nous distinguerons, d'une part, les difficultés liées aux différentes contraintes avec lesquelles les élèves devront composer et, d'autre part, les difficultés liées à la mise en place d'une démarche scientifique.

des techniques
mal maîtrisées

• **Gestion des contraintes environnementales**

La plupart des manipulations et expériences que les élèves réalisent s'inscrivent dans un environnement particulier : celui d'une classe de lycée qui n'est pas aseptisée et qui dispose d'un matériel limité (en quantité et en qualité).

- **La contrainte biologique**

manque de
précautions

Les bactéries environnantes peuvent venir coloniser les boîtes et les tubes utilisés pour les cultures des levures. Les élèves doivent donc travailler en condition stérile mais ils n'ont pas conscience de cette nécessité et ne prennent pas suffisamment de précautions. En conséquence, les comptages ont été rendus difficiles voire impossibles dans certains groupes, à cause de la prolifération de bactéries ou de champignons sur les boîtes de Pétriensemencées. Cette négligence les a obligés dans certains cas à refaire leurs cultures.

- **La contrainte temporelle**

les contraintes
biologiques
obligent
à planifier
son travail

Sans doute à cause de leur inexpérience, les élèves n'ont pas vraiment conscience du temps nécessaire pour réaliser les montages et effectuer les mesures. L'enseignant est intervenu souvent pour les aider à mieux gérer cette contrainte. Cependant, de nombreux élèves ont exprimé le sentiment de manquer de temps. Par ailleurs, les élèves ne semblent pas comprendre que les processus biologiques amorcés se déroulent sans arrêt (sauf si on provoque une congélation). Ceci conduit à des erreurs dans l'interprétation des résultats. Ainsi, un des groupes n'a pas prévu, dans un premier temps, de suivre l'évolution de la fermentation ; ces élèves envisagent de faire seulement un bilan avant/après. Par conséquent, la plupart des élèves ne pensent pas, d'emblée, à prendre en compte l'aspect dynamique des phénomènes étudiés, ce qui représente en soi une autre contrainte biologique.

- **La contrainte matérielle**

Les élèves semblent croire qu'ils peuvent disposer d'un équipement important tout le temps de leur travail et uniquement pour eux ; cela se traduit par des demandes inconsiderées. De surcroît, le matériel demandé (verrerie...) ne correspond pas toujours au nombre d'expériences retenues ou au volume total de moût à utiliser. Le professeur et la technicienne de laboratoire du lycée ont alors aidé les élèves à résoudre certains problèmes : choix du matériel adapté, intérêt de certains instruments (compte-gouttes, par exemple). En définitive, les aspects techniques mobilisent parfois l'attention des élèves, au détriment du suivi de leur démarche.

• **Mise en place d'une démarche scientifique**

La réalisation du protocole entraîne un certain nombre de difficultés. Il est difficile pour les élèves d'appréhender l'objet à étudier dans sa globalité et dans le détail de son fonction-

nement. Face à un moût en fermentation, ils doivent déterminer quels sont les éléments physico-chimiques et les réactions caractérisant le milieu (volume, température, pH, processus métaboliques, etc.) avant de repérer les paramètres qu'ils pourront faire varier. Or, le plus souvent, ils ne savent pas exactement ce qu'il y a dans un moût et ce qui s'y passe.

difficulté à
appréhender
la recherche
dans son
ensemble

Les élèves ont également des difficultés à appréhender leur recherche dans son ensemble. Lorsqu'ils réalisent les mesures par exemple, certains groupes perdent de vue le problème qu'ils ont choisi de traiter et ne cherchent pas à interpréter les résultats avant d'établir le compte rendu. D'une manière générale, les élèves n'ont pas pensé à refaire des mesures si nécessaire et encore moins à revoir leur protocole. Ils sont toutefois assez peu confiants vis-à-vis des résultats qu'ils ont obtenus et sont prêts à les remettre en cause en invoquant une mauvaise manipulation pour les uns, un matériel défaillant pour les autres.

Pour la plupart des élèves, des résultats en accord avec leur attente les rassurent et restent le gage d'une expérimentation réussie. Lorsque au contraire, il y a conflit entre les prévisions et les résultats effectivement obtenus, cela semble les perturber. En cela, ils semblent influencés par un contexte scolaire qui privilégie l'expérience qui "marche". Tous ces élèves ne pensent pas à revenir sur leur expérimentation pour la modifier (en fonction de l'échec apparent) et faire évoluer le problème.

5.4. Incidence de ces difficultés

En proposant aux élèves des situations dans lesquelles ils doivent eux-mêmes résoudre un vrai problème, pour lequel ils n'ont pas de solution toute faite, on les place face à de multiples difficultés. Ces dernières sont de nature différente et ne sont pas seulement dues à des lacunes dans les connaissances des élèves. Nous avons essayé, dans cette analyse réalisée *a posteriori*, d'en faire un inventaire dans le but de mieux comprendre ce que les élèves doivent maîtriser lorsqu'ils conduisent un projet de recherche.

plusieurs
difficultés se
combinent

Nous avons pu mettre en évidence que différents éléments interfèrent dans la pratique de l'élève : à la mauvaise maîtrise des concepts et aux difficultés techniques rencontrées, il faut ajouter une démarche, des raisonnements et des attitudes parfois peu adaptés à une situation de résolution de problème. En conséquence, l'incidence sur le travail des élèves a lieu à plusieurs niveaux : lors de la formulation du problème, lors de l'élaboration du protocole, lors de sa mise en œuvre.

Il faut néanmoins remarquer que ces difficultés n'ont tout de même pas empêché la quasi-totalité des groupes d'aboutir (pas toujours au résultat attendu) et de réaliser,

malgré tout, une recherche intéressante. Pour comprendre ce paradoxe apparent, il ne faut pas oublier le rôle capital de l'enseignant lors de ces séances au cours desquelles tous les groupes ont été respectivement confrontés à des difficultés différentes. Pour le professeur il s'agit alors d'identifier rapidement la nature de ces difficultés, de manière à fournir une aide immédiate (scientifique ou technique). Cela suppose qu'il dispose des informations nécessaires pour comprendre comment les élèves se situent par rapport à la tâche qui leur est proposée. Notre recherche avait pour but de construire des outils permettant de connaître les stratégies mises en œuvre par les élèves au cours de leur investigation. Cette étude devrait aider les enseignants à organiser un enseignement basé sur des activités proches des pratiques des scientifiques.

CONCLUSION

Les démarches mises en œuvre par les élèves de ces deux classes au cours de leur recherche ont été analysées à partir des éléments relevés par les observateurs. Les enseignants ont organisé les séances sans connaître ces résultats ; ils sont donc intervenus selon leur mode de conduite habituel dans ce type d'enseignement.

Une meilleure connaissance, par l'enseignant, des stratégies privilégiées par les élèves pourrait sans doute l'aider à mieux cerner leurs difficultés et à fournir une aide plus adaptée, en fonction des objectifs visés. En effet, dans ce type de situation, l'enseignant est souvent conduit à prendre des décisions pour guider les élèves : il doit répondre aux demandes de certains ou éviter que d'autres ne s'engagent dans une impasse (expérimentation irréalisable techniquement, par exemple). Il peut s'interdire de donner une réponse trop précise, considérant que les élèves doivent chercher par eux-mêmes ou, au contraire, les assister en faisant en sorte qu'ils travaillent avec toutes les précautions nécessaires. Il n'est pas toujours facile de choisir quelle attitude adopter sans savoir à quel stade de réflexion en sont les élèves ; les décisions sont d'autant plus délicates que l'enseignant doit suivre plusieurs groupes en même temps. Dans ces conditions, l'enseignant doit apprécier, dans l'immédiat, le travail des élèves en se basant sur une observation qui ne peut être que partielle.

Les outils que nous avons construits au cours de cette recherche peuvent constituer des grilles de lecture des démarches des élèves. En disposant de ces repères, l'enseignant pourrait plus facilement comprendre les choix que font les élèves à chaque étape de leur travail ; il serait alors en mesure de prévoir les interventions les mieux adaptées à chaque groupe. Une telle procédure permettrait à l'ensei-

connaître
les démarches
spontanées
des élèves

des aides
à la prise
de décision

gnant d'accepter de prendre des risques en laissant les élèves se confronter à des problèmes complexes, au lieu de leur proposer des situations épurées, plus simples mais différentes du réel. Des études comme celle que nous avons conduite peuvent donc déboucher sur une aide à la prise de décision.

S'il s'est donné les moyens de mieux appréhender les démarches spontanées des élèves, l'enseignant peut plus facilement les aider à analyser et à comparer leurs travaux. Les exposés oraux ont permis d'amorcer ce travail ; il serait intéressant de le poursuivre afin que les élèves prennent conscience de leur propre démarche dans sa globalité. Ce retour en arrière sur une recherche qui a duré plusieurs semaines en partant d'un problème qui a évolué au cours de cette période serait un moyen supplémentaire pour comprendre ce qui caractérise une démarche scientifique.

Patricia SCHNEEBERGER,
IUFM d'Aquitaine, Bordeaux
LADIST, Université Bordeaux I

Raymond RODRIGUEZ,
Lycée Jaufré Rudel, Blaye

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI, J.-P., GIORDAN, A. et RUMELHARD, G. (1973). Pourquoi l'autonomie des élèves en Biologie ? *Biologie-Géologie*, 4 (revue de l'APBG), 533-537.

ASTOLFI, J.-P., CAUZINILLE, É., GIORDAN, A., HENRIQUES, A., MATHIEU, J., WEIL-BARAIS, A. (1984). *Expérimenter. Sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.

COLLIN, F., CHARTIER, B. (1997). Fermentation et distillation. *Biologie-Géologie*, 1 (revue de l'APBG), 83-90.

DEMOUNEM, R. et ASTOLFI, J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. Paris : Nathan.

DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.

DUGGAN, S., GOTT, R. (1995). The place of investigation in practical work in the National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17, 2, 137-147.

DUMAS-CARRÉ, A. et GOFFARD, M. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, 53-75.

- FABRE, M., ORANGE, C. (1997). Construction de problème et franchissement d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- GIL-PEREZ, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche scientifique. *Aster*, 7, 41-64.
- GIL-PEREZ, D. et VALDES CASTRO, P. (1996). La orientacion de las practicas de laboratorio como investigacion : un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 155-163.
- GOHAU, G. (1992). Esprit déductif versus esprit inductif. *Aster*, 14, 9-19.
- MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance (traduit par M. Méheut, A. Tiberghien et L. Viennot). *Didaskalia*, 9.
- RUMELHARD, G. (1997). Problématiser le vivant. In *La problématique d'une discipline à l'autre* (pp. 157-177). Paris : Adapt.
- SAUVAGEOT-SKIBINE, M. (1995). Une situation-problème en géologie : un détour de l'anecdotique au scientifique. *Aster*, 21, 137-160.
- SCHNEEBERGER, P., COTTEN, A., MASSON, S. et RODRIGUEZ, R. (1998). *Rapport de recherche associative INRP-IUFM d'Aquitaine "La pratique expérimentale dans la classe"*. Document interne.
- THOM, R. (1986). La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues (et des savants ?). In J., Hamburger (Éd.). *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Paris : Gauthier-Villars.
- Ministère de l'Éducation Nationale. *B.O.E.N. Hors série du 24 septembre 1992* (p. 89) et *B.O.E.N. n° 22, 24 juin 1993* (p. 1912).