



HAL
open science

Contrôle de l'activité en chimie

Zeki Bayram

► **To cite this version:**

Zeki Bayram. Contrôle de l'activité en chimie. Education. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2005. Français. NNT: . tel-00131864

HAL Id: tel-00131864

<https://theses.hal.science/tel-00131864>

Submitted on 19 Feb 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**THESE DE DOCTORAT
DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN**

Présentée par

Monsieur Zeki BAYRAM

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN

**Domaine :
SCIENCES DE L'EDUCATION**

Sujet de la thèse :

« CONTRÔLE DE L'ACTIVITE EN CHIMIE »

Thèse présentée et soutenue à Cachan le 16 Septembre 2005 devant le jury composé de :

M Alain DUMON

M Ludovic JULLIEN

M Mehmet A. OTURAN

Mme Claudine LARCHER

Professeur des Universités

Professeur des Universités

Professeur des Universités

Professeur des Universités

Rapporteur

Rapporteur

Membre du jury

Directrice de thèse

**Unité Mixte de Recherche Science Technologie Éducation Formation
ENS CACHAN/ INRP
61, avenue du Président Wilson, 94235 CACHAN CEDEX, FRANCE**

REMERCIEMENTS

Je remercie ;

Claudine LARCHER

pour avoir accepté d'être mon directeur de thèse, pour son accompagnement intellectuel et amical et également pour son soutien qui m'a permis de rédiger une thèse linguistiquement correcte, sans que ce travail n'aurait pas été possible,

*Alain DUMON, Ludovic JULLIEN, Mehmet A. OTURAN
qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail,*

*Ministère de l'Éducation Nationale de Turquie
pour le financement de ce travail,*

Monique GOFFARD

pour son aide inestimable pour les analyses des corpus scolaires,

Marie-Claude FEORE

pour m'avoir accueilli dans ses classe au laboratoire de chimie,

les experts

qui m'ont accordé un peu de leur temps pour répondre à mes questions,

Jean-Louis MARTINAND

pour ses grandes qualités professionnelles et ses critiques constructives,

*François-Marie BLONDEL, Philippe VARRIN, Sylvie ZUCHA, Françoise JUNG
pour leur soutien logistique,*

les membres du laboratoire UMR STEF

et en particulier son directeur Joël LEBEAUME

pour leur accueil et leur interaction au long de ces quatre années,

*Et enfin, je dédie ce travail à mon épouse Aynur ERISTI BAYRAM
pour son encouragement, sa patience et son amour sans faille ...*

<u>INTRODUCTION</u>	4
<u>CHAPITRE 1 : SAVOIR CONTRÔLER SON ACTIVITÉ</u>	7
<u>I- Activité, tâche</u>	7
<u>I-1- Activité, action, opération</u>	7
<u>I-2- Action, déroulement de l'action</u>	8
<u>I-3- Tâche prescrite, tâche effective</u>	9
<u>II- Le contrôle</u>	12
<u>II-1- Contrôle de l'activité</u>	12
<u>II-2- La remise en cause</u>	14
<u>II-3- L'adaptation</u>	14
<u>III- Les compétences et les savoirs</u>	16
<u>III-1- Savoir, savoir-faire</u>	16
<u>III-2- Savoirs énoncés, savoirs détenus</u>	19
<u>IV- intégration et différenciation progressives du contrôle</u>	20
<u>CHAPITRE 2 : LE CONTRÔLE DE L'ACTIVITÉ PAR LES EXPERTS</u>	23
<u>I- Le recueil de données</u>	23
<u>II- Le contrôle de l'activité</u>	26
<u>II-1- Les moments de contrôle</u>	26
➤ <u>Contrôle préventif</u>	26
➤ <u>Contrôles en activité</u>	27
➤ <u>Contrôle a posteriori</u>	27
<u>II-2- Les éléments à contrôler</u>	29
➤ <u>L'identité des substances</u>	29
➤ <u>La stabilité des substances</u>	30
➤ <u>Les quantités ou le mode de préparation</u>	31
➤ <u>La propreté de la verrerie</u>	31
➤ <u>Le contrôle du montage</u>	31
➤ <u>Le contrôle des appareils (instruments) utilisés</u>	32
➤ <u>Le contrôle des conditions d'expérience</u>	32
<u>II-3- La reproductibilité des résultats</u>	33
<u>II-4- L'évaluation du résultat</u>	34
➤ <u>Reproduction, extension, exploration</u>	34
➤ <u>L'identification du produit final</u>	36
<u>II-5- Les ressources pour le contrôle</u>	36
➤ <u>Savoirs théoriques</u>	37
➤ <u>Savoirs pratiques</u>	38
➤ <u>Savoirs d'expérience</u>	39
➤ <u>Pratique technique</u>	40
➤ <u>Savoir technique</u>	41
➤ <u>Pratiques sociales</u>	41
➤ <u>Pratique organisationnelle</u>	42

II-6- L'implication personnelle	42
II-7- Un schéma d'ensemble de la démarche de contrôle	42
III- L'analyse quantitative des discours des experts	44
IV- L'apprentissage du contrôle	47
➤ Des ressources disponibles	48
➤ Des ressources théoriques non disponibles	48
➤ Des ressources théoriques non mobilisées	48
➤ Des ressources pratiques non disponibles	49
➤ Des routines non installées	49
➤ Des savoirs d'expérience pas encore construits	50
➤ Des adaptations pas encore possibles	50
V- Conclusion	50
CHAPITRE 3 : CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES DES ÉLÈVES AU NIVEAU DU BACCALAURÉAT D'ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL DE LA CHIMIE	51
I- Capacités – compétence	51
II- L'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat	53
II-1- La mise en place de l'épreuve	53
II-2- Présentation du matériel d'évaluation des capacités expérimentales	54
III- Quelles sont les « capacités » évaluées ?	55
III-1- Catégorie techniques chimiques	57
III-2- Catégorie Verrerie	60
III-3- Catégorie « appareil et instruments »	63
III-4- Catégorie organisation	65
III-5- Importance relative de ces catégories	66
IV- Quelles sont les actions évaluées ? quelles sont les ressources ?	68
IV- 1 Présentation des protocoles et de la grille d'analyse	68
➤ Les résumés des protocoles	68
➤ La grille d'analyse des protocoles des sujets de Bac	74
IV-2 Les actions évaluées	75
IV-3- Les informations	77
IV-4- Les ressources	79
IV-5- Contrôle d'un résultat, contrôle d'une procédure	80
IV-6- Évaluation de choix	83
IV-7- Évaluation du soin	84
CHAPITRE 4 : LES PROTOCOLES OPÉRATOIRES DANS LES MANUELS DE CHIMIE	86
I- Résumés des protocoles des manuels	86
I-1- NATHAN 2de	87
I-2- NATHAN 1S	92
I-3- NATHAN Terminale S	99
I-4- HACHETTE Terminale S	109

<u>II- Ressources, guidages, repères</u>	116
➤ <u>Ressources</u>	117
➤ <u>Guidages</u>	117
➤ <u>Repères</u>	118
<u>II-1- La progressivité, la cohérence, le consensus</u>	119
➤ <u>Progressivité et cohérence avec l'évaluation</u>	119
➤ <u>Progressivité des actions et des informations fournies</u>	122
➤ <u>Progressivité des guidages</u>	124
➤ <u>Consensus</u>	125
<u>II-2- Le contrôle intégré dans l'activité et l'évaluation du résultat</u>	125
<u>CONCLUSION</u>	129
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	132
<u>SOMMAIRES</u>	137
<u>Sommaire des résumés des protocoles des manuels</u>	137
<u>Sommaire des tableaux</u>	139
<u>Sommaire des figures</u>	139

Introduction

Ce travail est centré sur l'activité de laboratoire en chimie, dans ses aspects manipulateurs et en prenant en compte les ressources cognitives qui permettent de contrôler cette activité.

Il est donc centré sur une pratique, celle des chimistes qui travaillent « à la paillasse », en faisant des « manipulations » et sur un aspect fondamental de toute activité humaine : son auto-contrôle.

Nous nous sommes interrogés sur la place de cette pratique, constitutive de la chimie, dans le curriculum de chimie dans l'enseignement général.

C'est dans le contexte de l'introduction récente (1997) d'une épreuve d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat dans l'enseignement général, que se situe ce travail. Cette épreuve a été mise en place de façon à donner plus d'importance à ces séances de travaux pratiques prévues dans le curriculum. Elles mettent l'accent sur les gestes et les techniques (Tadjeddine et Perrot, 1995) pour lesquels l'apprentissage passe obligatoirement par une pratique. La mise en place de cette épreuve dans le cursus d'enseignement général peut être considéré comme visant à donner une image de la chimie moins théorique.

Le travail comporte trois volets.

Le premier volet est l'analyse de ce qu'est cette pratique de laboratoire des chimistes, et en particulier de ce qui est de l'ordre du contrôle de l'activité. Les chimistes sont considérés comme ayant la responsabilité de leurs actions et les moyens de contrôler leur activité à la fois dans le déroulement des actions et dans la critique des résultats obtenus.

C'est auprès de chimistes « experts » que nous sommes allés chercher des éléments sur cette pratique (JL Martinand, 2002), non pas en allant les observer, mais en allant les faire parler sur leur activité. C'est un discours sur leur activité de contrôle qui a été obtenu, avec une technique d'entretien qui sollicite des exemples et l'évocation de situations de « panne », d'inattendu.

Ils nous ont aussi indiqué ce qu'ils savent (Coquidé, 2003) des pratiques des étudiants qu'ils encadrent soit pour la préparation du CAPES soit en tant que maître de stage.

Le deuxième volet est l'analyse des épreuves de capacités expérimentales de baccalauréat

Ce sont les « sujets » de la session 1999 qui constituent le corpus : textes de protocoles proposés aux élèves et grilles d'observation fournies aux évaluateurs, mais aussi liste de matériel et de produits à prévoir.

Ces épreuves sont censé donner une image de ce qui est attendu en fin de parcours de lycée en termes de savoir pratique gestuel et technique non énonçable mais auto-contrôlé (Malglaiive, 1990), ce qui est énonçable pouvant être inclus dans les épreuves écrites. Cette dichotomie entre la pratique non énonçable d'une part et le reste d'autre part sera à discuter, de même que le passage de « savoir pratique » évalué à « contrôle de l'activité ».

Le troisième volet se situe dans une perspective curriculaire (J.L. Martinand 2000, 2001 ; M. Coquidé, 2003 ; J. Lebeaume, 1999). Nous avons, dans les manuels scolaires de lycée, cherché les traces d'une éventuelle prise en charge d'un apprentissage progressif du contrôle de l'activité manipulative.

Nous restons dans le registre des indices textuels qui permettent d'inférer une activité, comme c'était le cas à partir des discours des experts sur leur activité et sur les épreuves d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat.

Les données et les analyses sont de ce point de vue homogènes.

Les discours des experts portent par contre sur leur activité alors que les protocoles opératoires et les épreuves au baccalauréat définissent des tâches.

Pour articuler ces trois volets nous avons dû interroger ce qui était distingué par différents auteurs en ce qui concerne les mots clés de notre thème et ceux qui sont voisins dans le champ sémantique : activité, action, tâche, contrôle, capacités, compétences, savoirs. C'est l'objet du chapitre 1.

Le chapitre 2 présente les entretiens avec les experts et permet d'identifier ce qu'ils mettent sous le terme contrôle, ce qu'ils contrôlent, comment ils contrôlent, lorsque le questionnaire les incite à parler des pannes ou des inattendus et donc les fait se situer dans le registre que nous souhaitons leur voir aborder.

Il s'agit d'un auto-contrôle intégré dans la pratique et non pas d'une contrôle externe en référence à une norme.

Il fait distinguer différents types de savoirs (Malglaiive, 1990 ; Le Boterf, 1994) dont disposent les experts pour contrôler leur activité de laboratoire. Ce sont ces éléments qui vont servir de trame pour les analyses ultérieures. Layton (1994) s'interrogeait sur les relations

entre les sciences enseignées à l'école et la pratique. Le concept de pratique sociale de référence (JL Martinand, 2001, 2002) pour des activités scolaires sera à interroger sur ce type de pratique.

L'analyse des sujets d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat 1999, fait l'objet du chapitre 3. Il faut ici bien distinguer d'une part ce qui est de l'ordre de l'évaluation, donc du contrôle institutionnel des acquisitions souhaitées, et ce qui se passe ici par du contrôle par l'évaluateur de l'activité effective des élèves -en tant qu'élèves- pendant les épreuves de capacités expérimentales, et d'autre part ce qui est de l'ordre du contrôle de l'activité, auto-contrôle de l'activité d'un acteur impliqué dans son travail. Ce second aspect est au centre de notre problématique dans une perspective curriculaire, le premier n'est qu'un moyen méthodologique. Notre travail ne porte pas sur les pratiques d'évaluation. Le corpus de sujets est utilisé dans ce travail pour évaluer quelle est la maîtrise de l'activité manipulative dont les élèves sont censés disposer en fin de lycée, en considérant que la maîtrise nécessite un auto-contrôle. Pour cela on regarde ce qui est objet de l'évaluation et que l'on peut considérer, en l'argumentant, comme relevant d'un enjeu d'apprentissage du contrôle.

Le chapitre 4 s'intéresse à la façon dont les manuels (quelques manuels ; il ne s'agit pas d'une étude comparative systématique de manuels) prennent en charge, ou ne prennent pas en charge, une acquisition progressive du contrôle comme partie intégrante de l'activité de laboratoire, en ayant conscience que cet apprentissage n'est pas explicitement prescrit et n'est pas formalisé.

Nous nous intéresserons à la progressivité, à la cohérence des manuels, considérés comme relevant du curriculum possible, sur ces aspects.

Notre travail peut contribuer à formaliser des éléments qui pourraient être utilisés pour gérer une maîtrise progressive du contrôle, aspect fondamental de l'activité, avec la spécificité de la discipline chimie (Garratt et al, 2000).

Chapitre 1 : Savoir contrôler son activité

Notre intérêt porte sur la manipulation en chimie, la pratique de laboratoire. De façon plus précise, sur le contrôle de cette activité de chimiste en laboratoire et sur l'apprentissage prévu à ce propos à l'école.

Cette perspective renvoie à une clarification de l'usage du terme « activité » (Barbier, 2003) et des termes voisins dans le champ lexical (action, tâche) ainsi qu'à l'usage du terme « contrôle ». Cette première clarification entraîne vers une précision de l'usage d'autres termes tels que savoirs et compétences (Caillot, 1994 ; Ropé et Tanguy, 1994)

I- Activité, tâche

Les premiers développements des théories de l'activité humaine sont dus à l'école de psychologie soviétique des années vingt. Elles intègrent notamment les variables d'intention, de signification et de motivation de l'action par rapport au contexte, caractéristiques de l'activité humaine. Dans différents champs, tel que en psychologie, en ergonomie ; certains auteurs proposent des modèles de l'activité : en psychologie Vygotski (1935), Galpérine (1966) Leontiev et al (1972, 1975), Savoyant (1996) et en ergonomie Leplat (1997) ont abordé ce sujet.

I-1- Activité, action, opération

Vygotski et Léontiev sont à l'origine du courant de pensée de la psychologie russe.

Leontiev (1972, 1975) fait une distinction entre « activité/action/opération ». Pour lui, l'activité est fondée sur un besoin ou motif qui se concrétise dans un « but » qui apparaît alors comme un moyen de satisfaire ce besoin. Cet objectif sera réalisé au moyen d'actions. Celles-ci prennent un sens par rapport à ce motif et se définissent par leur but, but conscient que l'opérateur peut exprimer lorsqu'on lui demande de décrire son activité. Ces actions sont exécutées sous forme d'opérations. Une action peut se réaliser au moyen d'opérations différentes.

D'après ces auteurs toutes les actions d'un domaine d'activité donné comportent toujours :

- des éléments d'orientation , de définition du but à atteindre, ce qui sous tend l'identification de la situation dans laquelle on se trouve,
- des éléments d'exécution , opérations de transformation effective de la situation en fonction du but visé,
- des éléments de contrôle : vérification de la conformité de l'exécution, tant dans son déroulement que dans son produit final.

I-2- Action, déroulement de l'action

Pour Richard (1995), l'action peut être envisagée sous un double aspect : d'une part l'exécution de l'action, le déroulement (comment l'action s'exécute) et d'autre part le résultat de l'action .

Pour lui, l'action a deux composantes différentes :

- une composante déclarative qui elle exprime un changement de l'état du monde et décrit donc l'état résultant, autrement dit le résultat de l'action.
- une composante procédurale ; elle décrit un procès qui est à la fois un déroulement et un mode de réalisation du résultat. Cela correspond au premier aspect de l'action, autrement dit à l'exécution de l'action.

Il note que certains verbes d'action expriment seulement le résultat de l'action et pas du tout son déroulement.

Pour Richard, une procédure est un ensemble d'actions permettant d'obtenir un même résultat. Il peut exister plusieurs façons d'obtenir un même résultat ; un même résultat peut donc correspondre plusieurs actions : ce sont des procédures alternatives. Mais une même action peut avoir plusieurs résultats. L'exemple que donne Richard est : quand je fais du feu dans la cheminée, cela produit deux résultats : de la chaleur et des cendres. Selon l'objectif que l'on a, l'un des résultat est recherché, l'autre est indésirable (ou indifférent).

Richard définit des pré-requis et des post-requis. Les pré-requis définissent quelles conditions doivent être réalisées pour que l'action puisse être exécutée.

Les post-requis désignent ce qu'il convient de faire pour remettre le système en état de refaire autre chose, une fois le résultat obtenu. Ex. : « relâcher lorsqu'on a appuyé sur une touche est un post-requis. Parce que si on ne relâche pas la touche, on ne peut plus rien dire. L'action de relâcher est implicite » (p.72).

Il hiérarchise l'accès aux informations sur l'action. Pour lui, toutes les informations concernant une action ne sont pas de même niveau. Il considère que l'information qui est au

premier rang de la hiérarchie, et qui est donc la plus accessible, est celle qui concerne le (ou les) résultat de l'action. Reprenant les idées de Piaget, il pense que « la conscience de l'action va de la périphérie au centre pour y parvenir », c'est à dire du résultat aux moyens mis en œuvre.

I-3- Tâche prescrite, tâche effective

Du point de vue de l'ergonomie, Leplat (1997) fait une distinction entre « tâche » et « activité ». Selon lui, la tâche est le produit d'une activité en même temps qu'une source de l'activité. Il distingue tâche prescrite, tâche redéfinie, tâche effective selon le schéma de la figure 1-1

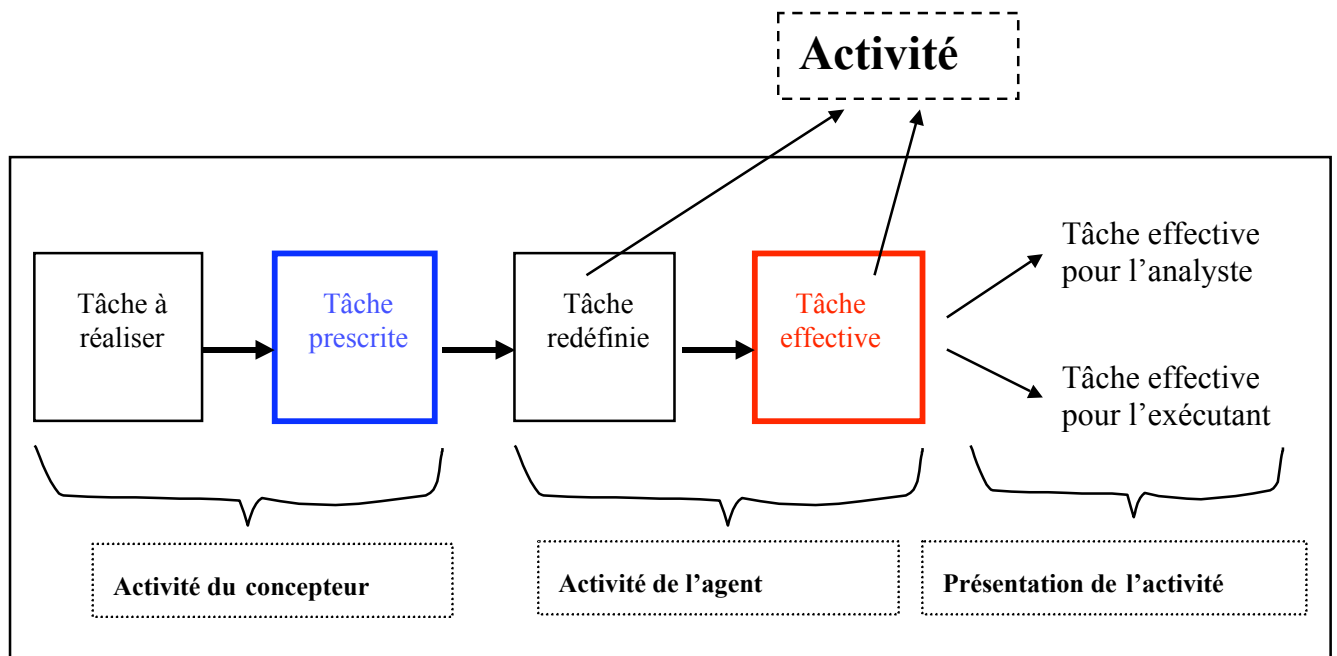


Figure 1-1 : les tâches selon Leplat (1997)

L'activité est dans l'appropriation et dans l'exécution de la tâche, mais il ne faut pas identifier l'activité au seul moment de l'exécution et la confondre avec le comportement qui en est la facette visible (partie visible de l'activité). Il distingue aussi dans l'activité suscitée par la tâche prescrite une phase de préparation, une phase d'exécution et une phase de contrôle.

Pour Leplat, « la tâche prescrite » est la tâche fixée par celui qui en demande l'exécution, l'organisateur du travail ou le concepteur. C'est celle qui figure dans les instructions, les consignes, les procédures. Mais la tâche prescrite à l'agent n'est pas toujours celle qui est réalisée. L'agent peut modifier les buts et les conditions fixées à l'exécution. Cette tâche que

l'agent se donne alors est dite « tâche redéfinie » : elle correspond à l'intention de l'agent, à ce qu'il se propose de faire. L'écart entre la tâche prescrite et la tâche redéfinie peut provenir d'une mauvaise compréhension de la tâche prescrite et / ou de l'intention délibérée de ne pas en observer certains aspects. Par ailleurs, la phase d'exécution de l'activité qui répond à cette tâche redéfinie n'y est pas toujours conforme ; l'agent peut ne pas réaliser ce qu'il souhaitait, par exemple, en raison d'une mauvaise représentation qu'il avait des conditions. La tâche qui correspond à son activité est dite « tâche effective » ; c'est celle dont l'activité sera l'exacte réalisation.

Leplat (2000) souligne que l'activité est la réponse de l'individu à l'ensemble des conditions externes (conditions physiques, techniques, organisationnelles et socio-économiques) et des conditions internes (les caractéristiques propres à l'agent) : « c'est ce que l'homme fait pour réaliser la tâche prescrite en même temps que ses propres finalités. Les buts et conditions définis par la tâche prescrite peuvent ainsi être redéfinis en fonction de ces finalités (p.13) »

Clôt (1995, 1997) prend en compte l'aspect social dans lequel s'inscrit cette activité : « L'activité ne peut être conçue simplement comme la réalisation de la tâche. [...] Elle est simultanément tournée vers son objet et vers l'activité des autres portant sur cet objet » (Clôt 1995, p.215 cité par Leplat, 2000, p8) . Il contribue ainsi à l'articulation de différentes facettes de l'analyse de l'activité.

Leplat (2000) distingue activité physique ou manuelle et activité représentative ou mentale : « L'activité peut s'appliquer, d'une part au corps propre ou à des objets matériels, d'autre part, à des représentations. Dans le premier cas, on parlera d'activité physique ou manuelle et cette activité sera observable ; cette partie visible de l'activité définit le comportement. Dans le second cas, on parlera d'activité représentative ou mentale (ou encore cognitive ou intellectuelle) : l'activité sera alors inobservable et devra être inférée à partir du comportement et de diverses traces. (p.13)»

Il souligne cependant que ces deux types d'activités ne sont évidemment pas exclusifs. Toute activité manuelle, à moins d'être complètement automatisée, ce qui est un cas limite, est soutenue par une activité mentale qui en assure la planification et la régularisation. De même, toute activité mentale se traduit, à un moment, par des activités observables grâce auxquelles, d'ailleurs, on peut appréhender ses caractéristiques.

Ainsi l'opposition "travail manuel - travail intellectuel" peut être très fallacieuse si elle laisse supposer une mutuelle exclusion entre les deux types de travaux. Il existe des travaux manuels plus intellectuels que des travaux classés comme intellectuels. Il est, de son point de vue, plus

concret de parler de composante manuelle et mentale de l'activité, étant bien entendu qu'elles peuvent être simultanément présentes.

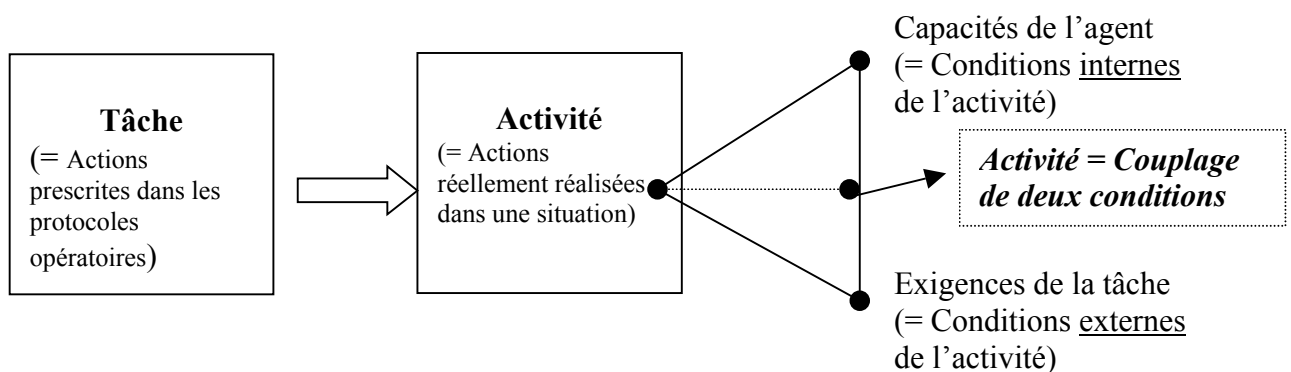
Par son activité, l'agent modifie les conditions externes pour obtenir le but visé. Le résultat final et les résultats intermédiaires sont comparés aux buts visés et les écarts constatés contribuent au contrôle de l'action qui va être orientée vers la réduction de ces écarts. Ainsi, des écarts trop grands (erreurs, incidents) peuvent l'amener à réorganiser son activité.

La comparaison peut aussi porter sur des traits de la procédure utilisée en vue de la vérification de sa conformité à la procédure prévue ou d'une amélioration ultérieure de celle-ci.

Mais ses conditions internes sont aussi modifiées ; par exemple, l'activité entraîne une charge de travail, à plus long terme de la fatigue, voire des troubles psychopathologiques, elle satisfait plus ou moins l'agent. Celui-ci évalue ses conséquences par rapport à ses attentes.

Finalement, Leplat (2000) définit l'activité comme un couplage entre tâche prescrite, ressources cognitives (savoirs, etc.) et ressources affectives (motivation, envie, etc.) de l'agent.

Figure 1-2: Couplage entre tâche prescrite et ressources de l'agent d'après Leplat



II- Le contrôle

II-1- Contrôle de l'activité

D'un point de vue de la psychologie cognitive, Nguyen et al. (1990) estiment que la notion de contrôle est centrale dans les activités finalisées. Pour eux, le contrôle intervient à trois niveaux, qui constituent les étapes du déroulement d'une tâche :

- la fixation des tâches, c'est à dire la sélection d'une tâche parmi les diverses tâches en instance, qui fait qu'une tâche devient le focus de l'activité et que la majeure partie des ressources cognitives sont allouées à sa réalisation ;
- la planification de l'activité, c'est à dire la fixation d'objectifs et l'élaboration de plans pour la réalisation de la tâche ;
- le contrôle de la réalisation de la tâche, qui comporte plusieurs composantes : le contrôle de l'exécution, l'évaluation des résultats de l'action et éventuellement la remise en cause de la représentation de la situation sur la base de laquelle ont été décidé les actions.

Ces distinctions permettent l'analyse des défaillances du contrôle : défaut de planification, défaut de protection des intentions, défaut de contrôle des résultats de l'action, défaut de remise en cause des interprétations.

Le contrôle et la planification des activités cognitives supposent que le sujet dispose de connaissances sur ses activités et d'informations sur leur déroulement. Ces conditions du contrôle sont analysées à partir des concepts de prise de conscience et de métacognition.

Pour ces auteurs, le contrôle de la réalisation de la tâche intervient aux différents niveaux de la réalisation de la tâche : la construction d'une représentation de la situation et l'élaboration d'une procédure et tentative de solution, la mise en œuvre d'une procédure et l'évaluation des résultats d'une action.

Les auteurs soulignent que le contrôle attentionnel tient une place majeure dans les types d'activités auxquelles ils se réfèrent, mais le contrôle de l'activité ne se réduit pas à cette forme. La notion de contrôle est ici prise au sens large et concerne également le niveau de régulation des automatismes.

Parmi les critères de distinction entre les processus automatiques et les processus contrôlés, estiment-ils, on met le plus souvent en avant l'absence de contrôle attentionnel dans le déroulement des automatismes, qui peuvent s'exercer en parallèle avec un processus contrôlé.

Ceci ne doit pas pour autant laisser penser que les automatismes sont incontrôlés. Même s'ils échappent au contrôle attentionnel, ils n'en sont pas moins contrôlés à des niveaux différents de celui de la représentation consciente.

Dans le contrôle de la construction des représentations, Nguyen et al. (1990) distinguent deux aspects : la construction de la première représentation de la situation et la sélection de la procédure à mettre en œuvre, qui concerne les éventuelles remises en cause de cette représentation. Quant au contrôle de l'exécution, qu'ils nomment « monitoring », il comporterait trois niveaux du contrôle, qui peuvent donc être impliqués dans la régulation d'une même activité : le contrôle par des connaissances déclaratives (knowledge-based), le contrôle par des règles (rule-based) et le contrôle par les automatismes (skill-based).

L'évaluation des résultats de l'action comporte l'évaluation de l'écart au but, la reconnaissance de situations critiques et la réflexion sur les résultats de l'action. Ils ajoutent plus loin que l'analyse des résultats de l'action est une composante fondamentale de la modification de la représentation du problème et de l'apprentissage de la situation.

La défaillance du contrôle de l'activité est alors « la dégradation de la capacité à assurer la fonction de régulation de l'activité, qui vise l'adaptation aux conditions d'exécution de la tâche ». Les défaillances du contrôle peuvent provenir du défaut de planification, du défaut de protections des intentions, du défaut de contrôle des résultats de l'action, du défaut de remise en cause des interprétations.

Richard (1995) distingue six grands fonctions des activités mentales : la conservation des structures cognitives permanentes (connaissances, croyances), l'élaboration des décisions d'action pour des tâches, la construction des représentations (structures cognitives transitoires), la production d'inférences à finalité épistémique (représentations) ou pragmatique (décisions d'action), la construction de connaissances, la régulation et contrôle de l'activité. Toutefois, il ajoute que la fonction de contrôle fait partie intégrante des autres fonctions : par la définition des objectifs cognitifs, par le guidage des raisonnements, par la remise en cause des représentations.

Pour lui, la planification opère sur une représentation de la tâche, mais dans la mesure où elle construit des anticipations, elle met en jeu des processus d'évaluation de l'action projetée. Par ailleurs, l'évaluation des résultats de l'action peut conduire à une remise en cause de la représentation de la situation.

II-2- La remise en cause

Richard distingue l'évaluation de l'écart au but, l'évaluation de l'adéquation de la solution, la reconnaissance de situations critiques, la remise en cause de la représentation de la tâche.

Les situations critiques sont, pour lui, des situations qui ne devraient pas se produire dans un déroulement normal de la tâche et qui, lorsqu'elles surviennent, sont l'indice que quelque chose qui a été fait n'aurait pas dû l'être. Elles peuvent donc être le point de départ d'une réflexion sur l'action visant à identifier ce qui a été fait et qui n'aurait pas dû l'être et éventuellement à remettre en cause les représentations qui ont été la base de ces actions.

Deux situations jouent, d'après lui, un rôle important dans la « remise en cause » des interprétations et la remise en cause des connaissances utilisées :

- les situations d'incidents, privilégiées pour corriger la représentation. Dans une étude, Richard et al. (1987) montrent que beaucoup de sujets n'utilisent pas ces occasions et se contentent de réparer l'incident plutôt que d'essayer d'en retrouver la genèse.
- les impasses dans lesquelles le sujet reconnaît s'être déjà trouvé au cours de ses tentatives antérieures.

La reconnaissance de ces situations relève d'une attitude générale de réflexion sur l'action qui est une des principales composantes de l'objectif cognitif qui consiste à comprendre plutôt qu'à réussir. Cette attitude est rarement mise en œuvre spontanément par le sujet ; il faut qu'il soit incité à le faire par des caractéristique de la situation.

Margolinas, (1993) fait la différence entre vérifier et contrôler. Contrôler que tout se passe bien, vérifier qu'on a bien eu ce qu'on attendait.

II-3- L'adaptation

D'un point de vue d'ergonomie, Leplat (1997) souligne que le contrôle du processus exige des compétences spécialisées. En effet, le processus est dynamique (Hoc J.M., 1996).

Leplat indique que le caractère dynamique du processus correspond à une transformation continue de la nature de la tâche, indépendamment-pour une part- des actions de l'opérateur. En effet les actions possibles de l'opérateur modifient la situation. Par ailleurs une action ne peut être compensée par son inverse ; elle exige une récupération par des voies souvent complexes quand cette récupération est possible, ce qui n'est pas toujours le cas.

Leplat note que les compétences nécessaires ne sont pas toujours bien évaluées dans la conception de la tâche. Une surévaluation de la compétence des opérateurs conduit à leur prêter l'usage d'outils cognitifs qu'ils n'ont pas, ce qui accentue la part d'implicite de la tâche, et les oblige à construire leur champ d'activité dans des conditions difficiles.

Il distingue trois dimensions du contrôle : dimension de surveillance, dimension de récupération d'incident et dimension de sécurité.

Il étudie le champ spatial et temporel de contrôle pris effectivement en compte par l'activité et l'activité de l'opérateur dans le contrôle de processus dynamiques.

Il définit le champ de l'activité d'une part par les objets matériels sur lesquels s'exerce l'activité et par les transformations visibles de la situation et d'autre part par les représentations et les traitements qui sous-tendent cette activité. Ce champ de l'activité à l'intérieur duquel il réalise ses actions ne coïncide pas forcément avec celui de la tâche.

Il repère les caractéristiques des situations qui entraînent le contrôle de processus par l'acteur :

- définition incomplète de la tâche : les informations définissant la tâche peuvent être vagues, non pertinentes, partielles, redondantes, incohérentes, en tout cas insuffisantes pour une exécution correcte.

- ouverture de la tâche : le découpage des tâches a souvent un caractère arbitraire par rapport à la logique du processus continu ; ce découpage n'exclut pas toujours des recouvrements, nécessaires dans certains cas.

Flach et Vicente (1989) notent que la forme et le contenu de l'information présentée ont une influence sur l'activité de l'opérateur.

Leplat (1997) repère les mécanismes de passage de la tâche à l'activité : la prise en compte du contexte, l'extension par amélioration des informations sur le système, l'extension par la prise en compte d'événements imprévus, la compensation des déficits organisationnels et flexibilité, le changement des sources d'information.

De Terssac et Chaboud (1990), cités par Leplat, nomment « connaissances contextuelles » des opérateurs, celles qui sont souvent indispensables au diagnostic et à la planification des interventions utiles.

Les événements ou incidents exigeant une intervention peuvent être de deux types : les uns entrent dans le champ de la tâche et relèvent de modes de traitement appris, les autres sont exceptionnels, au sens où ils ne sont prévisibles ni dans leur nature ni dans leur moment d'occurrence.

III- Les compétences et les savoirs

Selon Roegiers (2001), la compétence est définie comme la possibilité, pour un individu, de mobiliser de manière intériorisée un ensemble intégré de ressources en vue de résoudre une famille de situations-problèmes.

Pour Le Boterf, (1994), elle consiste à mobiliser des savoirs sélectionnés, intégrés et combinés. C'est un savoir-agir.

Plusieurs auteurs ont proposé des typologies de savoirs.

III-1- Savoir, savoir-faire

Malglaive (1990) propose une typologie des savoirs dont le critère de catégorisation est la dichotomie entre théorie et la pratique. Il distingue quatre catégories : savoirs théoriques, savoirs procéduraux, savoirs pratiques et savoir-faire.

Les savoirs théoriques sont, pour lui, les lois et concepts axiomatisés et s'exprimant sur le mode conceptuel. Les savoirs procéduraux sont des savoirs rationnels sur les opérations formelles de la pensée. Les savoirs pratiques sont des savoirs pragmatiques, construits dans l'action en vue de son efficacité, sous l'entière dépendance des procédures. Les savoir-faire sont évolutifs avec des phases d'apprentissage (débutant avec tâtonnement), de constitution de routines (savoir-faire cohérents), d'habitudes (procédures intériorisées) jusqu'à l'expertise. Ce sont des savoirs fondés sur l'action qui rendent compte des phénomènes matériels et symboliques sans mobiliser la rationalité.

En se basant sur les travaux de Malglaive, Le Boterf (1994) distingue les savoirs (savoirs théoriques et savoirs procéduraux) et les savoir-faire (savoir-faire procéduraux, savoir-faire expérientiels, savoir-faire sociaux).

Les savoirs théoriques visent à comprendre un objet, un phénomène, une situation, une organisation, un processus, etc. On peut y trouver des concepts, des schémas assimilateurs, des connaissances disciplinaires, des connaissances organisationnelles, des savoirs sur des produits ou sur des groupes sociaux. Ce savoir théorique n'a pas de finalité pratique. Il ne cherche pas à indiquer ce qu'il faut faire. Ce savoir théorique joue un rôle heuristique : il permet d'orienter l'action, facilite la construction de représentation opératoire, rend possible la formulation d'hypothèses.

Les savoirs procéduraux visent à prescrire "comment il faut faire", "comment s'y prendre pour". Ils permettent de disposer de règles pour agir. A la différence des savoirs théoriques,

qui sont exprimés dans une forme indépendante des actions qui pourraient les utiliser, les savoirs opératifs sont décrits en vue d'une action à réaliser. C'est la distinction entre le savoir "comment ça marche ?" et le savoir "comment faire marcher ?" (De Montmollin, 1991). Le savoir procédural propose un parcours à suivre pour un sujet individuel ou collectif. Ces savoirs opératifs décrivent des procédures, des méthodes, des modes opératoires, c'est à dire des enchaînement explicites d'opérations ou des séries ordonnées d'actions orientées vers la réalisation d'un but déterminé. Ils précisent les conditions d'application des opérations à suivre. Les procédures peuvent être décomposées en micro-procédures. Ils sont formulés du point de vue de leur utilisateur qui peut ainsi suivre les étapes qui lui sont proposées. C'est le savoir des manuels, des guides pratiques et des modes d'emploi. Parmi les connaissances procédurales formalisées, on trouvera les stratégies ou méthodes de résolution de problèmes, les schémas de recherche d'informations ou d'action, les modèles d'analyse, les règles opératoires et les règles d'action, les principes directeurs d'intervention, les conditions à réunir pour obtenir tel effet.

Le passage du savoir procédural au savoir-faire procédural passe par l'expérience pratique. "Connaître une procédure ou une méthode" n'est pas encore savoir l'appliquer. La maîtrise d'une procédure suppose son apprentissage. Ce n'est qu'après entraînement que le savoir procédural deviendra savoir-faire. L'entraînement est nécessaire pour passer du savoir procédural au savoir-faire procédural. Les savoir-faire peuvent être produits à partir d'un processus d'opérationnalisation des savoirs théoriques. Les savoir-faire procéduraux sont « encapsulés » dans l'action, mis en mémoire après expérimentation.

Le savoir-faire expérientiel est un savoir issu de l'action (de la pratique). Il comprend les leçons tirées de l'expérience pratique. C'est le savoir de l'acteur, celui qui ne peut être produit qu'en agissant. C'est un savoir contextualisé et contingent mais qui permet d'agir avec toutes les contraintes d'un contexte. Il prend en compte ce que néglige la théorie, à savoir "ce qui est particulier, local, temporel et oral" dans la situation d'action. C'est le savoir qui permet de percevoir les "signaux faibles", de repérer les "indices" qui mettront sur la piste du diagnostic et de l'action.

Ce savoir empirique est non séparé du faire, appris en lui, pour lui, soit dans l'expérience du travail même, soit dans les expériences et apprentissages finalisés sur lui. C'est un savoir-faire validé par son efficacité pragmatique et immédiate plutôt que par sa cohérence interne. L'expérience, c'est ce qui permet de faire ce que l'on a appris à faire.

C'est un savoir non scolarisable. Il résulte de la formation dite "sur le tas", par le travail "en doublure" ou dans une relation de compagnonnage dont la pédagogie est souvent non explicitée de la part de celui qui guide ou accompagne l'apprentissage.

Ces savoir-faire empiriques sont souvent indispensables à la bonne utilisation des connaissances procédurales. Le savoir-faire expérientiel de l'opérateur ne supprime pas la capacité du jugement analytique mais lui donne une assise plus fiable. Les machines ne se comportent jamais comme l'avaient prévu les ingénieurs ou les concepteurs : il y a toujours apprentissage dans l'établissement des relations entre l'homme et les machines, et non simple exécution de gestes pré-programmés. Ce savoir empirique est opératoire et précaire. Ces savoir-faire sont parfois appelés connaissances "tacites".

Geneviève Delbos (1983), citée par Le Boterf, met en évidence la différence existant entre le savoir scientifique et le savoir empirique dans le "métier du sel" : ceux-ci (les savoirs empiriques), issus de la diversité des expériences pratiques de toute une profession et de l'individu, sont contextualisés, par rapport à la variété des situations qui peuvent se présenter. Ils résistent à toute tentative de généralisation. Ces repères varient avec les situations. Alors que la science objective postule que l'on peut isoler le savoir de celui qui en parle, le savoir du paludier est inséparable de lui-même : "le savoir-faire s'énonce comme un savoir-vivre".

Pour Le Boterf (1994), les "**savoir-faire routiniers**" font partie de ces connaissances empiriques. Ils sont acquis par l'expérience et mis en œuvre de façon automatique. Les habitudes sont déclenchées de façon non contrôlée à l'occasion de la perception d'une situation particulière. Elles peuvent être strictement liées à une situation ou fonctionner par rapport à un ensemble de situations similaires ou proches.

Les savoir-faire routiniers sont d'une grande utilité par le principe d'économie qu'ils réalisent. La conduite ou l'intervention automatique libèrent l'attention pour exercer d'autres activités ou vigilances. Ils permettent l'habileté et la sûreté du geste. En revanche, ils peuvent conduire à des échecs par l'enclenchement d'actions inappropriées.

Pour Hofstadter (1985), les savoir-faire procéduraux (qu'il nomme connaissances procédurales) n'ont pas de forme explicite, ne sont pas accessibles par introspection. Elles servent sans que l'on sache comment. Il y a automaticité du déroulement.

III-2- Savoirs énoncés, savoirs détenus

Barbier (1996), considère que la notion de compétence se développe dans des systèmes de mobilisation de composantes identitaires. La présence de compétences s'infère à partir d'actions, de comportements, d'opérations censées les mobiliser .

Il distingue les savoirs théoriques et les savoirs d'action. Pour lui, les savoirs théoriques sont assimilés à des savoirs disciplinaires. « Ils tendent à s'élargir à des nouveaux objets et à des nouveaux champs qui les rapprochent de l'action et de son intelligibilité ». Les savoirs d'action sont des savoirs en pratique. « Ils sont une occasion de l'énoncé et de formalisation, ce qui tend à les affermir dans leur statut de savoir et à les rapprocher des savoirs théoriques ».

Les savoirs théoriques et les savoirs d'action se nourrissent les uns et les autres. Lorsque les savoirs (savoirs théoriques et d'action) correspondent à des énoncés, ils peuvent être mobilisés dans des activités. Ce peut être en vue de la production de représentations sur le réel ; les savoirs deviennent un outil pour la compréhension du réel. Ce peut être en vue de sa transformation ; les savoirs deviennent un objet à construire et/ou à transformer.

En ce qui concerne les savoirs ayant un statut d'énoncé, Barbier distingue les énoncés « affirmatifs » (énoncés descriptifs et énoncés explicatifs) et les énoncés « opératifs ». Les énoncés affirmatifs apparaissent dans le contexte d'activité de production de représentation sur le réel. Ils sont sélectifs et fonctionnels.

Les énoncés descriptifs sont ceux directement relatifs à un objet, à un événement et à une situation. Il souligne que « ce sont des savoirs factuels ».

Les énoncés explicatifs sont ceux relatifs à des relations entre des classes d'objets, d'événement ou de situations ; ils mobilisent des théories, lois, corrélations, systèmes explicatifs, modèles. Ils sont d'une grande importance dans les activités mentales préalables ou accompagnant les activités de transformation du réel : analyse de situation, diagnostic, production de savoirs sur le déroulement etc. Pour l'auteur, ce sont des « savoirs d'intelligibilité ».

Les énoncés opératifs apparaissent dans le contexte direct d'activités de transformation du réel, supposant de la part de ceux qui y sont impliqués une activité supplémentaire de « prise de conscience », d'« explicitation » et de « mise en mots ».

Les savoir-faire sont traditionnellement assimilés aux compétences pratiques, aux savoirs cachés, aux savoirs d'expérience, aux savoirs informels, aux habiletés acquises dans l'action et par l'action.

Barbier s'intéresse au problème de l'articulation entre « savoirs théoriques » et « savoirs d'action », mais souligne l'ambiguïté de la notion de « savoir » : les savoirs sont tantôt « énoncés », tantôt « composantes identitaires ». Le terme est utilisé tantôt pour nommer « une réalité extérieure aux individus », communicable et transmissible, par exemple une procédure technique ; tantôt, au contraire, « une réalité indissociable des agents individuels et collectifs » qui en sont le support, par exemple un savoir-faire.

Il distingue, quant à lui, d'une part les savoirs objectivés, la culture, les règles, les valeurs, qui sont conservables, communicables, appropriables et d'autre part les savoirs détenus, capacités, connaissances, compétences, aptitudes, professionnalité, qui sont indissociables d'un agent individuel ou collectif. En fin de compte, il distingue les savoirs en deux catégories : les savoirs et les savoir-faire.

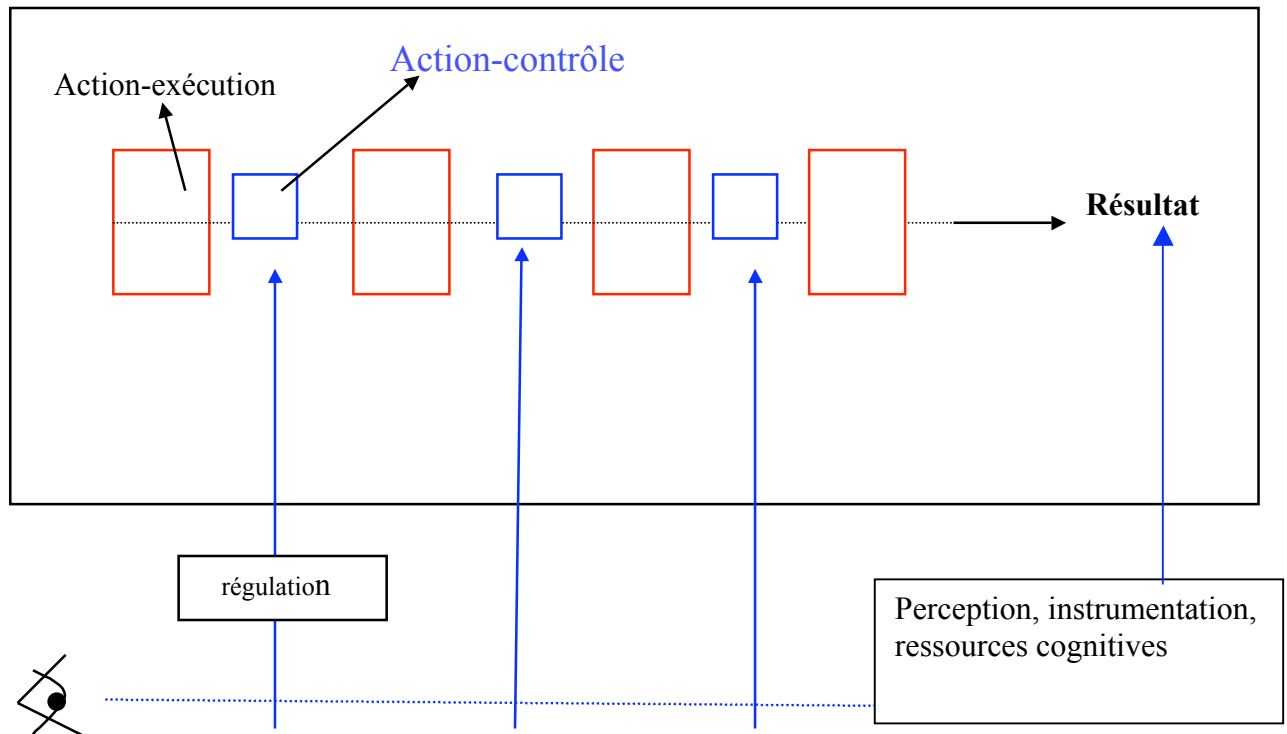
IV- intégration et différenciation progressives du contrôle

Le contrôle sera considéré dans ce travail comme une action cognitive faisant partie intégrante de l'activité, mais qui apparaît également à des moments particuliers d'évaluation d'un résultat. La chaîne d'action-exécution, action-contrôle (figure1-3) qui constitue le processus intégré, de déroulement de l'activité, est alors rompu par des moments où explicitement l'acteur se pose la question de la validité ou de la pertinence de son résultat et entre dans un processus de remise en cause de ce qu'il a fait antérieurement.

L'activité est l'ensemble des gestes manuels et cognitifs qui peuvent être de l'ordre de la planification, de l'exécution ou de l'évaluation. Dans chacun de ces moments l'expert met en jeu des ressources qui sont de différents ordres : ressources théoriques, connaissances construites dans l'action et communes pour un même type de pratique, ressources plus personnelles construites au hasard des rencontres avec des pannes ou au contraire relevant d'une expertise très poussée reposant sur des années d'expérience et qui permet de distinguer ce que d'autres ne peuvent pas distinguer.

Nous essaierons de confronter ce cadre de représentation du contrôle de l'activité aux discours produits par les experts sur leur pratique.

Figure 1-3 : Les actions-exécution et les actions-contrôle dans une activité



Dans un second temps, c'est une perspective curriculaire qui guide la recherche.

Les savoirs théoriques nécessaires pour la manipulation qui est proposée sont sans doute disponibles pour les élèves, même si le protocole a en charge de faire tisser ces liens entre des savoirs théoriques présentés ou construits en cours, dans un mode de représentation où les phénomènes sont traduits par des discours et des formalismes, où la phénoménologie est assez éloignée de la phénoménotechnique (Martinand 1995).

Certains savoirs pratiques sont disponibles ; les travaux pratiques sont là pour enrichir ce type de savoirs. Ce n'est pas le seul enjeu des travaux pratiques. Faire acquérir des concepts, des démarches expérimentales, des techniques de base, fournir un référent pour les phénomènes, familiariser avec des faits ou des phénomènes ; nombreux sont les travaux qui ont détaillés ces différents enjeux des travaux pratiques en sciences physiques, la méthode expérimentale d'un point de vue épistémologique ou comme moyen pédagogique de faire apprendre de concepts, les pratiques des élèves ou étudiants (M. Develay, 1989 ; S. Johsua, 1989 ; B. Darley, 1994 ; A. Guillon, 1996 ; M. Guiseppin, 1996 ; M. G. Séré, et M. Beney, 1997) ; M. Beney, 1998 ; C. Larcher et D. Beaufils, 1999 ; O. Soudani, 1999 ; C. Larcher, 1999 ; M

Oulddickeh, 2002 ; A. Laugier et A. Dumon, 2003 ...). Certains travaux ont détaillé les objectifs évaluables de façon plus spécifique à la chimie (Dumon, 1988). A. Tiberghien et al. (1998) ont conduit un projet européen de comparaison des activités expérimentales proposées aux élèves. C. Larcher et M. Goffard (2003) ont recensé ces travaux.

Compte tenu de la multiplicité des enjeux, l'apprentissage du contrôle de l'activité est peu pris en compte de façon progressive. Le travail de comparaison entre manuels et avec les épreuves de baccalauréat informera sur cet enjeu particulier.

Il faut auparavant déterminer, en s'appuyant sur les distinctions repérées dans la bibliographie, des descripteurs de l'activité et du contrôle qui soit identifiables dans des textes de protocole proposés aux élèves et qui puissent permettre de comparer avec la pratique, interprétée à partir des discours des experts malgré les différences. Les analyses envisagées devraient permettre de repérer des indicateurs possibles pour le développement de la maîtrise du contrôle de l'activité par les élèves.

Chapitre 2 : Le contrôle de l'activité par les experts

Ce sont des chercheurs, reconnus comme « expérimentés » par leurs pairs, que nous avons interrogé pour connaître les pratiques de « contrôle de l'activité » en chimie. Notre propos n'est pas l'analyse en soi de l'activité des experts ni l'analyse des conditions de leur activité, ni l'analyse de l'écart entre activité et tâche prescrite ; il s'inscrit dans une perspective de comparaison entre ces pratiques et ce qu'il est prévu de faire acquérir aux élèves au cours de leur scolarité.

De façon à avoir accès à des discours sur des pratiques diversifiées, nous avons choisi des chercheurs dans des domaines différents de la chimie (chimie organique, chimie générale, chimie analytique).

La problématique étant centrée sur l'apprentissage du contrôle de l'activité, nous avons également interrogé ces chercheurs dans leur fonction d'enseignant ou de médiateur.

Les chercheurs ont souvent à encadrer des stages d'étudiants (Veillard, 2000) et sont donc confrontés à la transmission de leurs savoirs. Certains des chercheurs interrogés ont par ailleurs en charge un enseignement de travaux pratiques, en particulier à la préparation du CAPES, c'est à dire avec des étudiants en fin de parcours universitaire, qui auront en charge l'année suivante la formation des élèves en chimie.

I- Le recueil de données

Le tableau 2-1 donne le panorama des entretiens analysés, en précisant le domaine de recherche des personnes interrogées ainsi que les postures qu'ils ont adoptés au cours de l'entretien.

Les entretiens cherchaient à mettre à jour : quels sont les processus de contrôle de l'activité chez des chimistes expérimentés? quels sont les moyens de contrôle dont ils disposent?

Ils ont été menés avec un protocole qui prévoyait des questions assez ouvertes :

Comment se rendent-ils compte que leur manipulation ne marche pas ? Qu'est-ce qu'ils contrôlent ? Qu'est-ce qu'ils font pour apprendre à leurs stagiaires à contrôler les activités expérimentales ? Comment transmettent-ils leurs savoirs aux stagiaires ?

Les premières portent sur les pratiques en tant que chercheur, les autres s'inscrivent dans leur relation de transmission de savoirs.

Tableau 2-1 : les caractéristiques des « experts » interrogés

Domaine de la chimie	Entretiens français (E) et turcs (R)	Posture			Total
		Chercheur	Enseignant universit.	Enseignant au CAPES	
1. Chimie organique :	E1 (JA)	X	X	X	6
	E3	X			
	E4		X	X	
	E5,		X	X	
	E6	X			
	R4,	X	X		
2. Chimie inorganique :	E2	X	X	X	5
	R1	X	X		
	R2	X	X		
	R7	X	X		
	R10 (NS)	X	X		
3. Physico-chimie	R5	X	X		3
	R6	X	X		
	R8 (TC)	X	X		
	R3	X	X		
4. Electrochimie	E1 (VP)	X	X	X	1
5. Chimie analytique	R8 (RI)	X	X		3
	R10 (UO)	X	X		
	R9	X	X		
6. Biochimie	19				1
					19

La trame de questionnement ne composait pas une succession prévue dans un ordre particulier ; l'idée était plutôt de laisser l'interviewé de la construction de son discours. Seule la première question, faisant référence à des pannes éventuelles, a été posée au départ de façon systématique. La demande d'exemples précis a été aussi récurrente pour éviter un discours formel (Vermersch, 1994). Cette demande a dans l'ensemble été prise en compte.

Les autres questions, posées au moment où l'expert interrogé épuisait ce qu'il avait à dire, ont permis d'une part de faire reformuler, d'autre part de faire préciser des éléments auxquels

l'expert n'avait pas pensé dans un premier temps, ou ce qui lui semblait trivial. Le discours de l'expert n'est pas en effet pré-construit sur ce sujet, il se construit au fur et à mesure de sa production. Le terme contrôle renvoie à des significations diverses.

Avant chaque entretien enregistré, un moment a été consacré, hors enregistrement, pour situer la demande.

La plupart des entretiens analysés ont été menés individuellement. L'entretien E1 a été mené avec deux chimistes de domaines différents (E1(VP) et E1(JA)) ; dix autres entretiens en turc ont également été menés avec dix chercheurs.

Les entretiens ont duré entre 60 et 90 minutes.

Les entretiens effectués en France sont notés E, les entretiens effectués en Turquie sont notés R (le terme « Röportaj » peut signifier entretien en turc). Seuls 6 entretiens en français ont été exploités parmi les dix réalisés. Les entretiens en turc ont permis de mieux approfondir les propos.

JA (E1), CD (E3) et MB (E5) font des synthèses organiques pour obtenir des substances ou des matériaux ayant des propriétés attendues intéressantes.

JB (E2) travaille sur des substances solides monocristallines ; il essaye de définir les zones de stabilité d'oxydes cristallins monocristaux.

VP (E1) travaille en chimie analytique. Le résultat de sa manipulation n'est pas une substance ou un matériau, mais des données numériques ou graphiques.

Les transcripts des entretiens en français sont rassemblés dans l'annexe 2. Les interlocuteurs sont anonymés (ni nom, ni lieu) mais repérés par I pour l'interviewer et par des initiales pour les interviewés.

Le discours est numéroté par tour de parole puis découpé en items de sens, numérotés.

On dispose donc pour repérer un extrait d'une numérotation du type Ei, X, Y-Z, où i est le numéro de l'entretien (voir tableau 2-1), X le numéro d'ordre du tour de parole, Y le numéro de l'item du début d'extrait et Z le numéro de l'item de fin d'extrait. Il n'y aura pas d'extrait des entretiens Ri en turc.

Chaque transcript comporte trois colonnes de codage en référence à la grille d'analyse présentée dans le paragraphe III (p.44). Certains items sans doute trop finement découpés n'ont pas donné lieu à un codage.

II- Le contrôle de l'activité

L'analyse qualitative de l'ensemble des entretiens nous a permis dans un premier temps de repérer les caractéristiques du « contrôle de l'activité » évoquées par les experts dans leur posture de chercheur. Selon Bardin (1991), « faire une analyse thématique consiste à repérer des noyaux de sens qui composent la communication.. »

Pour les experts, le contrôle est « routinier », fait partie de leur savoirs professionnels :

*" J'ai l'impression que c'est la routine, ça fait partie des gens ça s'explique pas »
(E1, 78/1-3)*

Cela renvoie à la composante identitaire des savoirs.

" C'est quelque chose qui est intégré dans la tête de gens ... dans la tête des chercheurs. "(E1, 80/1-2)

" C'est comme faire du vélo vous avez appris à faire du vélo, vous n'en avez pas à faire pendant un moment ... vous remontez sur le vélo, l'automatisme il revient ... vous allez pédaler ... c'est ça c'est des automatismes qu'on apprend et puis après on ne se rend même plus compte...on sait faire » (E1, 81/1-6)

II-1- Les moments de contrôle

En fonction des manipulations les experts font des contrôles à plusieurs moments : contrôles préventifs, contrôles en activité, contrôles finaux.

➤ **Contrôle préventif**

Exercé avant de réaliser les manipulations, il peut être généraliste, portant sur la propreté et la pureté :

« Pour que tout se passe bien on met d'abord tous les atouts de notre côté en prenant du matériel propre, des produits purs, des solutions qui traînent pas sur la paillasse ou au soleil depuis trois ans ... on essaie d'être bien soigneux quand on manipule » , (E1, 27, 1-5)

Il peut aussi être plus spécifique.

➤ **Contrôles en activité**

C'est aussi un contrôle « en continu » qui est évoqué :

" Mais c'est rare quand on se dit je fais toute la manip et je vérifie tout à la fin ... et je réfléchis pas entre les deux ... c'est pas possible de faire ça. C'est dès qu'on commence à travailler on commence à se dire dès que je fais quelque chose je vérifie, mais même sans m'en rendre compte je vérifie que l'ordre de grandeur du pH-mètre est correct, je vérifie que mon flacon est propre ne serait-ce qu'en regardant à la lumière.. "(E1, 88/1-6)

Des contrôles sont parfois prévus en cours de manipulation :

" ...des réactions qu'on va contrôler toutes les 10 minutes parce qu'on va faire des contrôles, quelque chose de cinétique, pour voir si le produit a évolué et si on obtient toujours le même produit, ou on va vérifier par exemple par chromatographie gazeuse ... "(E1, 87/3-6)

Ces moments sont très dépendants des manipulations :

" Non... y a pas de moment précis, on se dit pas : tiens, là, je vais contrôler.. ça dépend des expériences " (E1, 86/1-3)

➤ **Contrôle a posteriori**

C'est de ce contrôle a posteriori après analyse du résultat que les experts parlent tout d'abord le plus souvent :

« oui, on n'est jamais sûrs que ça va marcher, et en chimie organique souvent ça ne marche pas » (E1 ;6/1-2)

Il peut être immédiat sur des critères perceptifs :

" Donc on se rend compte tout de suite au cours d'une manipulation, soit c'est vraiment à la fin quand on essaie de, quand on regarde le résultat qu'on fait l'analyse de notre manipulation, on se rend compte que ben on n'a pas ça, on n'a pas le produit .. " (E1, 38/1-4)

Il peut aussi être systématique, outillé :

" Là où on se rend compte -pour reprendre l'exemple du monocristal – on se rend bien compte si ça marche bien ou si ça marche pas, parce que on fait une analyse et on voit le résultat, si j'obtiens un seul individu ben j'ai fait un monocristal je sais

que si ... si y'en a plusieurs je sais que c'est pas ... c'est pas bon, qu'il faut que je recommence "(E2, 28/87-94)

Il renvoie parfois à un contrôle des éléments de la manipulation ; parfois des causes ont déjà été repérées :

" c'est que (...) quand on obtient tel type de résultat aberrant, c'est d'abord vérifier quel type des sources de problème possibles euh ... parce qu'on l'a déjà rencontré (E1, 23/7-8)

parfois spécifiques d'une manipulation :

« on sait que telle verrerie elle a tendance à s'encrasser ... parce que y a un petit coude, parce que c'est un petit tuyau qui a un petit coude, ça a tendance à se coincer dans le coude, donc on va re-vérifier si il n'y a pas de problème... » (E1, 68/2-4)

Il conduit parfois à la décision de refaire toute la manipulation :

" Si on trouve pas, ben on change tout et on se dit je ne sais pas pourquoi ça marche pas ! ... même si c'est une manip de routine, des fois ça marche pas .. on change tout, on recommence, on repart à zéro... » (E1, 70/1-6)

avec soit l'idée d'une erreur ponctuelle :

"ça dépend, si c'est une manip courte on peut essayer de refaire la manip en disant on s'est peut-être trompé mais "(E5, 44/8-9)

soit l'idée d'une attention continue :

"Parce qu'on a pas bien réalisé l'expérience, donc après on s'y attardait pas... on essaie de refaire l'expérience plus proprement ! ..." (E5, 38/12-14)

Il conduit parfois à l'abandon du projet si les causes de problème restent non identifiées. Une décision est prise compte tenu de l'importance de l'enjeu et du temps à y consacrer :

"après on m'a dit que les gens qui avaient fait, d'autres qui avaient fait la même chose que moi d'autres qui avaient fait des monocristaux n'observaient pas non plus de supraconductivité dans les monocristaux ... Alors c'est pour ça que j'ai pas insisté "(E2, 22/11-15)

Parfois au contraire il s'agit de tenter de reproduire le résultat obtenu, même s'il est différent du résultat attendu, du fait de son intérêt :

« ... on dit « ça a pas marché » parce que on n'a pas le résultat escompté, mais c'est pas forcément toujours le cas.. » (E2, 6/2-3)

II-2- Les éléments à contrôler

En chimie, les éléments à contrôler sont très nombreux et il est parfois difficile d'identifier les causes d'un résultat inattendu.

"bon on n'a pas finalement ce produit-là ... on a obtenu autre chose et on se pose la question « pourquoi », qu'est-ce qui a fait que "(E1, 9/2-4) :

"pourquoi ça aurait donné ça ? on se pose des questions"(E1, 9/8)

Ces questionnements renvoient à une analyse théorique du déroulement et cet aspect sera traité dans un paragraphe ultérieur ; ils renvoient aussi à un contrôle systématique sur les éléments matériels très sensibles, soit communs à toutes les manipulations (substances utilisées, verrerie) soit plus spécifiques à un type de manipulation (appareils de détection d'identification, de mesure), soit encore présentant une diversité mais des aspects semblables (conditions de température, de pression, d'atmosphère, de pH....)

➤ *L'identité des substances*

L'identité des substances est un des éléments de base du contrôle en chimie

Est-ce qu'on a pris le bon produit ? Est-ce qu'on s'est trompé de produit ? :

"j'ai parlé de un oxyde de manganèse tout à l'heure mais y a une armée d'oxydes de manganèse ... Donc on va pas prendre n'importe quel oxyde de manganèse ... Il faut savoir si c'est Mn deux O trois, Mn trois O quatre, j'en sais rien ... "(E2, 40/26-28)

" est-ce que c'était le même gaz, est-ce que c'est vraiment le même gaz qu'on a utilisé, est-ce que c'est le même ? je ne sais pas vous voyez ! ... Il faut tout analyser ... pour arriver à déterminer ... "(E2, 14/45-48)

Le contrôle porte aussi sur les actions préalables comme l'étiquetage d'un flacon intermédiaire :

" et on fait passer aux rayons X pour bien vérifier que c'est bien la phase euh .../ il faut pas croire les étiquettes, bien vérifier que, c'est bien le composé euh ... "(E2, 40/23-25)

Les experts reconnaissent en effet qu'il leur arrive de se tromper :

"Ça peut arriver, mais c'est toujours un manque d'attention, confusion d'étiquette etc., cela arrive ! " (E4, 48/3-4)

"On essaie de comprendre ce qui se passe ! [...] pour voir si on n' a pas fait une erreur grossière quelque part ! ... si on s'est pas trompé dans les flacons, si on n'a pas / ça c'est quand même une chose qu'on fait / "(E5, 32/1-9)

Parfois c'est le fabricant de produits chimiques qui a changé et cela suffit à perturber une manipulation :

" mais ça peut être aussi bête que le produit de synthèse change de marque ... C'est plus le même ! ... C'est le même composé, c'est le même oxyde, disons oxyde de manganèse... mais en réalité c'est pas le même fabricant, sur l'étiquette c'est pareil, en réalité c'est pas tout à fait pareil ... " (E2, 14/10-14)

Le changement de marque est sans doute lié à des modifications des impuretés :

" Ou alors le produit on ne l'a pas acheté au même endroit donc il a des impuretés qui fait que ... / ça a embêté le reste." (E1, 71/1-2)

Il faut en effet parfois très peu d'une impureté pour que le processus chimique soit perturbé :

"On se pose aussi beaucoup de questions souvent sur la pureté des produits initiaux qu'on utilise .. parce que des fois ça ne marche pas, parce que y a un fifrelin de produits " (E1,10/1-2)

"Et puis une fois qu'il a fait une expérience, il fait attention aux conditions ! ... et la température, la quantité de solvant, et que après, une fois qu'il a la réaction, quand il va extraire son produit, il faut utiliser des solvants qui sont purs, des solvants qui ne sont pas souillés d'impuretés.. " (E6, 20/16-20)

➤ **La stabilité des substances**

« ... je ne sais pas le produit se dégrade au cours du temps, moi par exemple dans le tampon biologique ben y a des bactéries qui se développent, ça fausse le réactif, du coup ça peut pas marcher..." (E1, 10/3-5)

" et puis après on vérifie tout le reste, vérifie que la soude qu'on a utilisée, par exemple, c'est la bonne concentration, qu'elle n'est pas ouverte depuis 3 ans, parce que y a CO₂ de l'air qui va se dissoudre dedans ... et c'est ça parce qu'on sait que c'est des points sensibles de la manips, auxquels il faut faire plus attention ... si on trouve pas \ "(E1, 68/11-17)

D'autres propriétés des substances peuvent intervenir dans le contrôle des conditions opératoires, leur réactivité, leur solubilité :

" pourquoi ça aurait donné ça ? on se pose des questions sur les réactivités des produits, sur..\" (E1, 9/8-9)

" ...ils ont chauffé 3 minutes, mais si c'est quelque chose qui ne chauffe pas bien..., donc ils n'ont pas chauffé ! et après dans une synthèse organique ça ne va pas marcher " (E4, 12/38-39)

➤ **Les quantités ou le mode de préparation**

"Et puis une fois qu'il a fait une expérience, il fait attention aux conditions ! ... et la température, la quantité de solvant (E6, 20/16-18)

" L'élaboration du barreau qui n'est pas bonne.. Mais si ce barreau à été mal préparé c'est possible, qu'il soit pas assez compacté," (E2, 8/49-57)

« il faut la quantité du produit, il faut calculer ça d'avance ... donc il faut que ça soit dans le rapport de l'équation chimique donc les masses molaires etc. ... C'est pas un calcul compliqué, mais on se trompe très vite"(E2, 40/13-15)

➤ **La propreté de la verrerie**

Les experts mettent souvent en cause la "propreté" du matériel (verrerie et instruments de mesure, etc.) utilisé dans la manipulation :

"Quand on fait la chimie organique, dans des solvants organiques, il vaut mieux pas avoir de la vaisselle qui soit pas sèche par exemple ! ... et que par contre quand on fait la chimie en solution aqueuse, si la vaisselle n'est pas parfaitement sèche, ça a rarement l'importance ! ... » (E5, 18/2-3)

Le choix de la verrerie appropriée et du montage expérimental sont aussi évoqués.

➤ **Le contrôle du montage**

Il est systématique :

" Je vérifie que j'ai bien branché l'appareil, qu'il est bien sur une prise électrique quand je le branche, s'il y a du courant, que l'eau est ouverte, que la circulation suit bien, que la température est bonne...\" (E1, 89/1-5)

➤ **Le contrôle des appareils (instruments) utilisés**

Il y a des contrôles a priori systématiques sur des points sensibles :

" avec les électrodes, y a souvent des bulles d'air ... il y a des points sensibles, on sait qu'il faut aller vérifier ça en premier » (E1, 68/4-6)

mais il y a aussi des précautions pour pallier à des pannes, pas forcément visibles :

" ça peut être un traitement thermique qu'on a cru être le même qui n'était pas même qu'on a pas fait dans le même four ... donc on chauffe à haute température, de l'ordre de 1000, si c'est haut, ça commence 1000, 1200, 1300 degrés Bon on affiche 1000 degrés sur le four, ...l'indication de température se fait à l'aide d'un thermocouple ! ... et si le thermocouple se dégrade au fil des années, au fil du temps donc quand on affiche 1000 degrés, ... mais si on contrôle pas par un autre, la température en fait c'est pas la bonne ..."(E2, 14/16-38)

ou pour tester un appareil :

"..., si on a une structure à déterminer disons, de refaire la même expérience sur un produit de structure voisine pour voir comment on va <...?> la structure du produit (...) donc les produits analogues, enfin de prendre un autre / mettons si on veut étudier une réaction et qu'on a des résultats bizarres, prendre un autre réactif qui va lui ressembler mais pas être exactement pareil, et voir comment se modifient les résultats "(E5, 32/14-23)

➤ **Le contrôle des conditions d'expérience**

On peut distinguer, même si leur contrôle passe souvent par des instruments de mesure, le contrôle des conditions expérimentales, température, pression, atmosphère, pH..., mais aussi d'autres plus spécifiques comme l'orientation de cristaux.

" ...tous les autres contrôles qui se font automatiquement c'est à dire qu'on a bonne température / " (E1, 106/4-5)

" ...c'est parce que les conditions expérimentales ne sont pas bonnes ! ... C'est à dire que la température n'est pas bonne, l'atmosphère à laquelle on fait la manip, la croissance n'est pas bonne, etc. On analyse pourquoi ça marche pas "(E2, 8/41-46)

Les experts parlent souvent des conditions expérimentales sans citer les instruments qu'ils utilisent pour ces contrôles. Certains évoquent ces moyens de les réguler :

"... donc c'est un système avec des lampes donc je vais jouer sur la puissance de lampe donc sur la température, parce que j'ai peut-être pas la bonne température ... je peux jouer sur la vitesse de translation, je peux jouer sur la rotation de deux choses plus et moins vite "(E2, 10/2-7)

II-3- La reproductibilité des résultats

Les critères de vérité (Buscaglia et al, 1983) et de pertinence (Serrero, 1987) passent par l'épreuve de reproductibilité.

Avant toute décision sur la réussite d'une manipulation, le critère de reproductibilité est un critère incontournable :

« ...Bon le problème c'est pas ce soit vrai ou pas vrai, le problème c'est que personne n'est capable de refaire ce qu'il avait fait ! Et ça, en sciences c'est dramatique » (E2, 32/62-64)

La reproductibilité est préalable à tout travail pour l'explication, l'interprétation d'un écart entre un attendu et un obtenu :

" ...déjà on essaie de refaire la manip / dans la première chose qu'on fait c'est de refaire l'expérience pour voir si c'est reproductible !... enfin on essaie de comprendre parallèlement on fait l'expérience pour voir si on obtient le même résultat ... de tester la reproductibilité quand on a quelque chose de bizarre, ça semble la première chose à faire ... "(E5, 32/4-12)

" Est-ce que c'est reproductible ? ... si c'est bien reproductible que je suis sûre du résultat, je peux commencer à réfléchir là-dessus... "(E1, 45/1-3)

Ce critère de reproductibilité est sous-tendu par l'idée que les mêmes causes entraînent les mêmes effets : si les conditions expérimentales sont maîtrisées, le résultat sera reproductible :

" Donc il faut à chaque fois bien noter les conditions ... parce que une fois qu'on les a, après on sait que en mettant les bons paramètres ça va marcher là y a pas de problème ... " (E2, 12/40-43)

" Donc souvent quand ça a pas marché on se dit je mets tout à la poubelle, je refais toutes mes solutions de tampon, je reprends une solution fraîche de réactif, je change mon électrode parce qu'elle est peut-être fêlée ou je ne sais quoi je recristallise tout, je recommence, est-ce que j'ai toujours le même résultat ? si je

trouve le même résultat je commence à me dire c'est sûrement dû à autre chose, que c'est normal, que c'est un vrai résultat, que c'est pas un artefact ... " (E1, 14/1-8)

Mais les conditions expérimentales sont souvent difficiles à maîtriser même dans les situations familières :

" Si on trouve pas, ben on change tout et on se dit je ne sais pas pourquoi ça marche pas ! ... même si c'est une manip de routine, des fois ça marche pas ... " (E1, 70/1-3)

De plus il peut y avoir quelque chose de reproductible mais « faux » :

« mais d'abord si c'est reproductible et que c'est reproductible faux, on n'a pas de raison de s'en apercevoir » (E1, 45/5)

II-4- L'évaluation du résultat

➤ *Reproduction, extension, exploration*

Une grande partie du discours des experts porte sur le résultat obtenu.

C'est donc non pas un contrôle par planification, ni un contrôle des actions en cours d'exécution, ni un contrôle de l'efficacité de l'instrumentation, mais un contrôle sur l'effet obtenu. Selon les situations, ce contrôle est de l'ordre de l'identité entre l'obtenu et l'attendu ou de l'ordre du plausible.

Certains experts (E1 en particulier), distinguent différents types de situations ; d'autres ont une pratique qui ne s'inscrit que dans l'une des situations et n'éprouvent pas le besoin de s'exprimer sur cette distinction.

Nous avons noté reproduction, extension et exploration les trois types que distinguent les experts :

- **la reproduction** est une situation où le résultat attendu est défini (substance ayant des propriétés connues). Il s'agit de reproduire une manipulation pour s'assurer de son résultat (reproductibilité) ;

- **l'extension** est une situation où le résultat attendu n'est pas connu mais doit rester dans des limites prévues:

"soit on fait des manips, disons moyennement originales ça veut dire que par exemple on va tester euh ... je prend un exemple pas forcément dans ma recherche mais bon pour ce soit claire donc on va tester euh... le fluor, alors que tout est déjà connu sur le chlore, on sait que le fluor et le chlore c'est pas très loin, on trouve des résultats très

très différents, on va se poser des questions si / bien que ce soit des manip originales dans un sens qu'on n' a jamais fait"(E1, 8/14-19)

Cette limite sera quand même questionnée :

" Alors c'est sûr que quand on a fait un composé sur un certain protocole et puis qu'on fait un autre composé mais qui est très voisin, je sais pas, si on prend ... par exemple un composé de strontium qu'on a fait un composé de baryum c'est des alcalino-terreux, c'est pas très loin dans la classification, c'est du cousin, donc on peut se dire « bon les conditions de préparation peuvent être à peu près les mêmes ! » ... Donc on va prendre la même chose, mais des fois ça marche pas parce que euh ... c'est vrai que euh ... mais il faut quand même changer peut-être augmenter la température ou j'en sais rien quoi, voilà ... "(E2, 24/75-84)

Le fait que « *la manip ait bien marché* » ne veut pas seulement dire « on a obtenu le résultat (le produit) attendu », mais aussi « on l'a obtenu avec un bon rendement ». On est encore dans une situation d'extension :

"Et quand une manip marche bien, ça veut dire qu'on a le produit mais avec un bon rendement. Ça veut dire que le rendement au lieu d'être de 20%, il est de 90%, on dit que ça marche bien ... "(E6, 16/3-5)

- **l'exploration** est une situation où l'expert cherche au contraire à produire quelque chose de nouveau :

« (...) et après quand on fait les manip originales, soit c'est très très original, on sait pas ce qu'on doit obtenir, donc on sait pas si ça marche ou pas (...)"(E1, 8/11-13)

" Donc la première manip en général ça marche pas ! c'est rare que ça marche au premier coup justement ... Parce que quand on se lance dans l'élaboration de matériaux nouveaux, donc on connaît rien ! ... Parce qu'il est nouveau ! ... "(E2, 8/77-80)

"(...) je regarde, si j'ai toujours les composés de départ ou s'il a commencé à ..., ou si c'est détruit, je ne sais pas, c'est possible ! ... vous voyez, c'est ouvert, je ne sais pas ce que j'attends, j'ai plusieurs hypothèses ..." (E2, 6/28-31)

"il y a des expériences qui sont sur des domaines super nouveaux où on avance un peu en aveugle ... parce que personne n'a jamais travaillé sur le domaine parce que c'est tout nouveau on débute donc là on n'a pas de contrôle vraiment, sauf de voir si c'est bien reproductible, si dans notre tête on arrive à se faire une idée de pourquoi on

obtient tel résultat, mais si c'est nouveau, c'est nouveau, on n'a pas de référence ...
"(E1, 41/2-9)

Selon la situation, les modalités d'évaluation du résultat sont différentes comme nous allons le montrer par la suite, mais le contrôle préventif et le contrôle en continu sont aussi différents :

"ici on fabrique des électrodes, on sait le faire depuis 10 ans, on sait ce qu'il faut mettre, on sait ce qu'on doit obtenir (...)"(E1, 75/2-4)

"ça dépend du type d'expérience ! quand c'est une expérience de / disons du routine, on a des références (...) par exemple quand on fait un étalonnage ... on sait très bien que on doit obtenir tel potentiel quand on trempe le pH-mètre dans telle solution ..."
(E1, 8/1-8)

P. Astier (2003) rappelle que l'activité est situante en ce sens qu'elle fournit cette catégorisation et interprétation des situations nécessaires pour agir.

➤ ***L'identification du produit final***

Le produit obtenu est en général soumis à des analyses (RMN, Chromatographie, spectroscopie UV...) qui confortent et valident d'éventuelles perceptions qui s'appuient sur l'expérience :

" même si je dis « il est bon mon cristal », eh ben oui je vais faire une coupe et puis regarder au microscope ..." (E2, 28/34)

L'expert E4 insiste sur la difficulté de cette identification :

« ...si on ne savait pas, quand on a un produit mais, d'où il vient, on aurait beaucoup de mal à prouver que c'est ça plutôt qu'autre chose (E4,14/19-20)

"..il y a telle et telle apparence, qui est cohérente avec ce que l'on veut obtenir. Dire que c'est ce produit là... ! " (E4, 14/11-12)

II-5- Les ressources pour le contrôle

Les ressources cognitives dont disposent les experts ont été classées en distinguant des « savoirs » et des « pratiques ».

Quatre catégories de savoirs ont été retenues : « savoirs théoriques », « savoirs pratiques », « savoirs techniques » et « savoirs d'expérience ».

En tant que pratique, ont été distingués des « pratiques techniques », des « pratiques sociales » et des « pratiques organisationnelles ».

On été considérés comme relevant de savoirs théoriques (Sthéo) les faits, théories qui constituent les ressources pour raisonner et évaluer, mais aussi ce qui est énonçable, transmissible par le discours.

Ont été considérés comme savoirs pratiques (Spr) ce qui peut néanmoins être énoncé, mais qui ne prend sens, ne se retient, que dans la pratique.

La catégorie savoir d'expérience a été utilisée pour les items faisant explicitement référence à ce qui ne peut pas s'énoncer, ce qui doit être montré, ce qui relève d'une pratique personnelle, et ce qui fait partie des expériences particulières rencontrées, qui sont capitalisées comme ressource et qui construisent l'expertise.

Les évocations de pratiques d'instruments (on utilise ..) ont été notés « Pratique technique » (Ptech).

Les savoirs sur les conditions d'usage d'un appareil ou les limites de réponse ont été classés en « savoir technique » (Stech) ; ils sont parfois d'ordre théorique parfois d'ordre pratique, pas toujours facile à discerner.

Les experts évoquent parfois des « pratiques organisationnelles » (Porg) telles que l'usage d'un cahier de manipulation par exemple.

Les experts rappellent aussi que leur démarche n'est pas individuelle. Ils ont des « pratiques sociales » (Psocio) qui font partie du processus de contrôle.

➤ **Savoirs théoriques**

Ces savoirs sont principalement en jeu dans une situation d' « extension ». Ils permettent de délimiter ce qui est plausible, acceptable :

« est ce que la valeur est correcte ... et semble raisonnable » (E1,35/2-3)

Ils sont mobilisés après un critère de reproductibilité :

« est ce que c'est reproductible... est ce que j'arrive à me faire un modèle » (E1, 45/1-3)

Ce sont des savoirs théoriques généraux :

" donc quand on fait un matériau nouveau, là on est pas censé savoir, enfin quand même on connaît un peu de chimie...! "(E2, 24/11-12)

" On peut pas dire j'ai fait tel composé là donc je fais tel autre c'est pareil, non c'est pas pareil ... Bon y a des familles bien sûr mais euh ... " (E2, 12/32-34)

"(...) je prends un exemple pas forcément dans ma recherche mais bon pour ce soit clair, donc on va tester le fluor, alors que tout est déjà connu sur le chlore, on sait que le fluor et le chlore c'est pas très loin (...)" (E1, 8/15-17)

ou des savoirs théoriques plus particuliers, fait établi et inscrit dans un raisonnement qui le rend compréhensible :

"(...) donc ben il se détruit, ça on sait !, on sait ça ! ... parce que on fait à l'air, on sait que ce composé va se détruire (...)" (E2, 6/41-44)

des savoirs théoriques articulés à des appareils de détection :

"Donc comment est-ce qu'on s'en aperçoit, ben tout simplement parce que, c'est en RMN ... on s'attend .. c'est à dire, on sait déjà presque à l'avance, on connaît presque les signaux qu'on va voir tout simplement parce que la structure de notre molécule est telle qu'on sait que tel pic, tel proton va résonner à tel endroit, a telle forme et donc finalement on sait déjà à l'avance presque les spectres qu'on va voir ..."
"(E3, 20/2-7)

" ce qu'on appelle diffractogramme ... leur fiche d'identité quoi, avec les raies qu'on connaît.... " (E2, 24/37-38)

➤ **Savoirs pratiques**

Les savoirs pratiques ne sont pas issus de la théorie, même s'ils peuvent s'y inscrire.

Ils fonctionnent dans tous les cas de situation, mais sont particulièrement présents dans de situations de « reproduction » :

"Ça dépend du type d'expérience ! quand c'est une expérience de ... disons de routine, on a des références, donc on sait que quelque chose est allé de travers ..."
(E1, 8/1-3)

"... bien que ce soit des manip originales, dans un sens qu'on n'a jamais fait, on a quand même des points de référence, des manip proches." (E1, 8/19-20)

C'est ce qu'il faut connaître pour « suivre » un protocole opératoire avec quelque chance de réussite :

"La chromatographie couche mince, je vous ai dit, il faut le faire proprement ! Bien déposer ces taches, pas très près des bords, par très loin, (E5, 58/1-2)

"... par exemple quand on fait un étalonnage ... on sait très bien que on doit obtenir tel potentiel (...)"(E1, 8/6-7)

"...c'est extrêmement sensible au pH, et malheureusement il faut en mettre beaucoup, et je ne connais aucun bouquin qui dit qu'il faut mettre beaucoup de tampon ! "(E4, 36/36-37)

" On broie..dans un mortier rond, on fait un angle à ... » (E2, 42/9)

"et je ne savais pas à l'époque que dans le dichlorométhane que j'utilisais, même distillé, y avait des traces d'éthanol ...y avait une impureté à l'état de trace, mais qui réagissait très fort avec mon produit ! " (E5, 26, 4-10)

➤ **Savoirs d'expérience**

Les experts disent : « ça s'acquiert au cours du temps », « ça ne s'apprend pas », « ça fait partie des gens, ça s'explique pas », " c'est la pratique qu'on a acquise au cours des années d'expérience."

Ce sont des savoirs qui sont souvent utiles dans le contrôle a posteriori en cas de panne, d'écart entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu.

C'est ce qu'on a déjà rencontré mais qui n'est pas habituel donc qui peut être distingué des savoirs pratiques :

"Par exemple en RMN (...) on trouvera toujours un pic à telle position et ça peut provenir du fait que juste à côté y a une radio, donc des ondes de radio qui interfèrent avec notre onde à nous finalement, par exemple un poste de radio musique tout bête " (E3, 18/9-16)

c'est ce qui marque parce que c'est une expérience vécue :

" et ben quelqu'un qui a de l'expérience il va dire : « t'as pas branché ton électrode derrière le voltmètre » ... quelqu'un qui n'a pas l'habitude il va dire « eh bien je comprends pas, ça ne marche pas » euh. voilà c'est un peu ce genre de choses qui permet de vérifier pourquoi ça ne marche pas, ça s'apprend pas... » (E1, 23/3-6)

"alors que nous, on a déjà eu ce problème, donc on sait d'où ça vient "(E1, 121/4)

"... Si vous voyez dans un ballon du rouge et de la fumée, il faut vite, sans attendre, arrêter la manip et en discuter après. En chimie, il y a beaucoup de risques ! "(E4, 40/12-15)

C'est aussi ce qu'on connaît parce qu'on l'a vu :

"certaines de ces manip de complexiométrie au moment où le pH change, dans le milieu basique ou acide, alors il y a un tout petit changement de couleur (...) quand on sait pas faire, on se dit : ah on est au virage ! mais ce n'est pas du tout la fin du dosage ! ce n'est pas la fin de la manip. Cela est très intéressant, une fois que vous la connaissez bien. "(E4, 36/44-51)

"... Il y avait un liquide et puis il y avait une espèce de flotte blanche sur le récipient. Ça ne ressemblait pas du tout à un savon. "(E4, 16/9-10)

" ... rien qu'à voir, c'est une pastille qui est bleu ou là elle a gardé la même couleur ça a pas bougé, rien qu'à la vue (...)"(E2, 26/3-5)

➤ **Pratique technique**

L'ensemble des experts en chimie organique évoquent les méthodes de caractérisation et des instruments qu'ils utilisent pour contrôler l'évolution :

" je l'ai pesé pour voir s'il y a une évolution dans la masse du composé, c'est pour ça que je vous disais l'autre fois il ne s'est rien passé, je le pesais avant, je le pesais après : rien du tout, et là je le vois "(E2, 6/21-23)

ou pour identifier un produit :

" En chimie organique tu as toujours des carbones, des hydrogènes quelque part, tu auras toujours un spectre d'RMN ... tu auras toujours au moins ça de base, à partir de là, tu n'auras peut-être pas le produit attendu ! " (E1, 58/1-3)

"Ben c'est simple, moi je suis dans le domaine de la synthèse, donc on fait des synthèses des molécules, ensuite on prouve leur structure ... prouver la structure y a plusieurs techniques ... notamment spectroscopiques ... donc une ultraviolet, une infrarouge, notamment la RMN, les rayons X, les co-RMN, "(E3, 10/1-4)

"L'infrarouge, la résonance magnétique nucléaire, la spectrométrie de masse, l'analyse élémentaire ... tout ça permet de connaître la structure du produit ... " (E6, 16/1-2)

" par exemple on fait de la croissance de monocristaux, on sait si ça marche, là c'est une technique qu'on a ... ça se voit, ça c'est rare, c'est étonnant, on voit ce qui se passe ... " (E2, 8/7-10)

➤ *Savoir technique*

Ces savoirs ont trait aux appareils et permettent d'optimiser leur utilisation.

C'est la distinction entre savoir "comment ça marche ?" et savoir "comment faire marcher ?"
(De Montmollin, 1991)

Les précautions pour le bon usage des appareils :

" Dans l' idéal ce sera d'utiliser une thermo-balance, mais on en a bien une mais elle peut pas, elle fonctionne pas sous ce mélange barbare de monoxyde et dioxyde de carbone... " (E2, 28/58-60)

" Ça n'arrive pas qu'on dise, ça mais non ton truc, tu me dis qu'il a telle formule, il est corrosif mais et moi je ne veux pas le passer dans ma RMN parce que ça va tout foutre en l'air "(E1, 59/1-2)

Les limites de détection :

" Par exemple, je vous ai dit on fait des analyses de rayons X pour vérifier la pureté, enfin si on a un composé obtenu ... mais ça donne un résultat jusqu'à un certain pourcentage ... Il peut y avoir des impuretés qu'on voit pas aux rayons X, j'appelle impureté soit une phase parasite, soit effectivement des trucs en plus qui sont / ... et c'est on verra pas. "(E2, 32/18-22)

*« J'ai une électrode qui sait repérer le C12 et le C14, mais pas spécifiquement... »
(E1,61/10-11)*

➤ *Pratiques sociales*

Discussion avec les collègues :

"... et puis il fallait bien savoir d'où ça venait, après ça, j'ai été voir des collègues, je me suis renseigné sur les différentes impuretés qu'il pourrait y avoir, "(E5, 28/4-6)

Via la bibliographie :

« ... Donc la communauté scientifique va être au courant et puis des gens qui travaillent sur le même genre du sujet, avec qui on est en échange ... c'est pas un truc complètement isolé ... (...) ben c'est un contrôle lointain mais c'est un contrôle aussi ... sur la réalité de ce qu'on observe (...)"E2, 32/106-112)

Pour chercher des raisons d'un « échec » :

"(...) bon ben on n'a pas finalement ce produit là ... on a obtenu autre chose, on se pose la question pourquoi, qu'est-ce qui a fait que \ donc on va voir par rapport à la biblio qu'il y a eu dessus (...)"(E1, 9/3-6)

ou pour transformer son échec en réussite :

"C'est pas mal si ce composé n'est pas connu ... Ou bien si la méthode pour l'obtenir est très facile par rapport au produit connu ... donc ce qu'on va faire dans la bibliographie, on va / regarder si ce produit est connu ou pas ... "(E6, 24/4-7)

in fine c'est la communauté scientifique qui validera (Latour 1996) :

"Finalement bon on arrive effectivement à ce que les chimistes se mettent presque d'accord, tout ça finalement une espèce de consensus qui nous permet d'avancer comme hypothèse (...)l'ensemble de la communauté scientifique donc la chimie en l'occurrence soit d'accord pour dire ben voilà c'est de passer par tel chemin. " (E3, 22/37-40)

➤ **Pratique organisationnelle**

Les cahiers de manipulation permettent de vérifier certains points notés :

" on essaie d'être bien soigneux quand on manipule, on marque tout sur son petit cahier"(E1, 27/5-6)

" Oui, pour savoir s'il y a eu une erreur ... des fois en lisant le cahier on voit j'ai pesé 100 g, j'ai pesé 10 g ; ben voilà l'erreur est trouvée ! ... " (E1, 29/1-2)

II-6- L'implication personnelle

Au delà des ressources disponibles, des habitudes, certains experts soulignent l'importance de l'implication personnelle :

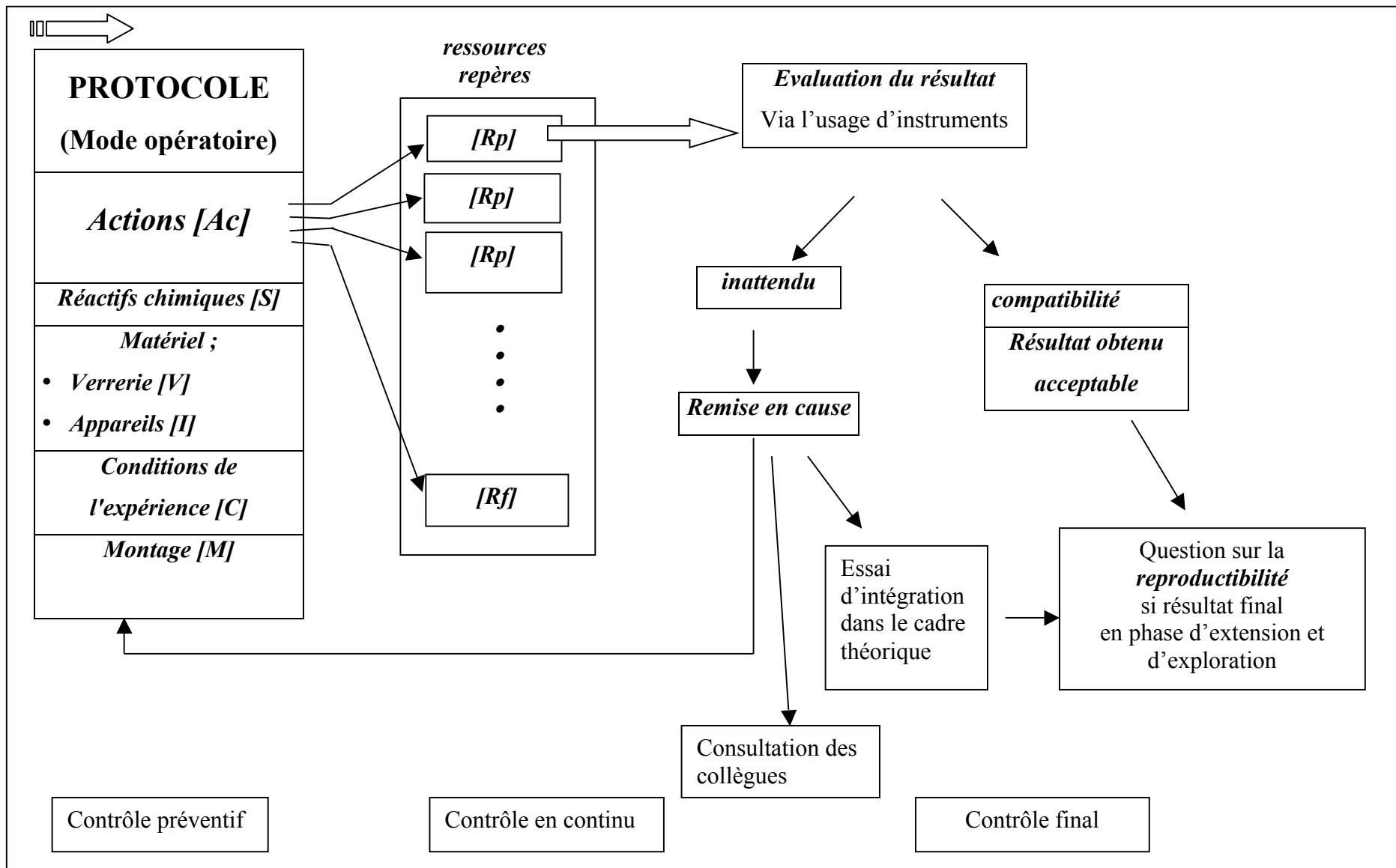
« parce qu'il faut distiller pendant une demi-journée, or ils sont pressés alors que le solvant n'est pas distillé... » (E6, 36/3-4)

« avant de contrôler, ben je dirais il faut déjà être passionné, si on pense pas tout le temps à ce que l'on fait, c'est pas la peine...si on quitte le laboratoire..on pense au film qu'on va voir ce soir à la télé, il vaut mieux changer de métier » (E6, 38/1-4).

II-7- Un schéma d'ensemble de la démarche de contrôle

Le schéma suivant récapitule différents aspects du contrôle par les experts.

Figure 1-4 : Un schéma du contrôle de l'activité



III- L'analyse quantitative des discours des experts

L'ensemble des entretiens a été codé selon les trois dimensions détaillées ci dessus ; les « trois cas de figures », les éléments à contrôler et les ressources mobilisées pour contrôler.

Le tableau 2-2 indique les codages utilisés pour les catégories, le tableau 2-3 précise les codages des sous catégories.

Tableau 2-2 : catégories et codages pour les entretiens des experts

Cas de figure		Eléments à contrôler dans la manipulation		Ressources cognitives	
Rep	Reproduction	R Résultat		S théo	Savoir théorique
Ext	Extension	R1 Compatibilité		S pra	Savoir pratique
Exp	Exploration	R2 Reproductibilité		S exp	Savoir d'expérience
		S	Substances chimiques et naturelles	S tech	Savoir technique
		V	Verrerie	P tech	Pratique technique
		I	Appareils/Instruments	P socio	Pratique sociale
		C	Conditions du déroulement de la manipulation	P org	Pratique organisationnelle

Tableau 2-3 : sous catégories et leur codage pour les entretiens d'expert

Substance chimique et naturelle (S)		Verrerie (V)		Appareil/Instruments (I)		Conditions du déroulement de la manipulation (C)	
S1	Identité, Reconnaissance, Propriété observable	V1	Reconnaissance	I1	Reconnaissance	C1	Température
S2	Pureté	V2	Propreté et état (cassement, etc.)	I2	Etat (Panne, etc.)	C2	Pression

S3	Réactivité	V3	Utilisation correcte de la verrerie	I3	Utilisation correcte de l'appareil/instrument	C3	Temps de réaction
S4	Solubilité	V4	Compatibilité à l'expérience (<i>choix de la verrerie, etc.</i>)	I4	Compatibilité à l'expérience (<i>choix de l'appareil, etc.</i>)	C4	Autres
S5	Quantité	V5	Montage au dispositif expérimental	I5	Montage au dispositif expérimental	C5	Humidité
S6	Instabilité			I6	Ordre de grandeur de mesure	C6	Air
S7	Concentration					C7	Soin
						C8	Atmosphère
						C9	pH (acidité)
						C10	Solvant

Notons tout d'abord que le nombre d'items des entretiens est d'environ 2500 et qu'il varie d'un entretien à l'autre entre environ 120 et 700.

Le tableau 2-4 récapitule les cas de figures repérés dans les discours des experts.

Tableau 2-4 : récapitulatif des items concernant les « cas de figures »

	Rep	Ext	Exp	Total
E1	24	9	17	50
E2	10	27	10	47
E3	0	0	0	0
E4	14	0	0	14
E5	11	11	0	22
E6	3	1	5	9
Total	62	48	32	142
(%)	44%	34%	22%	

Sur l'ensemble des six entretiens, le « cas de figure » a pu être repéré sur cent quarante deux items. Sur ce total, 44% relèvent du cas de figure de type reproduction, 34% du cas de figure

extension et 22% du cas de figure exploration. On remarque que ce sont les deux premiers experts qui citent des cas d'exploration, ce qui correspond à leur domaine d'expertise.

Les experts E4 et E5 dont les propos ont principalement porté sur l'enseignement se situent majoritairement dans un cas de figure « reproduction » avec quelques items classés en cas de figure « extension ».

La tableau 2-5 récapitule ce que les experts contrôlent.

Tableau 2-5 : récapitulatif de ce que les experts contrôlent.

	R	S	V	I	C	Total
E1	54	27	10	24	25	140
E2	47	38	0	11	130	226
E3	14	4	0	0	10	28
E4	28	103	33	18	59	241
E5	34	35	28	29	37	163
E6	22	16	0	1	20	59
Total	199	223	71	83	281	857
(%)	23%	26%	8%	10%	33%	

Dans l'ensemble des entretiens, 857 items sont classables selon cet aspect.

Nous obtenons 199 items ayant trait au résultat, soit 23%, 223 concernent les substances soit 26%, 71 concernent la verrerie soit 8%, 83 concernent les appareils soit 10%, 281 concernent les conditions opératoires soit 33%.

Le tableau 2-6 récapitule des ressources dont les experts disposent.

Tableau 2-6 : récapitulatif des ressources

	Sthéo	Sprat	Sexp	Stech	Ptech	Psocio	Porg	Total
E1	52	61	31	6	17	11	4	182
E2	106	126	8	31	56	26	2	355
E3	48	14	5	8	10	3	0	88
E4	129	113	26	11	24	6	0	309
E5	85	63	1	11	12	6	2	180
E6	28	7	0	1	16	5	1	58
Total	448	384	71	68	135	57	9	1172
(%)	38%	33%	6%	6%	12%	5%	<1%	

Sur l'ensemble des items , 1172 ont trait aux ressources dont les experts disposent pour contrôler leur manipulation. 448 items soit 38% sont des savoirs théoriques, 384 soit 33% sont des savoirs pratiques. 71 items soit 6% ont été considérés comme des savoirs d'expérience. 68 items soit 6% relèvent de la catégorie savoirs techniques.

Nous obtenons 135 items soit 12% en catégorie pratique technique. 57 items soit 5% mentionnent des pratiques sociales et 9 items soit moins de 1% citent des pratiques organisationnelles.

IV- L'apprentissage du contrôle

Deux des experts ont répondu aux questions dans une posture d'enseignant (E4 et E5). Ils ont une grande expérience de la préparation de CAPES.

Les autres experts ont aussi une expérience d'encadrement de stages de licence ou de maîtrise (Reyder et al, 1999).

L'analyse de leur discours permet de repérer ce qu'ils aimeraient voir disponible chez leurs étudiants, mais aussi leur représentation sur ce qui s'apprend et comment on peut l'apprendre.

Tout d'abord E1 rappelle que : *" ils apprennent donc c'est nouveau, ce qu'ils font, pour eux."* (E1, 134/1) même si *"Bien souvent les manipulations qu'on fait avec les élèves elles sont classiques, donc on sait qu'elles marchent ... enfin qu'elles donnent les résultats attendus ...si elles se font dans des bonnes conditions ... "* (E5, 44/13-18). Alors, *" ...ils obtiennent un résultat que nous, on juge bizarre, mais eux, comme ils n'ont pas de référence interne qu'ils se sont faites tout seul ... il ne trouve pas que c'est bizarre, c'est **leur** résultat donc.."* (E1, 132/4-6).

Ils s'expriment peu sur les moments de contrôle :

" ou visiblement ils obtiennent des résultats qui sont quelque fois incohérents ou absurdes, et souvent ils n'ont pas commentaire sur leur copie là-dessus, "(E5, 4/4-5)

« .. ils cherchent pas à vérifier en temps réel que les choses se déroulent comme on peut le prévoir ... "(E5, 4/6-7)

« je pense que ils réfléchissent pas assez à ce qu'ils font, à ce qu'il vont faire ... Du coup ben ... / c'est des petites choses qui pourraient être éliminées. "(E1, 123/4-5)

et pas beaucoup non plus sur le soin.

➤ **Des ressources disponibles**

" Quand ils connaissent déjà le résultat, par exemple quand ils mesurent un pH, ils attendent quelque chose entre 0 et 14, si le pH-mètre leur indique 120 ils ont tout de suite un réflexe de dire « non y a quelque chose qui ne va pas, alors ils ne vont peut-être pas réussir à faire les bonnes vérifications, technique ou produit ou n'importe quoi ...mais ça c'est des ordres de grandeur qui sont bien intégrés. " (E1, 127/1-5)

mais pas toujours bien utilisées :

"Quant à l'évaluation, ils ont fait un joli calcul d'incertitude sur la précision des appareils qu'ils avaient utilisés, alors qu'ils ont travaillé comme des cochons. Même si les appareils ne sont pas précis. " (E4, 12/82-84)

ou non situées d'un point de vue épistémologique :

" les mécanismes réactionnels ! Pour eux, c'est la réalité et ça « détermine » la manip. Ils pensent que la manip est ce qu'elle est. » (E4, 14/34-35)

➤ **Des ressources théoriques non disponibles**

Pour contrôler l'identité des substances a priori :

"Bref, ils m'ont dit qu'ils avaient pris d'huile de paraffine ! C'est un hydrocarbure ! c'est bon pour être huileux, comme apparence. Ça a une apparence huileuse, mais il ne peut jouer la fonction des autres huiles. En plus la paraffine n'est même pas aussi grasse que l'huile de voiture. " (E4, 18/7-11)

pour contrôler la pureté :

"La plupart des élèves ne sont pas conscients qu'il est possible que la saleté de la verrerie pourrait fausser le résultat !" (R1, B. ISIK)

ou pour évaluer le résultat :

"... je veux dire qu'ils soient conscients des limites de ce qu'ils peuvent tirer de leur expérience, de ce que leur expérience montre, de ce que leur expérience ne montre pas "(E5, 10/14)

➤ **Des ressources théoriques non mobilisées**

" ...qui sont prêts à utiliser n'importe quelle électrode avec n'importe quel potentiomètre, ils ne choisissent pas la bonne ! ..."(E4, 12/69-70)

"... je n'ai pas réussi à faire dire au candidat qu'il y avait devant lui une solution colorée, or pour la doser, il fallait passer par cette couleur "(E4, 8/11-12)

" sur l'interprétation des expériences, de cohérence entre leur interprétation et des choses qu'ils connaissent par ailleurs ... mais auxquelles ils pensent pas à se référer ... » (E5, 6/1-3)

➤ **Des ressources pratiques non disponibles**

sur la pureté des produits :

".. Qu'il soit bien pur ... c'est-à-dire qu'il l'a bien distillé, et que si le produit est jaune, alors qu'il aurait dû être incolore... il est impur et ainsi de suite ... "(E6, 20/12-15)

sur le dispositif expérimental :

"... le chauffage, dans le chauffe ballon il doit être fixé au réfrigérant, s'il n'est pas fixé / "(E5, 22/32)

".. ils ne vérifient pas qu'il n'y a pas de bulles dans les électrodes, ils viennent voir en disant : je comprends pas, ça marche pas ; on arrive, on se penche, y a une grosse bulle y a pas de contact électrique, donc ça marche pas ... ou ils arrivent, ils disent je comprends pas ça se refroidit pas ; tu vas leur dire ben vous n'avez pas allumé l'eau du réfrigérant ... donc ces petits contrôles techniques ils font pas ... ça arrive peut-être à tout le monde. "(E1, 114/11-17)

qui s'apprendront par la pratique :

" Ils peuvent pas savoir ça conduira à cette erreur, que ça conduira à ce qu'on va obtenir, à ce qu'on veut ou ce qu'on attend ... alors que nous, on a déjà eu ce problème, donc on sait d'où ça vient " (E1, 121/1-2)

"Les échec sont aussi très utiles ! A condition de les analyser, avec une participation vivante et engagée, pour voir ce qu'on aurait pu faire, à constater que, peut-être que l'on a fait tout ce qu'il fallait. "(E4, 30/2-6)

➤ **Des routines non installées**

"Ils oublient de vérifier que le solvant a été bien purifié ... oui, parfois parce que ça prend du temps ... alors euh ils oublient de distiller le produit. Les chercheurs sont des êtres humains, comme tout le monde ... "(E6, 36/1-9)

➤ ***Des savoirs d'expérience pas encore construits***

" Parce qu'il a moins souvent fait des expériences ou des manips, moins parlé avec ses collègues, il a moins d'idées de ce qu'on doit obtenir ... il a moins d'ordres de grandeur dans la tête par exemple" E1, 19/1-4)

➤ ***Des adaptations pas encore possibles***

" Ou bien y a un mode opératoire qui a l'air bien fait etc, Donc on fait exactement ce qu'il faut, on ne réfléchit pas, Si on n'a pas assez de produits, nous-mêmes, on peut prendre la moitié, tout diviser par deux, "(E4, 12/31-34)

"... Je n'avais pas chauffé, parce que l'on ne me disait pas de chauffer ! Bon j'ai recommencé en vitesse, sans vraiment peser, j'ai remis à peu près les mêmes doses, mais en chauffant moi-même, parce que ça ne voulait pas chauffer tout seul » (E4, 24/12-21)

V- Conclusion

Dans les entretiens avec les experts nous avons pu repérer des moments particuliers de contrôle : contrôle préventif, contrôle a posteriori après obtention d'un résultat, mais aussi contrôle « en continu ».

Le contrôle est routinier, intégré dans la pratique ; il porte sur les éléments communs à toute manipulation en chimie, ou bien ils sont spécifiques d'un type de manipulation sur lequel le chimiste est expert.

L'évaluation du résultat est systématique, instrumenté. La reproductibilité est un critère essentiel avant toute tentative d'interprétation ou de validation.

Cette évaluation du résultat s'inscrit dans trois cas de figure : reproduction, extension, exploration. Selon le cas, les moyens de contrôle et les décisions qui en découlent ne sont pas les mêmes. Nous avons pu distinguer dans l'analyse des discours différents types de ressources que mobilisent les experts, et qui peuvent donner lieu à des comparaisons avec ce qui est fourni aux élèves dans les protocoles opératoires.

Chapitre 3 : Capacités expérimentales des élèves au niveau du baccalauréat d'enseignement général de la chimie

I- Capacités – compétence

Les entretiens avec les chimistes nous ont permis de repérer ce qu'ils disent contrôler au cours de leur activité (résultat final mais aussi contrôle au cours de l'activité) et de distinguer les ressources dont ils disposent pour assurer ce contrôle.

En tant qu'enseignant ou en tant que maître de stage, ils nous ont indiqué quelles sont les compétences des étudiants (étudiants de CAPES ou étudiants de licence ou maîtrise), ce qu'ils contrôlent, les ressources qui leur manquent, celles dont ils disposent, celles qu'ils mobilisent. Dans ce chapitre, nous allons analyser les épreuves de « capacités expérimentales » auxquelles sont soumis les élèves au baccalauréat.

Perrenoud (1997) pense qu'il n'y a pas de définition claire et partagée du terme « compétences ». Pour lui, la compétence est « une capacité d'agir efficacement dans un type défini de situation, capacité qui s'appuie sur des connaissances mais ne s'y réduit pas. Les compétences que manifestent ces actions ne sont pas elles mêmes des connaissances ; elles utilisent, elles intègrent elles mobilisent des connaissances ». La compétence s'acquiert, « ce n'est pas une virtualité de l'espèce ».

Pour Roegier (2001), la capacité est le pouvoir, l'aptitude à faire quelque chose, c'est une activité qu'on exerce. La compétence mobilise différentes capacités et différents contenus.

Pour Leplat (1991c) la compétence est d'un point de vue opérationnel : « la tâche et la classe de tâches que le sujet sait réaliser », mais aussi, d'un point de vue cognitif « un système abstrait sous tendant la performance ». Finalement il retient « un système de connaissances qui permettra d'engendrer l'activité répondant aux exigences des tâches d'une certaine classe ».

Le Boterf (1994) définit la compétence comme un savoir-agir, c'est à dire un savoir intégrer, mobiliser et transférer un ensemble de ressources (connaissances, savoirs, aptitudes, raisonnement, etc...) dans un contexte donné pour faire face aux différents problèmes rencontrés ou pour réaliser une tâche.

Selon De Ketele (1996), la compétence est un ensemble ordonné de capacités (activités) qui s'exerce sur des contenus dans une catégorie donnée de situations pour résoudre des problèmes posés par celles-ci.

Roegier (2001) définit la compétence comme la possibilité pour un individu de mobiliser de manière intériorisée un ensemble intégré de ressources en vue de résoudre une famille de situations problèmes.

En analysant ces épreuves nous cherchons à repérer quelle est la compétence expérimentale des élèves et dans quelle mesure cette compétence intègre le contrôle de l'activité.

L'élève est dans cette situation plutôt un exécutant d'un protocole opératoire qui lui est fourni comme tâche à effectuer. Cette tâche fait partie d'un ensemble de tâches mettant en œuvre des « capacités » qui sont donc considérées comme « relevant de sa compétence » en fin de lycée donc susceptible d'être évaluées.

L'évaluation qui est faite est émiettée en « capacités » que l'enseignant doit évaluer, mais les actions correspondantes sont intégrées dans un protocole qui a un début et une fin ; il ne s'agit pas d'une évaluation de gestes, un par un, hors contexte, mais d'une évaluation d'un ensemble de gestes permettant la conduite de la manipulation. Il ne s'agit pas d'une évaluation par objectifs. L'évaluation est ici finale, certificative puisqu'elle participe d'une évaluation délivrant un diplôme. Elle est parfois critériée (absence de poudre sur le plateau de la balance comme critère de pesée correcte).

Les élèves disposent de « ressources » ; celles qui sont nécessaires dans ces épreuves sont plus de l'ordre des savoirs pratiques que des savoirs théoriques, ou de savoirs expérimentaux de l'ordre des démarches de planification de l'action ou du traitement de données, ceux-ci pouvant être testés par l'épreuve écrite (A. Dumas-Carré, C Larcher (1986)). Ce qui est testé ce n'est pas des savoirs sur l'action, ou pour l'action tels que ceux énoncés par les experts, mais des gestes, des savoirs en actes (savoir choisir par exemple un élément de verrerie, un indicateur coloré), des savoirs-faire, des pratiques organisationnelles.

II- L'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat

II-1- La mise en place de l'épreuve

En 1996 une expérimentation a été menée concernant l'évaluation des capacités expérimentales des élèves de terminale S en physique chimie. Tous les élèves de deux académies (Académie de Lyon et Clermont-Ferrand) ont subi une épreuve en laboratoire de 45 minutes. Un ensemble de sujets avait été préparés par un groupe ministériel (GRIESP) sous l'autorité de la DESCO (Direction de l'enseignement scolaire) et adressés aux lycées qui devaient proposer aux élèves au moins 5 sujets de physique et 5 de chimie. Chaque élève tirait au sort son sujet. Un évaluateur avait en charge quatre élèves, pas forcément sur le même sujet, et devait remplir pour chaque élève une fiche d'évaluation associée au sujet, qui indiquait quoi observer, éventuellement à quel moment de la manipulation, et combien de points devait être affectés à chaque item d'évaluation.

Cette évaluation était exclusivement centrée sur des capacités manipulatoires et techniques des élèves dans les manipulations.

Cette expérimentation poursuivie pendant quelques années a conduit en 2001 à une généralisation obligatoire en sciences physique mais envisagée également en SVT ; tous les candidats au baccalauréat S sont actuellement soumis à une telle épreuve. La banque de sujets de sciences physiques, parmi lesquels les lycées doivent choisir, comporte actuellement une centaine de sujets.

Cette démarche d'inscription d'une épreuve obligatoire d'évaluation des compétences expérimentales au baccalauréat visait en particulier à inciter les enseignants à faire pratiquer des manipulations à leurs élèves en cours d'année ; le travail de laboratoire, s'il n'est pas évalué, est en effet trop souvent évité au profit d'exercices plus « rentables » par rapport au baccalauréat.

Un effet d'entraînement d'une classe à l'autre en amont (de terminale à première, puis à la classe de seconde) peut être espéré, permettant une acquisition progressive de compétences manipulatoires, techniques, expérimentales, pour peu que la progressivité de tels apprentissages soit pensée et organisée.

C'est à cet aspect curriculaire de l'acquisition progressive de capacités de contrôle de l'activité par les élèves eux-mêmes que nous nous sommes intéressés.

L'ensemble des sujets rassemblés dans le fascicule édité en décembre 1999 sous la responsabilité de la Direction des Lycées et collèges a été analysé pour repérer ce qui était considéré comme devant être acquis, donc évaluable, en fin de formation secondaire dans un lycée d'enseignement général : quelles sont les attentes institutionnelles en ce qui concerne les capacités expérimentales des élèves ?

Ces « capacités » évaluées sont catégorisées de telle sorte qu'une comparaison avec les capacités repérées dans les discours des chimistes interrogés, lorsqu'ils parlent du contrôle qu'ils exercent sur leur activité, soit possible, en discutant les limites d'une telle comparaison. Dans le chapitre suivant, seront présentées les analyses de manuels de seconde, première et terminale scientifiques pour rechercher quelle progression est envisagée pour que ces capacités soient effectivement acquises en fin de parcours.

II-2- Présentation du matériel d'évaluation des capacités expérimentales

Chacun des quinze sujets de chimie, comme ceux de physique, comporte 6 fiches :

Fiche 1 : Descriptif du sujet ; destiné aux professeurs

Fiche 2 : Liste de matériel ; destinée aux professeurs et au personnel de laboratoire

Fiche 3 : Enoncé ; destiné au candidat (= Protocole opératoire)

Fiche 4 : Document réponse du candidat ; destiné au candidat puis remis à l'évaluateur

Fiche 5 : Grille d'observation ; destinée au professeur

Fiche 6 : Barème ; destiné aux professeurs

Les fiches 1 et 2 sont destinées aux professeurs pour le choix et la préparation des épreuves. Elles permettent de vérifier la compatibilité avec le matériel disponible dans l'établissement, donnent des indications précises sur l'étiquetage des flacons, les quantités à prévoir pour huit postes de travail ainsi que des remarques et conseils pour la préparation du poste de travail.

La fiche 3 est celle qui est fournie à l'élève. Elle indique la tâche à effectuer, découpée en items assez courts.

Elle comporte également des indications de moments spécifiques codés : « !!! appeler le professeur ». Ces moments permettent au professeur d'effectuer des vérifications qui seront « effacées » par la suite de la manipulation, ou des vérifications qui évitent à l'élève de

s'engager plus avant dans une voie erronée, ou encore de voir l'élève mettre en œuvre une action particulière qui risquerait de passer inaperçue.

La fiche 4 est rendue, renseignée par l'élève, en fin de manipulation ; elle comporte les résultats obtenus et éventuellement leur traitement.

La fiche 5 est opérationnelle pour le professeur ayant à surveiller 4 élèves ; elle permet de coder, à la volée, des informations relatives à chaque élève. Elle est structurée en différents groupes d'observables concernant l'utilisation d'un matériel, les précautions prises, les gestes, l'organisation générale... Elle indique le nombre de points maximum à attribuer à chaque item.

La fiche 6 prend en compte les résultats liés à la fiche 4 rendue par l'élève et somme les points attribués in situ et les points attribués sur la fiche 4.

Les fiches 5 (grilles d'observation) et les fiches 3 (protocoles élèves) des épreuves de chimie de l'année 1999 sont rassemblées respectivement en annexes 3-1 et 3-2.

Les analyses ont principalement porté d'une part sur les grilles d'évaluation (fiches 5), d'autre part sur les protocoles fournis aux élèves (fiches 3).

Elles ont aussi porté sur les fiches 2 de façon à repérer le matériel et les substances (et les concentrations de leurs solutions) les plus fréquemment utilisées dans cette épreuve. Ceci sera comparé dans le chapitre 4 avec les listes de référence élaborées à partir de l'analyse des manuels .

III- Quelles sont les « capacités » évaluées ?

L'ensemble des fiches 5, « grille d'observation destinée au professeur » que nous avons analysées, est en annexe 3-1.

L'analyse des grilles d'évaluation a conduit d'une part à repérer quantitativement ce qui était évalué, ce que les élèves doivent savoir contrôler en fin de parcours de lycée.

Le tableau de l'annexe 3-3 donne le panorama des capacités évaluées pour l'ensemble des sujets analysés.

Ce tableau est organisé en séparant (première colonne) les capacités qui relèvent des « techniques chimiques », celles qui relèvent de l'usage et l'utilisation de « la verrerie », celles qui mettent en œuvre des « instruments », celles qui relèvent de l'« organisation » selon les critères détaillés ci dessous.

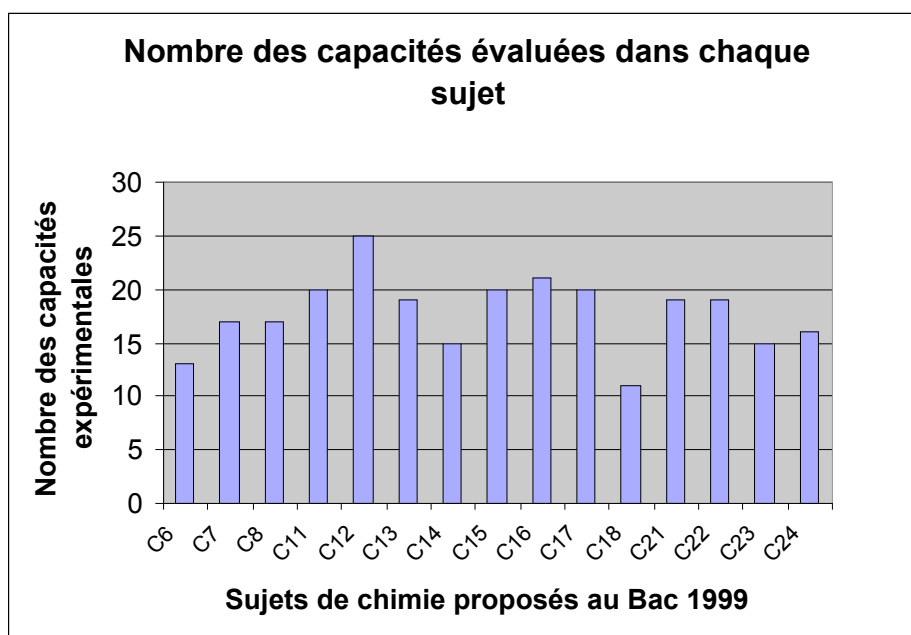
La colonne 2 récapitule les « capacités » évaluées dans les différents sujets, telles qu'elles sont indiquées dans la grille dont dispose l'évaluateur.

La colonne 3 est découpée en autant de colonnes que de sujets de chimie analysés et permet de repérer quels sont les items qui reviennent dans les différents sujets.

Une première analyse permet d'avoir un panorama quantitatif global des capacités évaluées par sujet.

Le nombre des capacités expérimentales évaluées dans chaque sujet varie entre 11 et 25 (Tableau 3-1). On évalue dans chaque sujet, en moyenne, 18 capacités expérimentales (items) (chiffre exacte, $267/15 = 17,8$) au baccalauréat 1999.

Tableau 3-1: nombre des capacités expérimentales évaluées dans chaque sujet au Baccalauréat 1999



Une analyse plus fine vise à repérer sur quoi porte l'évaluation en distinguant quatre grandes catégories : « techniques chimiques », « verrerie », « instruments », « organisation ».

III-1- Catégorie techniques chimiques

Dans la catégorie « techniques chimiques » apparaissent les items que nous désignons aussi comme « observables », qui ont trait à des activités génériques de dosage, pesée, dilution, chromatographie, chauffage, filtration, test de dioxygène, préparation d'une solution de soude, séchage.

Les items d'évaluation apparaissent parfois une seule fois dans un seul sujet (utilisation du témoin, taille des microgouttes). D'autres reviennent sous des formes un peu différentes (précision du volume équivalent, incrément petit autour de l'équivalence), d'autres enfin apparaissent dans plusieurs sujets (agitation du mélange, choix du matériel de dilution, chauffage correct de la préparation).

Ces items sont formulés soit en terme d'action (agitation du mélange, utilisation d'une spatule), soit en terme de résultat observable validant tout un ensemble d'actions préalables (BBT vert). Ils comportent parfois un qualificatif (tarage correctement effectué, lecture correcte, choix judicieux), ou une indication concernant le geste effectué (taille des microgouttes, transvasement du solide sans perte). Dans certains cas (utilisation d'une spatule), l'item formulé ne précise pas si l'évaluation porte sur le geste ou sur la qualité du geste.

La préparation de la soude (sujet C18) et le séchage du savon (sujet C18) ont été mises dans cette catégorie. La préparation de la soude renvoie à tout un ensemble d'actions et est évaluée globalement. Le séchage du savon entre deux morceaux de papier filtre est prescrit aux élèves.

Le tableau 3-2 regroupe les items (observables) de la catégorie « techniques chimiques » rencontrés en précisant le sujet (ou les sujets) où ils apparaissent. Dans certains cas, cet item correspond à une indication explicite dans le protocole d'élève, auquel cas, le contrôle de l'activité n'est pas à la charge de l'élève. Les numéros des sujets où il en est ainsi sont en gras et soulignés dans le tableau. Si le protocole ne comporte pas cette indication cette capacité peut donc être une action « incorporée » par l'élève.

Dans la colonne de gauche de chacun des tableaux figure le nombre d'items apparaissant dans l'ensemble des sujets pour chacune des catégories considérées. Il permet de comparer les poids des différentes catégories.

Tableau 3-2 : les « techniques chimiques » évaluées

	ITEMS (Capacités évaluées)	N° de sujet
<p>1. Dosage Nombre d'items : 14 Nombre d'apparitions : 24 Évalués dans 9 sujets</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation des 2 dosages (un rapide, un soigné) - Utilisation du témoin - Précision du volume équivalent (évalué par exemple avec un ajout de solution acide), - Bonne appréciation de l'équivalence - Lecture de V_E - Agencement de l'ensemble du dispositif, - BBT vert - Obtention de l'équivalence - Incrément petit autour équivalence - Réglage au goutte à goutte dans la zone sensible, - Réglage du débit - Agitation du mélange - Agencement correct de la burette au dessus du bécher - Utilisation du papier pH 	<p>8</p> <p>8</p> <p>8</p> <p>22</p> <p>21</p> <p>21</p> <p>21</p> <p>21</p> <p>15</p> <p>12-22</p> <p>16</p> <p>7-11-15-17</p> <p>7-11-12-15-17-22</p> <p>12-22</p>
<p>2. Pesée (prélèvement de l'échantillon) Nombre d'items : 7 Nombre d'apparitions : 12 Évalués dans 3 sujets</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'une spatule - Utilisation d'une feuille de papier ou d'une coupelle - Tarage correctement effectué - Pesée correcte (pas de poudre sur le plateau) - Lecture correcte (de la balance) - Transvasement du solide sans perte - Utilisation de la balance 	<p>12-23</p> <p>12-23</p> <p>12-23</p> <p>12</p> <p>12-23</p> <p>12-23</p> <p>13</p>
<p>3. Dilution Nombre d'items : 2 Nombre d'apparitions: 4 Évalués dans 4 sujets</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Choix judicieux de l'ensemble fiole + pipette pour la dilution - Choix du matériel de dilution 	<p>13</p> <p>11-16-24</p>

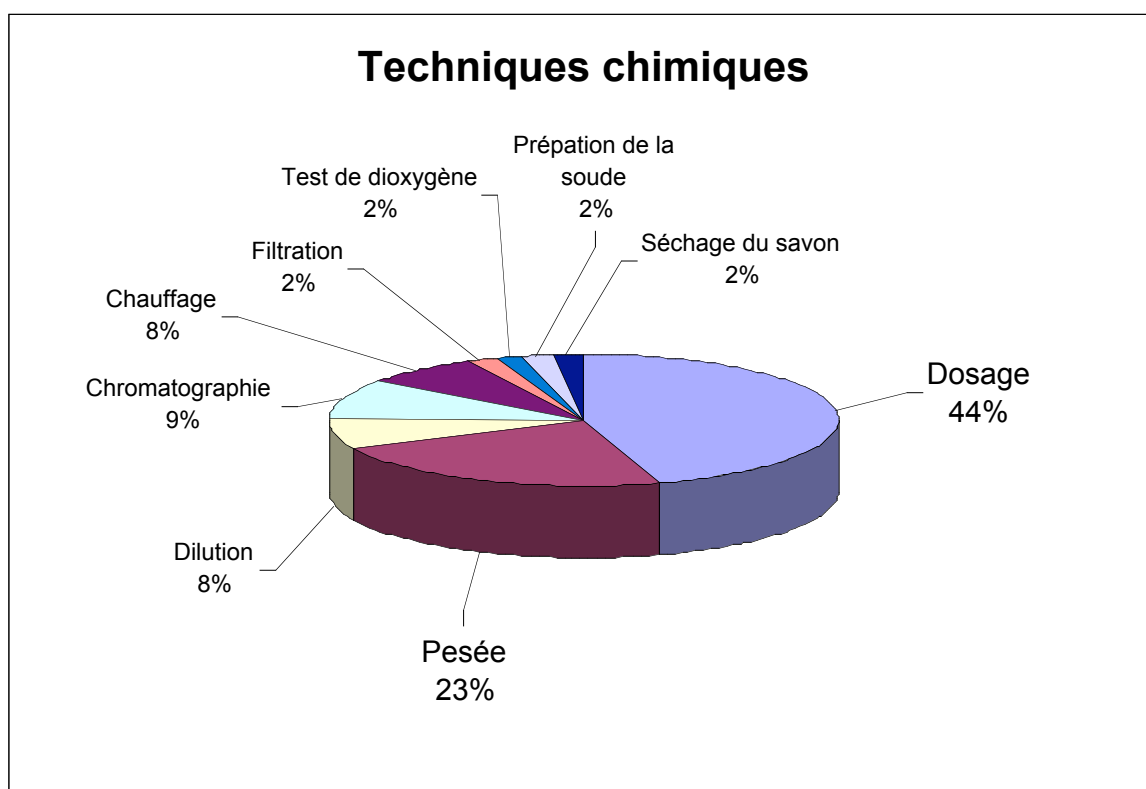
4. Chromatographie	- Soins - Gants	14
Nombre d'items : 5	- Utilisation du crayon à papier	14
Nombre d'apparitions: 5	- S, O et L bien placés	14
Évalués dans 1 sujet	- Taille des microgouttes	14
	- Changement de pipette Pasteur après chaque prélèvement	14
5. Chauffage	- Allumage correct du bec Bunsen	6-18
Nombre d'items : 2	- Chauffage correct de la préparation	6-18
Nombre d'apparitions: 4		
Évalués dans 2 sujets		
6. Filtration	- Filtration	18
Nombre d'items : 1		
Nombre d'apparitions: 1		
Évalués dans 1 sujet		
7. Test de dioxygène	- Test de dioxygène	6
Nombre d'items : 1		
Nombre d'apparitions: 1		
Évalués dans 1 sujet		
8. Préparation de la soude	- Préparation de la soude	18
Nombre d'items : 1		
Nombre d'apparitions: 1		
Évalués dans 1 sujet		
9. Séchage du savon	- Séchage du savon	18
Nombre d'items : 1		
Nombre d'apparitions: 1		
Évalués dans 1 sujet		

La figure 3-1 montre la répartition des différentes « techniques chimiques » évaluées dans les fiches n°5. Les capacités expérimentales qui ont trait à la technique chimique « dosage » sont les plus évaluées (44%), à peu près la moitié. Les capacités expérimentales qui ont trait à la pesée (prélèvement de l'échantillon) représentent 23%. Viennent ensuite les capacités expérimentales ayant trait à la technique chimique « chromatographie » avec 9%.

La capacité « agencement correct de la burette au dessus du bécher » qui a trait à la catégorie « dosage » est la capacité la plus évaluée (6 fois sur 15 sujets).

La plupart des techniques chimiques nécessitent du matériel plus ou moins complexe (verrerie, appareils/instruments, etc.). Mais dans certaines techniques chimiques, on n'a pas besoin du matériel. Par exemple ; si on considère le « séchage d'un produit chimique » comme une technique chimique, « sécher un produit sur une papier filtre sous le soleil » ne nécessite pratiquement aucun matériel. Par ailleurs, dans un « dosage pH-métrique d'une solution préparée », le matériel est omniprésent : burette, pipette, pH-mètre, etc. De ce fait, on peut dire que l'évaluation des capacités relatives au « dosage pH-métrique » implique l'évaluation de l'usage de la burette ou du pH-mètre aussi.

Figure 3.1 : Répartition des techniques chimiques évaluées



III-2- Catégorie Verrerie

Sept éléments de verrerie apparaissent dans les protocoles et font en général objet d'évaluation : pipette (12 sujets), fiole (9 sujets), burette (9 sujets), éprouvette (3 sujets), ampoule à décanter (1 sujet), tube à essai (1 sujet), bécher (utilisé mais ne faisant l'objet d'aucun item d'évaluation).

Les items concernent la propreté (rinçage de la pipette, rangement des tubes sur le support), la précision (réglage des niveaux, ajustage du zéro), la prévention de dysfonctionnement (absence de bulle d'air, réglage de débit), des gestes techniques (rinçage à l'eau ou avec la solution à utiliser, utilisation d'un système de pipetage, bouchon retiré quand on fait couler). Là aussi les items sont formulés soit en terme d'action (rinçage) soit en termes de résultat (obtention du précipité, ordre de grandeur du volume obtenu), éventuellement avec un qualificatif (lecture correcte du niveau, manipulation correcte de l'ampoule à décanter).

Le tableau 3-3 regroupe les items de la catégorie « verrerie ».

Tableau 3-3: l'usage de la « verrerie » évalué

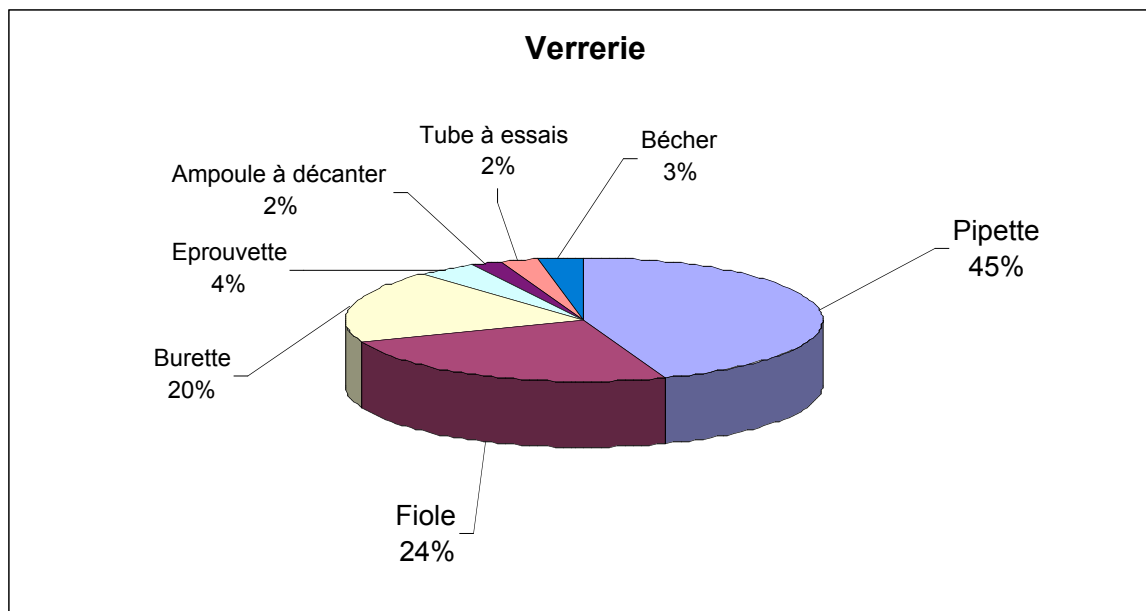
	ITEMS (Capacités évaluées)	N° de sujet
1. Pipette Nombre d'items : 5 Nombre d'apparitions:57 Évalués dans 12 sujets	<ul style="list-style-type: none"> - Pipetage à partir d'une petite quantité préalablement versée dans un bécher, - Rinçage de la pipette avec la solution à prélever (Rinçage avec un peu de solution) - Utilisation d'un système de pipetage (propipette...) - Démontage du système de pipetage - Pipetage correct 	7-8-11-12-13-14-15-16-17-21-22-24 7-8-11-12-13-16-17-21-22-24 7-8-11-12-13-14-15-16-17-22-24 7-8-11-12-13-14-15-16-17-21-22-24 7-8-11-12-13-14-15-16-17-21-22-24
2. Fiole Nombre d'items : 5 Nombre d'apparitions:31 Évalués dans 9 sujets	<ul style="list-style-type: none"> - Rinçage - Ajustage au trait de jauge - Ajout d'eau distillée - Agitation - Homogénéisation 	11-12-13-15-16-22-24 11-12-13-15-16-21-22-23-24 11-12-13-16-23-24 11-12-13-15-21-22-23 16-24
3. Burette	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en service : Rinçage avec la solution utilisée 	6-7-8-15-16-21

Nombre d'items : 4 Nombre d'apparitions:25 Évalués dans 9 sujets	- <i>Ajustage du zéro</i> - <i>Absence de bulle d'air...</i> - <i>Lecture correcte du niveau</i>	7-8-11-12-15-21-22 7-8-11-12-21-22 6-7-11-12-15-22
4. Éprouvette Nombre d'items : 5 Nombre d'apparitions : 6 Évalués dans 3 sujets	- <i>Utilisation correcte des éprouvettes graduées</i> - <i>Choix pertinent de l'éprouvette à utiliser, choix de la contenance.</i> - <i>Réglage du niveau</i> - <i>Lecture correcte du niveau (pas d'erreur de parallaxe)</i> - <i>Mesure des volumes à l'éprouvette</i>	6 6-17 6 17 18
5. Ampoule à décanter Nombre d'items : 3 Nombre d'apparitions: 3 Évalués dans 1 sujet	- <i>Manipulation correcte</i> - <i>Bouchon retiré quand on fait couler</i> - <i>Ordre de grandeur du volume obtenu</i>	14 14 14
6. Tubes à essais Nombre d'items : 3 Nombre d'apparitions: 3 Évalués dans 1 sujet	- <i>Rangement des tubes sur le support</i> - <i>Respect des quantités de réactifs</i> - <i>Obtention du précipité</i>	24 24 24
7. Becher Nombre d'items : 3 Nombre d'apparitions: 4 Évalués dans 4 sujets	- <i>Agitation du mélange</i> - <i>Transvasement correct de la solution dans les deux bêchers</i> - <i>Disposition des témoins</i>	8-18 22 16

La figure 3.2. montre la répartition des capacités expérimentales évaluées dans les fiches n°5 qui ont trait à la verrerie. Les capacités expérimentales qui ont trait à la pipette, à la fiole et à la burette sont les capacités les plus évaluées (au total, 89%) dans cette catégorie. Celle qui

ont trait à la pipette représentent à elle seules (avec 45%) de la verrerie. Les capacités « Pipetage à partir d'une petite quantité préalablement versée dans un bécher, », « Démontage du système de pipetage » et « Pipetage correct » sont évaluées dans 80% des sujets disponibles (dans 12 sujets sur 15).

Figure 3-2. Répartition de la verrerie utilisée



III-3- Catégorie « appareil et instruments »

Au cours de ces épreuves, l'usage du pH mètre, du spectrophotomètre, de l'électrolyseur, de l'agitateur magnétique et des modèles moléculaires sont prévus dans l'un ou l'autre des sujets. Les items sont en général spécifiques (immersion des électrodes, manipulation des cuves-remplissage et préhension, sélecteur en alternatif). Mais lors de l'usage de l'appareil apparaissent aussi des items moins spécifiques (montage correct, agitation du mélange.) rencontrés à d'autres occasions. Ces items peuvent correspondre à des consignes explicites (numéro de sujet souligné en gras) ou au contraire être considérées comme n'étant plus à expliciter.

Tableau 3-4 : l'usage évalué de « appareils/instruments »

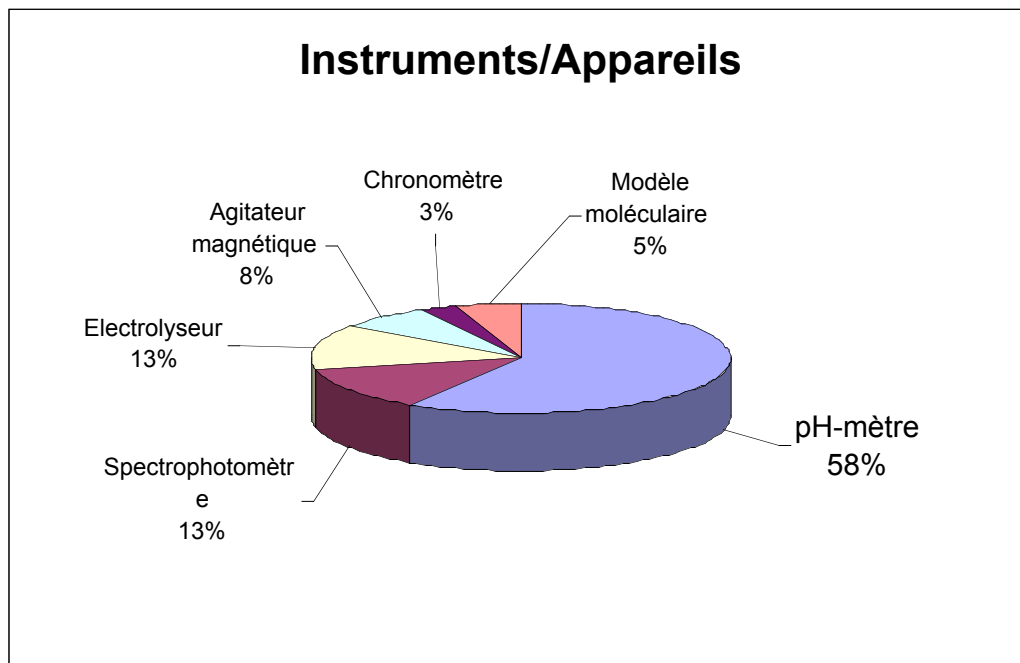
	ITEMS (Capacités évaluées)	N° de sujet	prescrit oui/non
1. pH-mètre	- <i>Étalonnage du pH-mètre :</i>	7-11-13-17	

<p>Nombre d'items : 7</p> <p>Nombre d'apparitions:23</p> <p>Évalués dans 7 sujets</p>	<p>- <i>Rinçage des électrodes</i></p> <p>- <i>Séchage (des électrodes)</i></p> <p>- <i>Immersion des électrodes</i></p> <p>- <i>Lecture</i></p> <p>- <i>Agitation du mélange</i></p> <p>- <i>Utilisation d'indicateurs colorés</i></p>	<p>7-11-13-15-16-17- 16-24</p> <p><u>7-11-13-15</u>-16-17</p> <p>16-24</p> <p>13</p> <p>13</p>	<p>Oui</p>
<p>2. Spectrophotomètre</p> <p>Nombre d'items : 5</p> <p>Nombre d'apparitions: 5</p> <p>Évalués dans 1 sujet</p>	<p>- <i>Utilisation correcte de l'appareil</i></p> <p>- <i>Manipulation des cuves: remplissage et préhension</i></p> <p>- <i>Organisation du démarrage de l'expérience</i></p> <p>- <i>Capacité à faire la lecture à l'instant demandé</i></p>	<p>17</p> <p><u>17</u></p> <p><u>17</u></p> <p><u>17</u></p>	<p>Oui</p> <p>Oui</p> <p>Oui</p>
<p>3. Électrolyseur</p> <p>Nombre d'items : 5</p> <p>Nombre d'apparitions: 5</p> <p>Évalués dans 1 sujet</p>	<p>- <i>Montage correct</i></p> <p>- <i>Électrolyseur convenablement rempli</i></p> <p>- <i>Ampèremètre : sélecteur en alternatif calibre convenablement choisi</i></p> <p>- <i>Électrolyseur rincé entre chaque mesure</i></p>	<p>23</p> <p><u>23</u></p> <p>23</p> <p>23</p>	<p>Oui</p>
<p>4. Agitateur magnétique</p> <p>Nombre d'items : 2</p> <p>Nombre d'apparitions: 3</p> <p>Évalués dans 3 sujets</p>	<p>- <i>Agitateur magnétique</i></p> <p>- <i>Utilisation correct du système d'agitation</i></p>	<p>16</p> <p>12-22</p>	
<p>5. Chronomètre</p> <p>Nombre d'items : 1</p> <p>Nombre d'apparitions: 1</p> <p>Évalués dans 1 sujet</p>	<p>- <i>Utilisation du chronomètre</i></p>	<p>17</p>	
<p>6. Modèles moléculaires</p> <p>Nombre d'items : 2</p> <p>Nombre d'apparitions: 2</p> <p>Évalués dans 1 sujet</p>	<p>- <i>Molécule conforme</i></p> <p>- <i>Énantiomères</i></p>	<p><u>8</u></p> <p><u>8</u></p>	<p>Oui</p> <p>Oui</p>

La figure 3-3 montre la répartition des capacités expérimentales évaluées dans les fiches n°5 qui ont trait aux instruments/appareils. Celles qui concernent la sous-catégorie « le pH-

mètre » sont les plus évaluées, avec plus de la moitié des items. Ensuite, les capacités qui concernent « spectrophotomètre » et « électrolyseur » représentent 13%. Dans la catégorie « instrument/appareil le « Rinçage des électrodes » est évalué 8 fois sur 15 sujets.

Figure 3-3. Répartition des instruments/appareils utilisés



III-4- Catégorie organisation

Sont rassemblés dans cette catégorie des items correspondants à des capacités générales telles que « repérage de récipients », « propreté de la zone de travail » qui dénotent une habitude de travail de labo.

Tableau 3.5 : aspects d'organisation évalués

	ITEMS (Capacités évaluées)	N° de sujet	prescrit oui/non
Organisation de la paillasse Nombre d'items : 6 Nombre d'apparitions:42 Évalués dans 15	- Repérage correct des récipients contenant les solutions (au moyen de crayons à verre ou d'étiquettes)	6-7-8-11-12-13-15-16-17-21-22-23	
		6-7-8-11-12-13-15-17-18-21-22-23	
		16-24	
	- Zone de travail bien dégagée	6-7-8-11-12-13-14-15-17-21-22-23	

sujets		16-18	
	<ul style="list-style-type: none"> - <i>État final de la paillasse</i> - <i>Flacons rebouchés</i> - <i>Organisation générale</i> - <i>Nettoyage paillasse</i> - <i>Respect de l'environnement</i> - <i>Disposition des témoins</i> - <i>Transvasement correct de la solution dans les deux béchers</i> 	18 14	

Parmi les capacités expérimentales ci-dessus, on constate que les capacités « Repérage correct des récipients contenant les solutions (au moyen de crayons à verre ou d'étiquettes) », « Zone de travail bien dégagée » et « Flacons rebouchés » sont les capacités les plus évaluées (au total, 12 sujets sur 15 qui correspond à 80%) de cette catégorie.

III-5- Importance relative de ces catégories

Le tableau 3-6 et la figure 3-4 montrent la répartition et pourcentage des apparitions des capacités expérimentales évaluées au baccalauréat 1999 concernant les trois premières catégories.

Tableau 3-6 : répartition et pourcentage des apparitions des capacités expérimentales évaluées au baccalauréat 1999

	Catégorie	Sous-catégories	Nombre d'apparitions dans les sujets	(%) sur 68	Total (apparition)	Total (%)
		I.1. Dosage	8	12 %		
		I.2. Pesée (prélèvement de l'échantillon)	3	5 %		
		I.3. Dilution	2	2 %		
		I.4. Chromatographie	1	--		

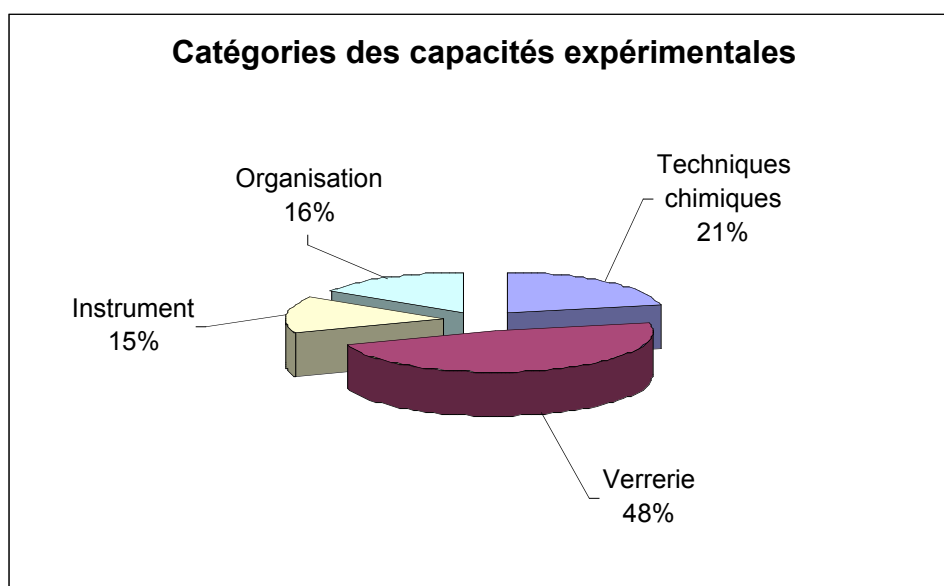
I-	Techniques chimiques	I.5. Chauffage	2	2 %	20/68	29 %
		I.6. Filtration	1	--		
		I.7. Préparation de la soude	1	--		
		I.8. Séchage du savon	1	--		
		I.9. Test de dioxygène	1	--		
II-	Verrerie [V]	II.1. Pipette	12	18 %	37/68	55 %
		II.2. Fiole	9	13 %		
		II.3. Burette	9	13 %		
		II.4. Erlenmeyer	3	5 %		
		II.5. Ampoule à décanter	1			
		II.6. Tube à essais	1			
		II.7. Bécher	2	6 %		
III-	Appareil/instrument [I]	III.1. pH-mètre	7	10 %	11/68	16 %
		III.2. Spectrophotomètre	1			
		III.3. Electrolyseur	1			
		III.4. Agitateur magnétique	1	6 %		
		III.5. Modèles moléculaires	1			

La catégorie « organisation » n'a pas été prise en compte dans ces pourcentages. Ces capacités sont des capacités génériques évaluées quasiment dans tous les sujets de chimie.

En nous référant au tableau 3.6 ci-dessus, nous pouvons dire que les capacités liées à la verrerie représentent un pourcentage de 55 % ; ce sont les capacités les plus évaluées dans les épreuves pratiques au baccalauréat 1999. Parmi les sous-catégories de la verrerie, les capacités liées à la pipette sont aussi les capacités les plus évaluées (avec 18 %). Les capacités expérimentales liées à la fiole et à la burette la suivent avec 13 %.

Les capacités expérimentales concernant les techniques chimiques sont les deuxièmes capacités les plus évaluées après celles liées à la verrerie. Parmi les techniques chimiques, les capacités liées au dosage sont les capacités les plus évaluées (12 %).

Figure 3-4 : Répartition globale des différentes catégories



IV- Quelles sont les actions évaluées ? quelles sont les ressources ?

L'analyse précédente a permis de cerner quelles capacités expérimentales apparaissaient dans les grilles d'observation. L'analyse des énoncés destinés aux élèves (fiches 3 des sujets) doit permettre maintenant de mieux apprécier la nature des actions concernées et donc les ressources dont les élèves sont censé disposer et celles qui leur sont données dans les protocoles ; la question de savoir s'ils savent sans servir n'a pas été traitée ici.

Nous donnerons tout d'abord un résumé de chaque protocole. Puis nous présenterons la grille qui a été élaborée pour les analyser.

IV- 1 Présentation des protocoles et de la grille d'analyse

Nous présentons pour chaque sujet de chimie du baccalauréat 1999 : les noms du sujet, les objectifs de la manipulation, les capacités expérimentales à évaluer par le professeur, les remarques faites par les fiches n°1 (descriptif du sujet destiné aux professeurs), etc.

L'évaluation des capacités expérimentales concernant l'organisation de la paillasse étant prévue pour chaque protocole, nous ne les citerons pas dans la présentation sujet par sujet ci-dessous.

➤ *Les résumés des protocoles*

C6 Sujet : Cinétique chimique : Dans le sujet C6, l'objectif est de réaliser et d'interpréter des expériences mettant en jeu l'eau oxygénée (la réaction lente de décomposition de l'eau oxygénée) et également d'identifier les facteurs cinétiques.

Dans la grille d'observation, on demande aux professeurs d'évaluer les capacités expérimentales qui ont trait à l'usage du dispositif de chauffage (avec bec Bunsen) et à l'utilisation de la burette, des éprouvettes graduées et le test du dioxygène ainsi que l'organisation ou la bonne gestion de la paillasse.

L'élève fait deux fois appel au professeur : au moment de la réalisation du test du dioxygène et au deuxième appel de l'élève, le professeur vérifie la bonne lecture des niveaux dans les éprouvettes graduées et observe l'élève lors de la réalisation du mélange. Le professeur doit être attentif avant le premier appel, car l'élève l'appelle après avoir terminé les actions qui doivent être évaluées. D'ailleurs, la fiche n°1 (descriptif du sujet destiné aux professeurs) avertit que « la difficulté dans ce TP est d'observer l'élève en continu, l'essentiel de l'évaluation ne se faisant pas lors de l'appel de l'élève. »

Des indications sont données et qui peuvent servir de ressources à l'élève pour le bon déroulement de la première manipulation (tableau 1 du protocole) : la réaction sera lente, le tube 1 qu'on prépare servira ultérieurement comme référence pour comparer avec le résultat à obtenir expérimentalement, le test de dioxygène consiste à raviver la combustion. Pour la seconde manipulation prévue dans le protocole : la réaction sera lente, le diiode formé réagira instantanément, l'empois d'amidon changera brutalement de couleur.

En ce qui concerne les choix du matériel à utiliser, le choix de la pipette graduée de 10 mL (tableau 1, item 9) et de l'éprouvette (tableau 1bis, item 8) est laissé à la charge de l'élève. Toutefois, seul le choix de l'éprouvette est évalué.

C7 Sujet : Identification d'un monoacide faible : Dans ce sujet, il s'agit d'identifier un monoacide faible, à l'aide de la courbe de dosage de la solution acide par une solution d'hydroxyde de sodium en utilisant un ordinateur.

Le candidat doit faire appel trois fois au professeur : la première fois le professeur vérifie que le fichier informatique de réglage convenable a bien été chargé et apprécie le dispositif de dosage, la deuxième fois en fin d'acquisition de données, le professeur vérifie la courbe obtenue, apprécie le choix des points et enregistre les mesures ; la troisième fois, le professeur vérifie la méthode utilisée pour déterminer le volume à l'équivalence. Ces trois appels ne sont pas destinés à une évaluation des capacités expérimentales ; le professeur autorise seulement la poursuite de la manipulation et est seul habilité à faire certaines saisies informatiques.

Le professeur évalue dans ce sujet l'usage de la pipette et de la burette et également l'usage du pH-mètre et la réalisation du dosage.

Les ressources fournies dans ce sujet sont les suivants : la liste de pK_a est donnée pour identifier l'acide utilisé (item 13).

Même si le choix de la méthode (dérivée ou méthode de tangente) pour déterminer les coordonnées du point d'équivalence est laissé explicitement à la charge de l'élève, ce choix n'est pas évalué.

Une remarque est faite dans le fichier n°1 : « Ce sujet ne peut être retenu que si les élèves ont une habitude suffisante du logiciel et de l'interface d'acquisition, c'est à dire s'ils ont eu l'occasion de l'utiliser en TP plusieurs fois ».

C8 Sujet : Dosage de l'acidité d'un lait : Le but du sujet est de déterminer, en réalisant un dosage acido-basique, la concentration d'un lait en acide lactique et d'utiliser les modèles moléculaires pour représenter les deux stéréoisomères de l'acide lactique.

Au cours de la manipulation, l'élève appelle deux fois le professeur : au premier appel, le professeur évalue le volume à l'équivalence. En fait, comme la plus grande partie des capacités expérimentales sont évaluée avant le premier appel, le professeur doit être attentif et doit évaluer l'élève avant cet appel. Au deuxième appel, le professeur vérifie la construction des deux modèles moléculaires d'énantiomères.

Ce qui est évalué est l'usage de la pipette, de la burette et la réalisation d'un dosage.

Les indications repérées sont les suivants : préparer une solution témoin (item 6) afin de mieux apprécier le changement de couleur et réaliser deux dosages successifs pour déterminer le volume équivalent à la goutte près. A l'équivalence, la couleur rose doit persister au moins 10 secondes (item 7).

Le choix de la pipette pour prélever 20 mL de lait n'est pas laissé à la charge de l'élève.

C11 Sujet: Détermination du "degré" d'un vinaigre : L'objectif du sujet est de déterminer le degré d'un vinaigre par dosage pH-métrique.

Dans cette épreuve, on évalue l'usage de la pipette, de la fiole jaugée, de la burette, du pH-mètre et la réalisation d'un dosage. Au cours de l'épreuve, le candidat doit faire appel deux fois à un évaluateur : au premier appel, c'est le choix du matériel pour la dilution d'une solution qui est évalué ; au deuxième appel, on évalue que le candidat sait lire correctement le pH d'une solution. Dans le descriptif du sujet destiné aux professeurs, un seul appel est mentionné.

L'indication fournie est une limite maximum de volume de solution de soude à verser (item 16).

C12 Sujet : Analyse d'un détartrant pour cafetière : Dans la manipulation, il s'agit de réaliser le dosage de l'acide sulfamique par une solution de soude en présence d'un indicateur coloré convenablement choisi en vue de déterminer le pourcentage en masse d'acide sulfamique d'un détartrant pour cafetière.

Le candidat doit faire appel une seule fois à l'évaluateur : c'est pour l'évaluation du virage de l'indicateur et la lecture du volume versé pour l'un des dosages. Mais avant que l'élève appelle, l'évaluateur doit vérifier aussi les capacités expérimentales dont l'élève dispose sur l'usage de la pipette, de la burette, de la fiole jaugée, de l'agitateur magnétique, de la pesée.

Un document ressource est fourni rappelant le nom des indicateurs colorés et leur zone de virage.

Bien que le choix de l'indicateur coloré soit laissé à la charge de l'élève, ce choix n'est pas évalué dans cette épreuve.

C13 Sujet : Identification d'une espèce acido-basique : L'objectif de la manipulation est de déterminer la nature (acide ou base) de solutions qui sont donnés dans les flacons et de déterminer la masse volumique de la solution contenue dans l'un des flacons. L'élève doit effectuer une analyse logique de ses résultats expérimentaux pour conclure sur la nature d'une espèce acido-basique choisie dans une liste donnée.

Dans cette épreuve, on évalue l'usage du matériel suivant : pipette, fiole jaugée, pH-mètre, balance et également le choix de la verrerie à utiliser pour une dilution. Il n'y a aucun appel à faire par l'élève.

C14 Sujet : Huile essentielle d'écorce d'orange : Dans ce sujet, l'objectif est d'identifier par chromatographie sur couche mince (C.C.M.) le limonène et de procéder à l'extraction de ce composé à l'aide d'un solvant approprié.

Le candidat fait appel trois fois à l'évaluateur en cours d'épreuve : le premier appel est juste avant de déposer 3 microgouttes sur la plaque de chromatographie, le professeur évaluera la position des points et le diamètre des microgouttes sur la plaque ; le deuxième appel est pour vérifier le produit obtenu par extraction, le professeur vérifie à l'odeur qu'il s'agit bien de la phase organique, apprécie le rendement de l'opération (volume obtenu

peu différent de 10 mL), constate l'absence d'eau ; dans le dernier appel, le professeur observe et apprécie les taches obtenues.

Des informations sont données qui peuvent servir de repères de bon déroulement : dégagement du gaz (Item 10) ; la solution de limonène surnage au-dessus de la solution aqueuse (item 21).

C15 Sujet : Dosage d'un comprimé d'Aspro : Dans ce sujet, on propose de faire un dosage pH-métrique d'un comprimé d'Aspro avec une solution de soude pour vérifier l'indication donnée sur la notice du médicament.

Dans l'épreuve, on évalue les capacités expérimentales ayant trait à l'usage de la burette, de la pipette, de la fiole jaugée et à la réalisation du dosage. Par ailleurs, bien qu'on signale dans la fiche 1 que ce T.P. offre à l'examineur la possibilité de juger l'aptitude de l'élève à choisir le matériel adapté à chaque partie du T.P, on ne voit pas l'évaluation du choix du matériel. Le protocole prend à sa charge le choix de la fiole jaugée de 200 mL (item 5) et de la pipette jaugée de 20 mL (item 7).

Aucun appel au professeur n'est prévu dans ce protocole.

Le protocole indique le volume à verser à l'équivalence (item 13).

C16 Sujet : Détermination du pK_a de quelques couples : Dans cette manipulation, l'objectif est de mesurer le pK_a de quelques couples acido-basiques donnés afin de les classer sur une échelle de pK_a qui est fournie à la fin du protocole.

Le protocole prévoit trois appels au professeur : le premier, c'est pour la réalisation de la dilution ; le deuxième pour une mesure de pH à l'aide d'un pH-mètre et le troisième est l'usage d'une burette la solution de soude.

Les manipulations proposées permettent d'évaluer le choix de la verrerie à utiliser pour diluer une solution et également les capacités expérimentales ayant trait à l'usage du matériel suivant : burette, pipette, fiole jaugée, pH-mètre, agitateur, etc.

C17 Sujet : Étude de la cinétique d'une réaction par spectrophotométrie : Il s'agit de l'étude de l'évolution de la réaction de réduction des ions permanganate par l'acide oxalique (ou éthanedioïque) au cours du temps en utilisant un spectrophotomètre.

Le candidat doit faire appel à l'évaluateur deux fois au cours de l'épreuve : une première fois pour contrôler que les conditions de l'expérience que l'élève réalise sont bien compatibles

avec la courbe d'étalonnage et vérifier le bon usage du spectrophotomètre. Le deuxième appel se fait lors du démarrage de la cinétique et on évalue que le candidat obéit bien aux consignes de la fiche d'énoncé.

Bien que le protocole montre la verrerie à utiliser pour le prélèvement, il laisse à la charge de l'élève le choix de l'éprouvette entre 2 types (de 10 mL et de 50 mL).

C18 Sujet : Préparation d'un savon : L'objectif de ce sujet est de préparer un savon à partir d'huile de maïs et de soude en présence d'éthanol.

Au cours de l'épreuve, il n'y a aucun appel à faire par l'élève.

On évalue les capacités expérimentales concernant le chauffage, la filtration, le séchage du savon et l'usage de l'éprouvette.

Au cours de l'épreuve, on fournit à l'élève comme moyens de contrôle les indications suivantes : obtention d'une masse épaisse et disparition de toute trace d'huile (item 7), la durée de l'opération (item 8).

Le protocole prend à sa charge le choix du matériel (Büchner) pour la filtration.

C21 Sujet : Préparation d'une solution de soude : Le but de la manipulation est de préparer une solution de soude concentration donnée, en utilisant des pastilles de soude. En fin de séance, l'élève est amené à faire une analyse critique de son résultat à partir de ses mesures.

Dans cette épreuve, on évalue l'usage de la pipette, de la burette, de la fiole jaugée et la réalisation du dosage.

L'élève doit faire deux appels : l'un est avant la dilution de la solution et l'autre après le dosage.

Par ailleurs, la fiche n°1 indique que cette manipulation permet de vérifier le choix et l'utilisation correcte de la verrerie jaugée et graduée mais l'évaluation du choix de la verrerie pour cette préparation n'apparaît pas dans la grille d'observation.

D'autre part, le protocole prend e charge le choix de l'indicateur à sa charge.

C22 Sujet: Etude d'un produit pour l'entretien des lentilles de contact : Dans cette manipulation, on propose de comprendre, en se servant de la notice, le "fonctionnement" d'un produit commercial utilisé pour l'entretien des lentilles de contact. Autrement dit ; l'objectif est de faire préciser aux élèves le rôle du disque catalytique, en s'appuyant d'une part sur l'observation de la réaction qui a lieu lorsqu'on immerge le disque dans le produit, d'autre part sur la comparaison des résultats de deux dosages.

Dans l'épreuve on fait l'évaluation de la réalisation d'une dilution et d'un dosage. Le candidat fait appel au professeur une seule fois au cours de la manipulation. Le professeur évalue la lecture de la burette et le volume versé à l'équivalence.

Le protocole indique qu'un changement de couleur (la couleur violette devient incolore, item 9) va être observé et qu'on va obtenir l'équivalence pour un volume entre 15 et 25 mL (item 13).

C23 Sujet: acide fort, acide faible

But de la manipulation : L'objectif de ce sujet est d'identifier le contenu des flacons donnés par comparaison des mesures de l'intensité du courant électrique traversant chaque solution, sans avoir de pH-mètre. Ces expériences mettent en jeu les points suivants : construire un montage permettant des comparaisons compte tenu des paramètres identifiés et fabriquer des solutions de concentration déterminée.

Le candidat fait appel deux fois au professeur : la première fois, le professeur vérifie le montage, la deuxième fois, le professeur vérifie que le tableau préparé par l'élève en vue de la préparation des solutions est correct avant qu'il ne prépare les solutions.

Dans ce protocole on demande à l'élève explicitement de veiller à la position des électrodes tout au long de la manipulation (item 3) et de veiller la dissolution du solide avant de faire des mesures.

C24 Sujet : Étude d'une molécule organique : Dans cette manipulation, on propose de vérifier la présence des fonctions alcool et acide carboxylique dans une substance.

L'élève fait deux appels : Au premier appel, le professeur évalue la bonne organisation des tubes sur le support, l'obtention du précipité, les quantités de réactifs mises en jeu. Au second appel, le professeur évalue le choix du matériel pour réaliser correctement la dilution. L'observation de la dilution se fait en continu, ainsi que celle de la mesure du pH.

➤ La grille d'analyse des protocoles des sujets de Bac

Chacun des protocoles opératoire (fiche 3 fournie à l'élève) a donné lieu à un tableau comportant 8 colonnes (annexes 3-4-1 à 3-4-5).

Chaque protocole a été découpé en items reportés dans la colonne 2, numérotés en colonne 1.

Chaque item correspond à une « action », plus ou moins compactée ou plus ou moins détaillée en opérations plus élémentaires, ou bien apporte une information qui n'est pas de l'ordre de l'action. La colonne 3 fait apparaître les catégories d'items.

Lorsque l'item ne fait qu'apporter une information, il est codé It (It2...It9).

Lorsqu'il prescrit une action, avec un verbe (verser..) éventuellement accompagné d'un adverbe (doucement..), ils sont codées selon la catégorisation précisée ci après. Ces codages remplacent le code It1 qui n'est donc pas utilisé.

Les catégories d'action et d'information sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Dans la colonne 4 est reporté ce qui figure dans la grille d'observation (fiche 5 destinée à l'enseignant), en face de l'item concerné du protocole élève.

La colonne 5 (actions non prescrites) indique ce qui est à faire relativement à un item lorsque l'action prescrite est peu détaillée et que l'élève a donc à l'interpréter pour la réaliser. Elle permet de déterminer dans quelle mesure le contrôle de l'activité est laissé à la charge de l'élève ou pris en charge par le protocole.

La colonne 6 code , selon le même codage qu'en colonne 3, les actions ainsi mises à jour.

La colonne 7 repère les moyens de contrôle donnés dans le protocole, ou les informations qui peuvent être utilisées par l'élève comme moyen de contrôler le bon déroulement de sa manipulation. Elle servira de comparaison lors de l'analyse des protocoles proposés dans les manuels pour guider les apprentissages. Elle sera aussi discuté en référence à ce dont disposent les experts.

Enfin, dans la colonne 8 sont indiqués, le cas échéant, les points sensibles du déroulement de l'activité où il aurait pu y avoir, de notre point de vue, une indication d'un moyen de contrôle.

A priori, les moyens de contrôle non donnés sont censés être maîtrisés par l'élève au fil de son parcours scolaire. Cette colonne nous permettra de repérer les éventuelles incohérences entre les manuels et les sujets du baccalauréat 1999.

IV-2 Les actions évaluées

Le contrôle de l'activité se joue en plusieurs temps, comme les entretiens avec les experts nous l'ont bien montré : le temps des choix qu'il faudra ensuite assumer (choix de technique, choix de matériel, contrôle de l'état des produits et des matériels, préparation du matériel, des repères), le temps de la réalisation (contrôle du geste, contrôle des résultats intermédiaires

attendus, contrôle d'indices de bon ou de mauvais fonctionnement, et enfin le temps de la clôture de la manipulation en vue de son traitement ultérieur (contrôle du résultat final).

Cette « activité de contrôle » comporte des actions principalement d'ordre cognitif (vérifier l'absence de bulles) qui ne modifient pas l'état du système observé, d'autres plus de l'ordre manuel (organisation de la paillasse, rinçage des pipettes, réglage du zéro, préhension des cuves en mettant les doigts sur les faces non utiles), d'autres plus techniques faisant appel à une procédure déjà construite en tant que telle (dosage) ou supposant de distinguer des usages différents (rinçage à l'eau ou avec la substance à doser), enfin des actions de choix qui ont une incidence sur le déroulement de la manipulation (choix de la verrerie pour obtenir un volume précis, choix de l'indicateur coloré).

Sont ici détaillés les codages de la colonne 3 de la grille d'analyse lorsque l'item est de l'ordre de la prescription d'une action.

- **geste manuel** (GMa). L'action concernée est un geste simple ou bien une action élémentaire et a un aspect « corporel (ou manuel) » (intervention physique). Par exemple : verser, agiter, laisser refroidir le mélange, rincer les électrodes, écraser un comprimé, régler le zéro de l'appareil, etc.

- **geste cognitif** (GCo). Un geste sera dit cognitif s'il ne nécessite pas de mouvements corporels, par exemple lire correctement le niveau d'une burette, calculer, compléter le tableau, comparer le résultat obtenu, noter le pH.

Sont aussi codés dans cette catégorie une « action de réflexion » si le caractère réflexif est plus fort que le caractère manipulateur, par exemple : écrire les demi-équations, commenter, conclure, définir, comparer, préciser, justifier, tracer le diagramme, etc. ou encore : reporter les résultats dans le tableau, suivre les indications de la notice de l'appareil, etc. qui ne nécessite pas beaucoup de réflexion.

Certains termes sont polysémiques tels que « noter ». S'il s'agit de noter un numéro sur un tube à essai, ce sera codé (GMa). S'il s'agit de reporter un résultat obtenu sur un cahier, ce sera codé (GCo). Par exemple ; dans l'item « On note S la solution obtenue », il s'agit d'une action d'écrire sur le tube à essai la lettre S donc codé (GMa).

- **choix** (Cx). Seront ainsi codés le choix du matériel ou des techniques chimiques, le choix d'une verrerie ou celui d'un appareil/instrument parmi ceux qui existent sur la paillasse. Ce sont des gestes cognitifs, mais nous avons choisi de les coder séparément, car ils

correspondent à des pratiques élaborées, nécessitant un contrôle. Par exemple : indiquer la verrerie à utiliser pour mesurer, adapter un réfrigérant à boule, etc.

- **action compacte** (AC) . L'action contient plusieurs sous-actions (ou opérations). Par exemple, la dilution ou la filtration contiennent plusieurs sous-actions constitutives de l'action désignée. Par exemple : filtrer le contenu du bécher implique de :

- prendre un entonnoir et contrôler sa propreté,
- le fixer au-dessus d'un bécher ou d'un autre récipient,
- placer un papier filtre plissé dans l'entonnoir,
- verser la solution à filtrer le long de l'agitateur en verre.

Certaines actions codées GMa impliquent en fait des pré-actions ; par exemple : *Ajouter 5 mL de la solution* demande de repérer au préalable la solution à ajouter, de choisir une verrerie pour mesurer 5 mL, de vérifier la propreté de cette verrerie, de rincer la verrerie avec un peu de solution.

IV-3- Les informations

Certains items des protocoles opératoires ne sont pas des prescriptions d'action mais donnent une indication à plus long terme ou pour guider l'action sans la décrire en termes d'action. Ils ont été codés It. Nous en avons distingué 8 catégories :

- **Information théorique** (It2) : Ce sont les connaissances théoriques, les formules chimiques et mathématiques, etc. Nous avons cherché à repérer les informations théoriques qui pourraient remplacer un savoir pas forcément disponible chez les élèves mais dont disposeraient les experts.

- **Information générale** (It3) : les titres, les sous-titres ou les objectifs affichés dans les protocoles, etc.

- **Résultat à obtenir** (It4) : ce sont des informations relatives au résultat à obtenir à la fin des actions prescrites. Par exemple : *agiter jusqu'à observer la décoloration* de la solution, *filtrer ce mélange afin d'obtenir une solution limpide*, etc. Elles peuvent servir de ressources ou de repères pour contrôler le bon déroulement de l'action. Ces informations sont donc codées dans la colonne 7 en tant que moyen de contrôle donné. Ils peuvent remplacer un savoir pratique ou un savoir théorique non disponible, mais que les chimistes utilisent.

- **Matériel** (It5) : cet item est un renvoi au schéma ou à la photo du montage du dispositif expérimental. Nous supposons que le montage du dispositif expérimental est à la charge de l'élève si le protocole demande de le construire ou que le protocole décrit la procédure du

montage à utiliser. Sinon, nous considérons que le dispositif expérimental est déjà construit sur la paillasse. Par exemple le montage du réfrigérant est à la charge de l'élève.

- **Appel** (It6) : ces items sont ceux qui invitent l'élève à appeler le professeur ; ils sont standardisés : « !!! Appelez le professeur »

- **Avertissement** (It7) : Ce sont des consignes de sécurité. Par exemple : mettre lunettes et gants. Le contrôle n'est donc pas à la charge de l'élève.

- **Question** (It8) : Ce sont des questions posées en vue d'orienter de la manipulation.

- **Inférence** (It9) : Cette catégorie ne concerne que les protocoles de manuels. Ce sont des interprétations fournies par le manuel. Nous ne considérons pas, comme « inférence » (It9), les items qui demandent aux élèves de faire une interprétation ou un commentaire sur la manipulation. Par exemple, l'item « interpréter cette observation » n'est pas une inférence, mais considéré comme un geste cognitif (GCo).

Le tableau 3-7 récapitule la nature des items dans les différents protocoles.

Tableau 3-7 : catégorie des items pour l'ensemble des sujets d'évaluation au baccalauréat

	actions				informations								Total
	AC	GMa	GCo	Cx	It2	It3	It4	It5	It6	It7	It8	It9	
C6	7	12	5	-	7	3	-	-	2	-	-		36
C7	2	4	1	1	1	1	-	2	4	-	-		16
C8	3	4	1	-	3	-	1	-	2	-	1		16
C11	4	6	1	1	-	1	1	-	2	-	-		16
C12	3	3	3	1	1	-	-	-	1	-	-		12
C13	4	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2		8
C14	2	22	1	-	1	-	-	-	3	1	-		30
C15	3	7	3	-	1	1	1	-	-	-	-		16
C16	4	6	1	-	3	1	1	-	3	-	-		19
C16	2	8	3	1	1	6	-	-	2	-	1		24
C18	5	11	-	-	1	1	-	-	-	2	-		20
C21	7	6	4	-	3	3	-	-	2	-	-		25
C22	4	5	5	-	4	2	-	-	1	-	1		22
C23	7	2	3	-	2	2	-	-	2	1	4		23
C24	3	10	2	1	2	2	1	-	2	-	-		23
Total	60	106	33	5	30	23	5	2	26	5	9		296
(%)	20%	36%	11%	<2%	10%	8%	<2%	<1%	9%	<2%	3%		(%)

On note un pourcentage important d'actions compactées (AC) c'est à dire d'items qui pour être réalisés mettent en jeu une succession d'actions plus élémentaires dont l'élève doit avoir le contrôle. Il s'agit de montages gestuels qui peuvent être formulés, qui sont devenus des procédures. Pour Hofstadter (1985), ces savoir-faire procéduraux (qu'il nomme connaissances procédurales) n'ont pas de forme explicite, ne sont pas accessibles par introspection. Elles servent sans que l'on sache comment. Il y a automaticité du déroulement.

Le pourcentage de choix (Cx) prévus dans les protocoles est très faible.

Par ailleurs 10% des items servent à apporter des ressources théoriques (It2) qui peuvent servir à l'élève pour contrôler son activité. Il y a très peu d'information sur le résultat prévu de la manipulation (It4). En fait, certaines informations sur le résultat à obtenir sont codées autrement, car ce sont aussi des gestes et des informations théoriques et que nous n'en avons pas un double codage.

Parmi les 26 appels au professeur (It6), certains sont de l'ordre d'un contrôle préalable ; l'évaluateur donne en quelque sorte l'autorisation de continuer la manipulation. L'appel permet de ne pas laisser l'élève s'engager plus avant dans de mauvaises conditions (C14,C17, C23). En C7 la poursuite de la manipulation demande une intervention du professeur sur l'ordinateur.

En C11, C16 et C24, l'appel permet de valider des choix.

Pour les autres il s'agit d'être présent pour observer la réalisation d'un geste (usage de la burette, détermination de l'équivalence, mesure au pH-mètre) ou d'une technique (test de dioxygène) plus rarement de vérifier un résultat (obtention d'un précipité, construction d'un modèle moléculaire).

On note que dans 3 sujets (C13, C15 et C18), il n'y a pas d'appel au professeur.

IV-4- Les ressources

Le tableau 3-8 récapitule ce qui a été repéré dans les colonnes 7 et 8 des sujets de baccalauréat en tant que « moyens de contrôle donnés et non donnés ».

Tableau 3-8 : repères donnés et non donnés dans les sujets de bac

	C6	C7	C8	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C21	C22	C23	C24	Tot
--	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

repères donnés	9	2	3	3	3	4	5	4	3	1	3	7	5	3	5	60 20%
repères non donnés	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	7 2%
Total	37	16	17	16	12	8	29	16	17	22	18	24	21	24	23	300

Le total de référence pour le calcul de pourcentage sur chaque ligne est la somme des nombres d'items découpés pour chacun des sujets. Le nombre de repères donnés est beaucoup plus grand que le nombre de repères non donnés. Autrement dit, le contrôle de l'activité par les élèves si on leur en donne les moyens (ressources théoriques ou pratiques) est considéré comme possible.

IV-5- Contrôle d'un résultat, contrôle d'une procédure

Les grilles d'observation (fiches 5 données en annexe 3-1) ont donné lieu à une analyse présentée en annexe 3-5. Le tableau rassemble là aussi les items tels qu'ils apparaissent dans les fiches 5 et tels qu'ils sont dans les fiches d'observation, regroupés dans les quatre catégories précédemment décrites (techniques chimiques, verrerie, instruments, organisation). Il spécifie les catégories d'actions correspondant à chaque item, en utilisant le même codage que celui des protocoles opératoires : geste manuel (GMa), geste cognitif (GCo), choix (Cx), action compactée (AC). Les items d'information (It) n'apparaissent bien sûr pas dans les grilles d'observation, ils sont spécifiques des protocoles élèves.

Cette analyse s'est faite en relation aux fiches 3 destinées aux élèves et qui indiquent le protocole opératoire qu'ils ont à suivre. Les fiches 2 ont été utilisées de façon complémentaire pour savoir ce qui était à disposition des élèves comme matériel ; cette liste permettait en particulier de juger si les élèves avaient ou non un choix à faire relativement à la consigne.

Cette double analyse articule la description de la tâche et la description de la performance (Dumas-Carré, A., Larcher, C., 1987)

Ce tableau indique également une autre catégorisation qui peut être reliée aux moments d'évaluation.

En effet, l'évaluateur a à noter des items qui correspondent à un résultat observable et d'autres qui sont de l'ordre de la réalisation d'un geste, d'une procédure.

Lorsqu'il s'agit d'une réalisation d'un geste, d'un « montage de gestes », d'une procédure, l'évaluation peut porter sur « cela a-t-il été fait ? » ou sur « comment cela a-t-il été fait ? ». L'évaluation nécessite dans ce second cas la présence de l'observateur lors de la réalisation pour qu'il apprécie le geste.

Lorsqu'il s'agit d'un résultat observable, nous avons également distingué l'obtention d'un résultat (jugement binaire oui/non) et la réalisation qui demande une appréciation. L'action peut être une action compactée telle que définie dans le paragraphe précédent, par exemple : mise en service, rinçage avec la solution utilisée ; il ne s'agit pas d'évaluer la façon de le faire, mais d'évaluer si l'élève l'a fait ou pas.

Nous avons donc distingué quatre catégories :

- **les procédures (Proc)** : ce qui est évalué c'est la manière de faire . Exemples : test de dioxygène , tarage correctement effectué, utilisation de la balance, filtration, manipulation correcte de l'ampoule à décanter, etc.

Certaines de ces évaluation sont prévues dans le protocole opératoire des élèves par l'information « !!! Appelez le professeur », pour que cette action soit réalisée devant lui.

- **les accomplissements d'action (Acc)** : ce qui est évalué c'est le fait que cela a été fait. Le résultat de l'action est observable même si l'action est achevée. Par exemple : agencement du dispositif, BBT vert (ajout de BBT), démontage du système de pipetage.

- **l'obtention du résultat correct (Obt)**. Par exemples ; « obtention de l'équivalence», « obtention du précipité », « molécule (modèle moléculaire construit) conforme ». Ce n'est pas forcément un résultat final ; cela peut être des résultats « intermédiaires ».

- **l'estimation** ou bonne appréciation (**Est**). Il s'agit en général d'évaluer la capacité d'appréciation des élèves. Ce sont en général des actions cognitives suivant la distinction GMa/GCo opérée par ailleurs ; par exemple : lecture correcte, réglage du débit , choix pertinent de l'éprouvette à utiliser....

Le tableau de l'annexe 3-5 repère également ce qui a trait au soin, à la propreté.

Les capacités relatives à la propreté, ce qui a trait au soin sont codées (♣) ; par exemple : rinçage des électrodes, séchage des électrodes, changement de pipette Pasteur après chaque prélèvement ; ainsi que transvasement du solide sans perte, transvasement correct de la solution dans les deux béchers.

Le tableau 3-9 récapitule les catégories d'actions et ce que le professeur évalue selon qu'ils s'agit de techniques chimiques, de verrerie, d'instruments, d'organisation. Il note également ce qui a trait au soin et à la propreté.

Tableau 3-9: répartition des items d'évaluation

Items des fiches n°5	Catégories des actions				Ce que le professeur évalue				Ce qui a trait au soin
	AC	GMa	GCo	Cx	Proc	Acc	Obt	Est	
Technique chimique	9	11	5	8	11	10	6	6	7
Verrerie [V]	5	17	5	2	8	14	2	5	6
Instrument [I]	6	11	2	3	9	8	2	3	5
Organisation	0	5	1	0	0	5	0	1	6
Sous-total	20	44	13	13	28	37	10	15	24
TOTAL	90				90				90
(%)	23%	49%	14%	14%	31%	41%	11%	17%	27%

Sur les 90 items des grilles d'évaluation, la moitié concernent des gestes manuels, 14 % sont des gestes cognitifs, 14 % des choix.

Par ailleurs il y a 23 % d'items d'évaluation qui sont des actions compactes dont on a vu plus haut que l'émiettement en actions plus élémentaires faisait apparaître des gestes manuels et cognitifs.

Sur ces mêmes 90 items, 31 % correspondent à l'évaluation de procédures que les élèves sont donc considérés comme devant contrôler pour la faire devant témoin ; 41 % correspondent à

une action accomplie, qui doit avoir été faite, qui doit être de l'ordre des choses que l'on fait quand on contrôle son activité. 11 % concernent la réussite de la manipulation au sens scolaire du terme (obtention de ce qui était attendu par le professeur) lorsqu'elle est de l'ordre du jugement binaire (obtention ou pas) ; 17 % concernent l'appréciation du résultat lorsqu'il n'est pas binaire mais donne lieu à une échelle de valeur. Enfin sur ces 90 items, 24 soit 27% ont trait au soin. Les items concernant la propreté sont répartis de façon homogène selon qu'il s'agit de technique chimique, de verrerie, d'instruments ou d'organisation.

Les choix évalués sont principalement sur les techniques chimiques, ce qui renvoie à du choix de verrerie. Pour le reste, les nombres obtenus sont cohérents avec la définition des catégories et n'étonnent donc pas : accomplissement et estimation majoritaires pour l'organisation.

IV-6- Évaluation de choix

Dans cette partie, nous détaillons les capacités expérimentales évaluées au baccalauréat 1999 qui peuvent avoir trait à l'évaluation du « choix » et à l'évaluation de la « propreté » dans la manipulation.

Le choix est en fait peu présent en tant qu'action prescrite dans les protocoles élève. Nous avons repéré seulement six items relatifs à des choix dans les épreuves de 1999 : Dans le sujet C6 « *Choix de la contenance [des éprouvettes]* », dans le sujet C11 « *Choix du matériel de dilution* », dans le sujet C13 « *Choix judicieux de l'ensemble fiole + pipette pour la dilution* », dans le sujet C16 « *Choix du matériel de dilution* », dans le sujet C17 « *Choix pertinent de l'éprouvette à utiliser* » et dans le sujet C24 « *Choix du matériel de dilution* ».

L'ensemble des capacités expérimentales relatives au choix concernent surtout le choix de la verrerie à utiliser pour la dilution. Dans les sujets C11, C16, C17 et C24, le protocole demande explicitement aux élèves de choisir le matériel approprié :

Dans le sujet C11 : « *Rassembler le matériel nécessaire pour préparer 100 mL de solution diluée notée S'.* », « *Ajouter progressivement la solution de soude (dont la concentration est $C_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$) en choisissant de façon pertinente les volumes ajoutés entre chaque lecture de pH sachant que...* »

Le sujet C16 : « *A l'aide des solutions et du matériel que vous avez sur votre table, vous devez fabriquer 50mL d'une solution S1 d'acide éthanoïque de concentration $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$.* »

Dans le sujet C17 : « *Ces volumes de réactifs seront prélevés avec une pipette convenablement choisie.* »

Dans le sujet 24 : « *Choisir la verrerie mise à votre disposition sur la paillasse pour fabriquer une solution S' d'acide lactique de concentration $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.* »

Par ailleurs, bien que nous ayons repéré, dans le protocole de deux sujets, certaines indications qui demandent aux élèves de faire un choix, ces choix ne sont pas évalués dans la grille d'observation (fiche n°5) qui correspond à ces sujets :

Dans le sujet C7 : « *Utilisez la méthode de votre choix (dérivée ou méthode des tangentes), pour déterminer les coordonnées du point d'équivalence.* »

Dans le sujet C13 : « *En utilisant une fiole jaugée, parmi celles qui se trouvent sur votre paillasse, et la balance électronique, déterminer la masse volumique de la solution.* »

Pour aller plus loin, il apparaît nécessaire de comparer sur ce point les items d'évaluation et les items d'action du protocole élève correspondant et de prendre en compte les éléments du contexte définis par la liste de matériel : on note que si seulement 2% des items des protocoles opératoires étaient de l'ordre du choix, on compte 14 % des items d'évaluation.

Par ailleurs cette analyse de protocoles en fin de cycle (à des fins d'évaluation sommative et certificative) permettra une comparaison avec les protocoles de manipulation proposés dans les manuels et dont nous cherchons à tester la fonction de gestion progressive d'apprentissages.

IV-7- Évaluation du soin

Comme nous avons signalé plus haut, les experts attribuaient la majeure partie des pannes repérées, par défaut, à une mauvaise maîtrise de la propreté, de la pureté ou de l'évolution des produits. Quelles sont les capacités expérimentales (affichées dans les fiches n°5) qui ont trait à la propreté dans la manipulation, au soin?

En nous appuyant sur le tableau de l'annexe 3-5, nous avons cherché à repérer les capacités relatives au soin. Nous présentons ci-dessous, les capacités expérimentales ayant trait à la propreté et les sujets dans lesquels elles sont évaluées :

Dans la sous-catégorie « chromatographie » qui appartient à la catégorie « techniques chimiques », nous avons repéré deux capacités qui concernent la propreté : la capacité « *Soin Gants* » et la capacité « *Changement de pipette Pasteur après chaque prélèvement* » sont évaluées dans le sujet C14.

Les capacités expérimentales ayant trait à la propreté apparaissent dans trois sous-catégorie dans la catégorie « verrerie ». Deux capacités de la sous-catégorie « pipette » concernent la propreté : la capacité « *Pipetage à partir d'une petite quantité préalablement versée dans un bécher,* » est évaluée dans 12 sujets sur 15, sauf C6, C18 et C23. La capacité « *Rinçage de la pipette avec la solution à prélever (Rinçage avec un peu de solution)* » est évaluée dans 10 sujets sur 15, sauf en C6, C14, C15, C18 et C23. Pour la sous-catégorie « fiole », on voit une seule capacité concernant la propreté : « *Rinçage* ». Elle est évaluée dans 7 sujets sur 15. Pour la sous-catégorie « burette », seule la capacité « *Mise en service: Rinçage avec la solution utilisée* » a trait au soin et est évaluée dans 6 sujets sur 15.

Dans la catégorie « appareil/instrument », nous avons repéré trois sous-catégories qui ont trait à la propreté. Dans le « pH-mètre », la capacité « *Rinçage des électrodes* » est évaluée dans 6 sujets. Alors que la capacité « *Séchage des électrodes* » est évaluée seulement dans deux sujets : C16 et C24. Dans la sous-catégorie « spectrophotomètre », on évalue une seule capacité « *Manipulation des cuves: préhension* » relative à la propreté qui est évaluée dans un seul sujet : C17. Pour la sous-catégorie « électrolyse », on n'évalue la capacité « *Électrolyseur rincé entre chaque mesure* » que dans le sujet C23.

En ce qui concerne la catégorie « Organisation », l'ensemble des six capacités concernent la propreté dans la manipulation. La capacité « *Zone de travail bien dégagée* » et « *État final de la paillasse* » que nous considérons comme une seule capacité, est évaluée dans 14 sujets sur 15, sauf le sujet C14. La capacité « *Repérage correct des récipients contenant les solutions (au moyen de crayons à verre ou d'étiquettes)* » et celle « *Flacons rebouchés* » est évaluée dans 12 sujets sur 15. La capacité « *Organisation générale* » est évaluée aux sujets C16 et C18. « *Nettoyage paillasse* » au sujet C18 et la capacité « *Respect de l'environnement* » est au C14.

Chapitre 4 : Les protocoles opératoires dans les manuels de chimie

Dans les chapitres précédents, nous avons recherché à partir d'entretiens d'experts à analyser les pratiques de contrôle de l'activité de laboratoire en chimie. Nous avons, sur la base des épreuves d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat 1999, repéré ce que les élèves sont censés pouvoir contrôler en fin de parcours d'enseignement général (Terminale S).

Dans ce chapitre nous nous proposons d'analyser les protocoles opératoires dans des manuels de chimie au lycée de façon à déterminer comment est pris en charge cet apprentissage progressif du contrôle de l'activité. Autrement dit, quelles sont les actions prescrites ? quelles sont les indications fournies ? est-ce qu'il y a une évolution entre la classe de seconde et la classe de terminale dans les indications des protocoles opératoires ? de quelle nature sont ces évolutions ? ou bien les indications apparaissent-elles plutôt irrégulières, sans projet repérable de prise en charge d'un apprentissage progressif ?

Ces protocoles opératoires ne sont en général pas destinés à être utilisés par les élèves en autonomie. Ils sont plutôt utilisés en situation de travaux pratiques où les élèves travaillent sous la houlette d'un professeur qui peut rajouter les indications qu'il juge nécessaires, qui surveille les manipulations de façon à être là au bon moment et qui peut par ses interventions aider les élèves dans la réussite immédiate ou aider les élèves à acquérir une pratique du contrôle (voir E4 (28/30-31) : « ils ont tendance à réclamer, en disant dites nous, nous on ne sait pas ! et je leur dis Si ! vous savez ! »). Nous n'avons pas analysé cette médiation (A. Dumas-Carré et A. Weil-Barais, 1998) de l'enseignant, ni la façon dont il planifie ses séances de travaux pratiques (Richoux, 2000). Notre travail porte essentiellement sur les protocoles écrits, qu'ils servent pour l'apprentissage ou l'évaluation des élèves.

I- Résumés des protocoles des manuels

Le corpus de protocoles opératoires analysé comporte tous les protocoles de chimie des manuels de Nathan (classes de seconde, de première S et de terminale S), ainsi que ceux de Hachette de la classe de terminale S. Nous avons ainsi les manuels d'une même collection sur les trois classes de lycée et une comparaison possible entre deux éditeurs pour une même

classe. Pour cette comparaison nous avons choisi la classe de terminale, ce qui permet également une comparaison avec les épreuves de baccalauréat.

Le choix d'une même collection ne garantit pas qu'il s'agisse des mêmes auteurs, et seuls deux manuels d'éditeurs différents ont été pris en compte. Ces comparaisons n'ont donc aucune visée généralisatrice, mais il est quand même intéressant d'interroger un éventuel consensus des auteurs sur les acquisitions scolaires à un même niveau scolaire.

Si pour une même collection (même responsable scientifique) l'analyse met en évidence une faible cohérence, la comparaison de deux manuels d'éditeurs différents pour un même niveau scolaire aura sans doute peu d'intérêt.

Les expériences présentées dans le manuel de Nathan 2nde sont des « manipulations de cours », et non pas des protocoles opératoires comme dans les manuels de 1^{er} S, TS et Hachette TS.

Nous avons analysé, au total 57 ensembles de manipulations et manipulations de cours, chacun désigné par un titre à la fin d'un chapitre. Nathan TS : 20 thèmes, Hachette TS : 17 thèmes, Nathan 1S : 16 thèmes, Nathan 2nde : 14 thèmes de manipulations de cours.

Ces protocoles sont repérés par le numéro du chapitre dans le manuel et par leur titre. Il y aura une par chapitre de cours analysé (annexes 4-1 à 4-4).

L'ensemble des protocoles a donné lieu à des tableaux panoramiques (annexe 4-10) qui permettent des comparaisons entre ses différents niveaux scolaires et éventuellement avec les protocoles du baccalauréat.

I-1- NATHAN 2nde

Le résumé fait référence aux tableaux Nathan 2nde Ch13-I à Nathan 2nde Ch24 figurant en 4-1 et qui seront détaillés dans le paragraphe suivant.

Les objectifs des quatre premiers chapitres de chimie sont rappelés au début de chaque chapitre et correspondent à des connaissances et savoirs pratiques exigibles (Goffard, 1994) énoncés dans le programme à savoir :

- savoir que certaines espèces chimiques proviennent de la nature et d'autres de la chimie de synthèse,

- reconnaître et nommer la verrerie de laboratoire, utiliser une ampoule à décanter, un dispositif de filtration, un appareil de chauffage dans les conditions de sécurité et mettre en œuvre une technique d'extraction,
 - réaliser une chromatographie sur couche mince.
 - suivre un protocole de synthèse et caractériser une espèce chimique.
- S'ajoute à ces objectifs, un autre -sous entendu dans le titre des "exemples d'activités" suggérées par le programme intitulé "les 5 sens du chimiste en éveil": savoir utiliser ses cinq sens pour une analyse élémentaire d'un produit.

Chapitre 13 : "Espèces naturelles, espèces synthétiques"

Le premier objectif est développé au premier chapitre. Trois tests sont envisagés sur un jus d'orange :

- celui de l'eau (l'élève doit répandre avec une spatule quelques cristaux de sulfate de cuivre anhydride - pratiquement blanc- sur la pulpe de l'orange)
- celui de l'acidité (l'élève doit verser le jus de l'orange dans un bécher et mesurer le pH de la solution à l'aide d'un stylo pH-mètre).
- celui du glucose à l'aide de la liqueur de Fehling.

Les moyens de contrôle

Ceux qui sont donnés dans ce chapitre concernent les couleurs (les cristaux de sulfate de cuivre anhydride sont blancs et deviennent bleus en présence d'eau, la liqueur de Fehling, bleue devient rouge lorsqu'elle est chauffée en présence de glucose)

Les images donnent parfois des indications sur les ustensiles de mesure à utiliser ou la manière de manipuler des appareils, une photo indique par exemple la mesure d'un volume avec un bécher gradué et une autre la façon de mettre le stylo pH-mètre dans un bécher.

À l'inverse des contrôles (signalés comme importants par les experts) ne sont jamais signalés comme le contrôle de la propreté du matériel.

Certains contrôles sont visiblement à la charge de l'enseignant :

- ceux qui concernent l'utilisation du matériel de mesure des volumes, lorsqu'il n'y a pas d'image indicative, ce qui est le cas le plus fréquent,
- ceux qui concernent le réglage des appareils comme la manière d'étalonner un pH-mètre.

Chapitre 14 : « Les techniques d'extraction »

Ce chapitre vise le deuxième objectif du programme. Différents produits odorants qui seront caractérisés par leurs odeurs sont utilisés.

Tout d'abord du sucre vanillé (dont il n'est pas dit s'il est naturel ou de synthèse). C'est l'occasion :

- d'utiliser une ampoule à décanter et de manipuler avec précaution un solvant, le dichlorométhane,
- de mettre en oeuvre une opération de séchage par un produit anhydre (le carbonate de potassium) et
- d'opérer une filtration sur papier.

Sur des fleurs de lavande, les élèves opèrent :

- un entraînement à la vapeur d'eau. Après avoir recueilli le distillat dans un bécher ou un erlenmeyer, ils procèdent à
- un relargage en utilisant de nouveau une ampoule à décanter mais un autre solvant (le cyclohexane) et à
- une opération de séchage, toujours avec le carbonate de potassium, et une filtration.

Les moyens de contrôle

Là encore des images sont proposées comme ressources :

- comment agiter, quel est l'ustensile ou le dispositif de filtration à utiliser, à quoi ressemble la dissolution complète du sucre vanillé dans l'eau, quelle est l'allure de la phase organique que l'élève va recueillir,
- quelle odeur doit posséder le produit obtenu en fin de manipulation

Comme précédemment, les indications des ustensiles de mesure des volumes restent le plus souvent à la charge de l'élève (ou de l'enseignant).

Chapitre 15 : « Séparation et identification d'espèces chimiques »

La caractérisation d'espèces chimiques se fait par chromatographie sur couche mince. Le principe de cette technique est expliqué par une expérience de migration du sirop de menthe. La chromatographie est réalisée sur l'huile essentielle de lavande. La révélation se faisant au diiode. Les composants de l'huile essentielle de lavande sont comparés au linalol et à l'acétate de linalyle.

Les moyens de contrôle

Les indications données pour la chromatographie sont assez détaillées et précises ; elles servent d'apprentissage de la technique utilisée ; sont donnés par exemple :

- le temps d'attente nécessaire entre la préparation de la cuve et son utilisation,
- les précautions à prendre pour manipuler la plaque à chromatographier,
- la manière de procéder au dépôts des taches
- les dispositions respectives des taches et de l'éluant au début de la chromatographie,
- le niveau que doit atteindre l'éluant en fin de manipulation

Chapitre 16 : "La synthèse d'espèces chimiques"

L'acétate de linalyle est préparé au cours de ce chapitre par chauffage à reflux d'un mélange de linalol et d'anhydride acétique. L'extraction du produit préparé se fait dans une ampoule à décanter, l'acétate est ensuite séché en utilisant le chlorure de calcium.

Les moyens de contrôle

Le chauffage à reflux étant une technique particulière au laboratoire en chimie, des précisions sont données aux élèves comme :

- la manière de brancher le réfrigérant, celle de chauffer,
- ce que l'on doit observer au cours de la manipulation

Certaines indications théoriques ou pratiques sont données comme les deux phases à obtenir dans l'ampoule à décanter, les précautions lors de l'ajout d'hydrogénocarbonate de sodium, ou l'allure du chromatogramme à obtenir alors que d'autres ne sont pas données, les apprentissages étant considérés probablement comme réalisés :

- les ustensiles à utiliser pour les mesures de volumes,
- la propreté du matériel,
- les manipulations nécessaires à la réalisation d'une bonne chromatographie,
- celle de l'ampoule à décanter et de sa position de repos (avec le bouchon enlevé pour éviter les surpressions).

Les trois chapitres suivants concernent la partie de programme intitulée "transformations de la matière". Les objectifs pratiques de cette partie font l'objet des chapitres 22 et 23:

- 1- prélever une quantité de matière d'une espèce chimique en utilisant une balance, une éprouvette graduée ou une burette graduée,
- 2- réaliser la dissolution d'une espèce moléculaire,
- 3- réaliser la dilution d'une solution et d'utiliser une balance et la verrerie de base,
- 4- savoir décrire l'état d'un système et savoir écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects.

Les auteurs au chapitre 24 ajoutent des objectifs non précisés dans les programmes :

- faire connaître la définition du réactif limitant,
- savoir écrire les quantités de matière des réactifs et produits en fonction de l'avancement x ,
- savoir déterminer l'avancement maximal d'une transformation,
- savoir effectuer un bilan de matière et déterminer le réactif limitant.

Chapitre 22 : "Solutions et concentration molaire"

Dans ce chapitre l'élève réalise différentes dissolutions : du sucre dans le café, du diiode dans une solution aqueuse d'iodure de potassium et du sulfate de cuivre dans l'eau. Il prépare ensuite une solution de diiode de concentration donnée à l'aide d'une fiole jaugée et à partir d'une solution à $0,020 \text{ mol.L}^{-1}$ en diiode, il apprend à faire une dilution au dixième.

Les moyens de contrôle

Les indications de couleurs à obtenir sont nombreuses dans cette manipulation, elles sont souvent évoquées dans les images. Ces dernières montrent aussi les ustensiles utilisés (bêchers, spatule)

Au cours de cette activité expérimentale, les élèves manipulent, pour la première fois des fioles jaugées, et les consignes pour un apprentissages ne sont pas toujours données comme par exemple, la manière de compléter le niveau de l'eau jusqu'au trait de jauge ou l'agitation de la fiole avant la fin de la préparation de la solution.

Chapitre 23 : "La réaction chimique"

La combustion du charbon dans le dioxygène permet à l'élève de réaliser une transformation chimique.

Les moyens de contrôle

Ce chapitre étant un des derniers où l'élève est conduit à manipuler, l'utilisation et le réglage du bec bunsen sont supposés connus, des images sont cependant présentes pour indiquer les couleurs de la flamme ou le trouble de l'eau de chaux.

Chapitre 24 : "Bilan de matière. Initiation à l'avancement"

Pour étudier l'avancement et le bilan de matière, l'élève doit faire réagir le vinaigre sur de l'hydrogénocarbonate de sodium et recueillir le gaz carbonique dégagé dans un ballon de baudruche.

Les moyens de contrôle

Comme dans le chapitre précédent, parce que les apprentissages ont déjà été menés ou parce qu'elles sont peu utiles, les indications sont réduites au minimum.

En conclusion

On peut constater que les protocoles proposés dans le manuel étudié suivent de près les objectifs fixés dans les programmes et que les différentes techniques suggérées par ceux-ci sont abordées et parfois déjà réinvesties.

Concernant les moyens de contrôle, on peut remarquer que

- les techniques particulières apprises sont détaillées de manière précise lorsqu'elles sont abordées pour la première fois (hydrodistillation, chromatographie, chauffage à reflux)
- lorsqu'une technique est vue pour la deuxième fois (exemple la chromatographie), les moyens de contrôle donnés sont sommaires,
- le contrôle de la propreté n'est jamais indiqué,
- le matériel de mesure des volumes est plus ou moins précisé suivant les manipulations, ce choix revenant probablement le plus souvent à l'enseignant.

I-2- NATHAN 1S

À la différence des protocoles de seconde, ceux de première S et de terminale comportent toujours, en début de protocole, une liste du matériel nécessaire.

Chaque chapitre comporte une ou plusieurs manipulations. Les analyses sont présentées en annexe 4-2

Chapitre 1 : Mesurer des quantités de matière

TP : Dosage colorimétrique de solutions de glucose (Nat1SCh01)

L'objectif affiché de la manipulation 1 est de préparer des solutions titrées de glucose et de vérifier l'échelle de teintes donnée. L'élève doit préparer 100 mL de la solution mère de glucose de concentration déterminée en calculant la masse de glucose à peser. Puis, il doit

préparer des solutions diluées dont les concentrations sont précisées à l'aide de deux burettes. Enfin, il doit vérifier l'échelle de teintes en plongeant la zone réactive d'une bandelette dans la solution, la retirer rapidement et comparer après un temps donné, la couleur de la zone réactive avec celle de l'échelle de teintes.

Les moyens de contrôle

Le premier objectif de savoir pratique indiqué dans les programmes de la classe étant de "choisir le matériel de laboratoire en fonction d'un objectif et l'utiliser correctement", aucune indication n'est donnée sur le matériel à utiliser pour préparer 100 mL de solution ; la précision du matériel n'est même pas sous entendue (s'il est écrit 100,0 mL, cela peut signifier que le matériel doit être la fiole jaugée qui figure dans la liste). L'exemple d'activité proposé dans le programme souligne "lors de ce premier TP, réinvestir les acquis concernant l'emploi du matériel de laboratoire et les précautions d'utilisation concernant les "produits".

Comme en classe de seconde, à aucun moment la propreté du matériel ou la vérification du bon état de marche des appareils n'est signalée.

C'est une remarque que l'on peut faire pour tous les protocoles de la classe de première et que nous ne répèterons pas.

Chapitre 2 : " Les solutions électrolytes "

TP : Pourcentage en cuivre d'une pièce de monnaie (Nat1SCh02)

Après avoir utilisé une échelle de teintes, les élèves doivent, dans cette manipulation, en préparer une ; c'est l'objectif déclaré de la manipulation 1. Contrairement à l'activité précédente, la masse de sulfate de cuivre (II) pentahydraté ainsi que la fiole jaugée à utiliser sont indiquées. L'élève doit alors procéder à des dilutions et, connaissant les volumes et les masses il doit calculer les concentrations des solutions pour réussir la réalisation de l'échelle de teintes afin de mener à bien dans la manipulation 2. Celle ci consiste à transformer le cuivre d'une pièce en ions Cu^{2+} et à déterminer la concentration de la solution obtenue, en utilisant l'échelle de teintes. Les élèves procèdent alors à la comparaison de la couleur de la solution préparée par l'enseignant (pièce de cuivre et acide nitrique) à l'échelle de teintes qu'ils ont réalisée. L'activité expérimentale se termine par des calculs de concentration, de masse et de pourcentages massiques.

Chapitre 3 : " Etude des transformations chimiques "

TP : Détermination de la composition d'une poudre constituée de deux métaux (Nathan1SCh03)

L'objectif annoncé de la manipulation 1 est d'étudier l'action de l'acide chlorhydrique sur le cuivre, d'une part, et sur le zinc, d'autre part afin de déterminer la masse de zinc et la masse de cuivre contenues dans une poudre. Au cours de la manipulation, les élèves font réagir séparément, dans des tubes à essais, le cuivre et le zinc sur l'acide chlorhydrique ; ils identifient l'hydrogène formé et les ions Zn^{2+} dans un cas et constatent la non réaction du cuivre. Au cours de la manipulation 2 ils introduisent le mélange de cuivre et zinc en poudre dans un ballon muni d'un tube à dégagement et recueillent le gaz dégagé sur la cuve à eau, dans une éprouvette graduée. Les calculs demandés nécessitent l'application de l'équation des gaz parfaits qui est une des connaissances exigibles.

Les moyens de contrôle

Les gestes nécessaires à la bonne réalisation du recueil de l'hydrogène dégagé ainsi que les précautions d'usage de la soude sont données,.

Chapitre 4 : La conductimétrie

TP : Étude des facteurs d'influence (Nat1SCh04)

Dans ce protocole, on propose d'étudier l'influence de la surface S des plaques plongées dans la solution et la distance l entre les deux plaques sur la valeur de la conductance G d'une solution. L'objectif de la manipulation 1 est d'étudier l'influence de la surface S des lames ; après avoir versé dans un bécher une solution de chlorure de sodium, et placer le dispositif dans la solution, les élèves réalisent le circuit électrique qui leur permettra de mesurer la tension aux bornes des plaques et l'intensité dans le circuit, en fonction de la surface immergée ; ils tracent ensuite la courbe donnant les variations de G en fonction de S . Lors de la manipulation 2 ils étudient l'influence de la distance l entre les lames et tracent un autre graphe donnant les variations de G en fonction de $1/l$.

Chapitre 5 : Les réactions acido-basiques

TP : Réalisation de quelques réactions acido-basiques (Nat1SCh05)

Dans le protocole, on propose de réaliser quelques-unes de ces réactions au laboratoire. L'élève réalise d'abord une réaction chimique entre le chlorure d'ammonium et la soude. Puis, il réalise une réaction chimique entre l'hydrogénocarbonate de sodium et l'acide

chlorhydrique. Ensuite, une réaction entre le carbonate de calcium et l'acide chlorhydrique en adaptant un tube à dégagement pour faire barboter le gaz dégagé dans un verre contenant de l'eau de chaux. Puis, la réaction entre l'acétate de sodium et l'acide chlorhydrique. Ensuite, la réaction entre l'acide acétique et l'eau. Et finalement, la réaction entre l'ammoniac et l'eau en utilisant la phénol-phtaléine pour observer sa couleur dans l'eau distillée, puis en milieu basique.

Chapitre 6 : Les réactions d'oxydoréduction

TP : Réalisation de quelques réactions d'oxydoréduction (Nat1SCh06)

L'objectif de la manipulation est d'effectuer des réactions d'oxydoréduction pour déterminer les réactifs et produits, et d'écrire les équations de la réaction. Pour cela, on propose aux élèves de réaliser d'abord une réaction entre le zinc métal et l'acide chlorhydrique ; la manipulation a déjà été effectuée au cours du TP "détermination de la composition d'une poudre constituée de deux métaux" ; les instructions données sont aussi détaillées que lors de ce TP et il n'y a donc pas réinvestissement d'une expérience déjà vue. Les réactions suivantes envisagées sont celles entre le fer métal et les ions cuivre (II) $[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})]$ puis entre les ions fer (II) $[\text{Fe}^{2+}(\text{aq})]$ et les ions permanganate $\text{MnO}_4^- (\text{aq})$. Cette dernière consiste à ajouter progressivement, à l'aide d'une burette, la solution de permanganate dans la solution de fer(II) afin d'observer la décoloration de la solution violette puis la couleur rose persistante. La transformation des ions fer (II) en ions fer (III) est identifiée par un test utilisant une solution de soude. Cette manière de procéder annonce le dosage d'oxydo-réduction du TP suivant.

Chapitre 7: Les dosages

TP : Réalisation de dosages (Nat1SCh07)

L'objectif affiché de la manipulation 1 est de réaliser un dosage acido-basique conductimétrique d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium. L'élève doit d'abord mettre en place le montage à partir d'un schéma donné ; les réglages de l'appareil sont donnés aussi. Pour les mesures, il doit mesurer d'abord la conductance initiale puis après chaque ajout de soude fait à la burette. L'exploitation des résultats se fait par tracé d'une courbe.

Pour la manipulation 2, l'objectif est de réaliser deux dosages d'oxydo-réduction. Pour cela, l'élève doit doser d'abord une solution d'ions fer (II) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ par une solution acide d'ions

permanganate MnO_4^- (aq) et puis doser d'une solution de diiode I_2 (aq) par une solution d'ions thiosulfate $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (aq)

L'élève peut savoir ce qu'il doit obtenir car la couleur rose persistante dans le premier dosage et les changements de couleur de la solution de diiode sont indiqués.

Chapitre 8 : La chimie organique

TP : Analyser des molécules grâce à l'informatique. (Nat1SCh08)

L'objectif est d'observer et interpréter la géométrie de molécules organiques. Pour cela, on propose d'utiliser les modèles moléculaire ou l'informatique pour obtenir instantanément la structure spatiale d'une molécule et en déduire de nombreux renseignements comme la formule semi-développée.

Chapitre 9 : La squelette carboné

TP : Distillation d'un mélange de deux corps purs (Nat1SCh09)

L'objectif de la manipulation 1 est de réaliser la séparation d'un mélange d'acétone et de cyclohexane en ses deux constituants purs. Pour cela, l'élève doit d'abord réaliser -à partir de la figure- le montage d'une colonne Vigreux munie de son thermomètre et d'un réfrigérant, le moyen de chauffage utilisé est un chauffe-ballon. Les volumes mesurés et la verrerie utilisée sont précisés. La récupération du distillat est parallèlement suivi d'un relevé régulier des températures (toutes les 30 secondes). Ensuite, la caractérisation des fractions est faite à l'aide d'une solution de 2.4- dinitrophénylhydrazine.

Les températures de stabilisation (56°C et 81°C) correspondant aux passages successifs des deux liquides sont indiquées, constituant ainsi des moyens possibles de contrôle de réussite de la manipulation. Les précautions de montages du réfrigérant et de l'arrêt de la manipulation sont aussi données.

Chapitre 10 : Modifier le squelette carboné

TP : Polymérisation du styrène (Nat1SCh10)

L'objectif de la manipulation est de préparer un polymère du styrène $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2$. Pour obtenir le styrène, l'élève démarre le chauffage du bain-marie et lave le styrène. Puis, la polymérisation du styrène, a lieu au bain-marie, en présence de peroxyde de benzoyle dans un tube muni d'un réfrigérant à air. Pour la mise en évidence du polymère préparé, après avoir

refroidi le tube à essais sous un filet d'eau, il verse la moitié du contenu du tube sur une brique et l'autre moitié dans un bécher contenant de l'alcool à 90°

Chapitre 11 : Les groupes caractéristiques

TP : Identification de groupes caractéristiques (Nat1SCh11)

L'objectif de la manipulation 1 est d'identifier expérimentalement quelques groupes caractéristiques ou la liaison double C=C, à partir de tests. Cette séance constitue un réinvestissement de différentes réactions déjà étudiées dans la classe ou les chapitres précédents

Chapitre 12 : La Réactivité des alcools.

TP : Préparation de l'acide benzoïque (Nat1SCh12)

Dans ce protocole, on prépare un acide carboxylique par oxydation d'un alcool en utilisant les techniques du laboratoire : chauffage à reflux, filtration, extraction.

Dans la manipulation 1, l'objectif est de réaliser l'oxydation de alcool benzylique par le permanganate de potassium en présence de carbonate de sodium.

Bien que la technique de chauffage à reflux soit connue des élèves depuis la classe de seconde, toutes les opérations à effectuer sont précisées. Les modifications de couleur à observer sont indiquées, elles constituent ainsi des moyens possibles de contrôle du bon déroulement de la manipulation.

Au cours de la manipulation 2, l'élève extrait l'acide benzoïque. Pour cela, l'élève après une filtration Büchner, acidifie le mélange avec de l'acide chlorhydrique concentré pour obtenir, par refroidissement la précipitation de l'acide benzoïque. Ce dernier est enfin mis à sécher dans une étuve à 70°C.

La filtration sous vide est vue ici pour la première fois, toutes les indications sont données pour que celle-ci soit correctement réalisée.

Chapitre 13 : Passage d'un groupe caractéristique à un autre.

TP : Préparation du 2-chloro-2-méthylpropane (Nat1SCh013)

L'objectif de cette manipulation est de préparer, avec les techniques de la chimie organique, un dérivé halogéné à partir d'un alcool. Il opère dans une ampoule à décanter, la séparation d'un mélange de 2-méthylpropan-2-ol (tiède) et d'acide chlorhydrique. La phase organique, est ensuite lavée par une solution d'hydrogencarbonate de sodium jusqu'à obtention d'un pH

6-7 pour les eaux de lavage. Cette phase est ensuite séchée à l'aide de chlorure de calcium anhydre. Après décantation, le volume de la solution est mesuré avant d'opérer une distillation. Le montage du dispositif est réalisé et surveillé par l'élève, la température de fin de palier est indiquée. Le volume est mesuré en fin de manipulation et le rendement de la préparation est demandé.

Cette manipulation est un réinvestissement (extension) d'un certain nombre de technique déjà étudiées par l'élève. Néanmoins un certain nombre de détails sont précisés afin que la manipulation soit réussie.

Chapitre 14 : La cohésion de la matière

TP : Estimer l'énergie de cohésion de l'eau liquide (Nat1SCh014)

L'objectif est d'évaluer la valeur de l'énergie de cohésion de l'eau liquide à 100°C. Pour cela l'élève chauffe avec un thermoplongeur une masse déterminée d'eau placée dans un bécher calorifugé. L'ébullition de l'eau est maintenue durant une dizaine de minutes afin que le volume d'eau, facile à repérer, et donc la masse, diminuent sensiblement.

À partir de la puissance thermique du thermoplongeur et de la masse d'eau vaporisée, un ordre de grandeur de l'énergie de cohésion est obtenu.

Chapitre 15 : Aspect énergétique des transformations

TP : Estimation de l'énergie thermique libérée par la combustion de la paraffine (Nat1SCh015)

Pour estimer l'énergie thermique libérée par la combustion de la paraffine, l'élève doit élever la température d'une quantité déterminée d'eau d'une dizaine de degrés en faisant brûler une bougie. La détermination, par pesée, de la masse de la bougie consommée permet une détermination de la quantité de paraffine consommée. La même opération de chauffage (même masse d'eau, même élévation de température) par effet Joule permet d'évaluer l'énergie électrique fournie par un thermoplongeur lors d'une deuxième expérience. En supposant que les pertes thermiques dues aux échanges avec le milieu ambiant sont les mêmes dans les deux cas, l'élève détermine l'énergie thermique libérée par la combustion d'une mole de paraffine et la compare à la valeur donnée dans les tables. Un recensement des facteurs qui conduisent à une différence entre les valeurs théorique et expérimentale est demandé.

Conclusion

Dès le premier protocole, les auteurs du manuel considèrent que l'apprentissage a déjà eu lieu dans la classe de seconde et les élèves savent quel matériel doit être utilisé pour faire une dilution ou préparer une solution.

Il nous semble qu'entre les 2 premiers TP il y a une certaine incohérence dans les précisions apportées sur la verrerie dans le TP 2 alors que cela n'était pas fait dans le TP précédent qui lui ressemble, le réinvestissement des acquis pouvant se faire après une séance de rappel et non l'inverse

À la lecture des protocoles, il semble que les auteurs considèrent que tous les TP ne seront pas réalisés, si non, on ne comprend pas pourquoi, certaines manipulations qui ont été réalisées au TP "n" sont totalement décrites au TP "n+1", sans considérer qu'il y a réinvestissement des manipulations déjà faites. (exemple chapitres 6 et 7)

On peut aussi dire que certains TP qui sont des réinvestissements (ou des extensions) de techniques déjà vues sont excessivement détaillés, ne favorisant pas une autonomie de l'élève.

I-3- NATHAN Terminale S

Ces résumés se rapportent aux protocoles de TP figurant dans les annexes 4-3 intitulées "Nathan TS Ch" de TS Ch02-I à TS Ch17

Comme en classe de Première, chaque protocole donne une liste de matériel utile pour les manipulations.

Chapitre 2 : "Transformations lentes et rapides. Facteurs cinétiques"

TP 1 : Un facteur cinétique : la concentration initiale d'un réactif (NathanTSCh02-I)

Au cours de cette manipulation, la transformation chimique étudiée est la réaction entre une solution d'acide éthanóique $\text{CH}_3\text{-COOH(aq)}$ et l'ion hydrogénocarbonate $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$. L'équation de la réaction est donnée. L'objectif de la séance est de mettre en évidence l'influence de la concentration en acide éthanóique sur la durée de dégagement du gaz carbonique. Les manipulations sont de deux sortes, la première a pour objectif déclaré de suivre l'évolution de la pression en fonction du temps (la réaction a lieu à volume constant) ; l'objectif de la manipulation 2, est plus spécifiquement de mettre en évidence l'influence de la concentration molaire de l'acide éthanóique sur la durée d'évolution du mélange.

Au cours des deux manipulations l'élève fait réagir la même masse d'hydrogénocarbonate de sodium avec une solution d'acide éthanóique, dans un ballon fermé relié à un capteur de pression qu'il note régulièrement. Dans la première manipulation l'acide éthanóique possède une concentration de $2,0 \text{ mol.L}^{-1}$, dans le deuxième cas, la solution est diluée par l'élève à $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$.

L'exploitation des mesures est faite en traçant, sur le même graphique, les deux courbes représentant l'évolution de la pression en fonction du temps. Les mesures de la température, du volume et l'évolution de la pression permettent de déterminer l'avancement de la réaction.

Si la verrerie à utiliser est indiquée pour la réaction proprement dite (60 mL mesurés à l'éprouvette), celle qui permet de faire la dilution de l'acide éthanóique ne l'est pas. Il est dit "Préparer 100 mL d'une solution d'acide éthanóique de concentration molaire $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ à partir de la solution à $2,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ". L'élève est supposé savoir faire une dilution et savoir qu'il doit utiliser une fiole jaugée. Pourquoi indiquer la même précision pour deux verreries différentes, alors que les programmes insistent sur les compétences ayant traits aux chiffres significatifs ?

Chapitre 2 : "Transformations lentes et rapides. Facteurs cinétiques"

TP 2 : Deux facteurs cinétiques : la concentration initiale des réactifs et la température (NathanTSC02-II)

La transformation étudiée, dont l'équation est donnée, est l'oxydation des ions iodure $\text{I}(\text{aq})$ par les ions peroxodisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$.

Pour étudier les facteurs influant sur la durée d'évolution du système, on réduit le diiode formé par les ions thiosulfate selon une équation qui est aussi donnée.

Dans la manipulation 1, l'objectif est de montrer que la concentration initiale des réactifs est un facteur cinétique. Pour cela, l'élève mélange des volumes déterminés d'eau et de solutions d'iodure de potassium et de thiosulfate de sodium, après ajout d'un indicateur de réaction (empois d'amidon ou thiodène), il verse un volume défini de la solution de peroxodisulfate de potassium en déclenchant simultanément le chronomètre. Et mesurer la durée nécessaire à l'apparition de la coloration bleue. L'élève effectue 5 mélanges de concentrations différentes.

Lors de la deuxième manipulation, l'effet de la température est étudié. Pour un des mélanges étudiés précédemment, l'élève effectue la réaction aux alentours de 70°C . Les manipulations restent les mêmes que précédemment.

Chapitre 3 : "Suivi temporel d'une transformation chimique. Vitesse de réaction"

TP 1 : Suivi d'une réaction par conductimétrie (NathanTSC03-I)

La manipulation consiste à suivre la réaction de l'éthanoate d'éthyle avec les ions $\text{HO}^-(\text{aq})$ par conductimétrie. Cette réaction est dite lente et totale. L'objectif est donc de mesurer la conductivité de la solution au cours de la réaction. Ce suivi peut se faire manuellement ou avec un ordinateur. L'élève mélange donc des volumes précisés de soude et d'éthanoate d'éthyle en déclenchant le chronomètre. Les volumes et concentrations sont tels que le mélange est stœchiométrique. Le temps que doit durer la prise de données et le nombre de mesures à faire sont indiqués dans le protocole.

Une deuxième manipulation conduit l'élève à mesurer la conductivité de la solution lorsque la réaction est terminée, c'est à dire de mesurer cette grandeur pour un mélange d'éthanoate de sodium et d'eau.

L'exploitation des manipulations consiste à exprimer l'avancement de la réaction et à déterminer le temps de demi réaction.

Les indications sur l'utilisation de la verrerie sont toujours peu cohérentes.

Chapitre 3 : "Suivi temporel d'une transformation chimique. Vitesse de réaction"

TP 2 : Suivi d'une réaction par une méthode chimique (NathanTSC03-II)

La transformation chimique étudiée est celle de l'eau oxygénée et des ions iodure. Au cours de la réaction, dont l'équation est donnée dans le protocole, du diiode est formé ; celui-ci est dosé par le thiosulfate et là encore l'équation de la réaction est donnée. Alors que la première transformation est lente la seconde est rapide, ce qui justifie l'emploi d'un dosage.

Au cours d'une première manipulation, l'élève dose la solution d'eau oxygénée par une solution de permanganate de potassium.

La deuxième manipulation est l'étude de la réaction entre l'eau oxygénée et les ions iodure proprement dite. Après avoir mélangé l'eau oxygénée, l'iodure de potassium et de l'acide sulfurique, l'élève déclenche le chronomètre, répartit le mélange dans une dizaine de béchers et procède aux titrage toutes les 2 minutes par la solution de thiosulfate de sodium. Aucune indication n'est donnée quant au titrage, les élèves sont censés savoir quel dispositif mettre en place et comment opérer.

L'exploitation des résultats est à peu près la même que précédemment : dresser le tableau d'évolution de la réaction de dosage, déterminer l'avancement et le représenter graphiquement

en fonction du temps, calculer le temps de demi-réaction, évaluer la vitesse volumique de réaction aux dates $t=0$ et $t=30$ minutes.

On peut s'étonner qu'il soit demandé à l'élève d'écrire l'équation de réaction de l'eau oxygénée sur le permanganate en milieu acide alors que les autres équations des réactions qui interviennent dans la manipulation sont données. Les deux premières équations données permettent de comprendre le déroulement de la manipulation alors que l'équation de réaction demandée est nécessaire pour faire les calculs mais non pour comprendre la manipulation de cinétique chimique.

Chapitre 4 : "La spectrométrie"

TP 1 : Titrage d'une solution de chlorure de nickel (NathanTSC04-I)

Le protocole possède plusieurs objectifs déclarés au début de chacune des trois manipulations. Le tracé du spectre d'absorption d'une solution de chlorure de nickel (II) est l'objectif de la première manipulation. La solution est déjà préparée, l'élève doit en remplir une cuve du spectrophotomètre, le zéro du spectrophotomètre se faisant sur l'eau. Les limites de la variation de la longueur d'onde sont indiquées (350 - 800 nm), le pas de mesure de l'absorbance est aussi donné (10 nm). Le protocole précise que le zéro doit être fait à chaque mesure. L'élève doit tracer un graphe de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde.

L'objectif de la deuxième manipulation est de préparer une série de solutions étalons par dilution de la solution de chlorure de nickel (II) déjà utilisée dans la manipulation précédente. Pour ces préparations la verrerie (fiolle et pipette jaugée) sont indiquées. L'élève doit calculer les concentrations des solutions dont le volume de solution mère est indiquée (l'élève prépare toujours 10mL de solution).

Après avoir préparé ces solutions l'élève en mesure l'absorbance et trace la droite d'étalonnage afin de déterminer la concentration de la solution à titrer, ce qui correspond au troisième objectif de la séance. La longueur d'onde $\lambda_{\max} = 395$ nm, correspondant au maximum d'absorption du spectre, est indiquée.

On peut noter que les instructions données par le protocole permettent à l'élève de manipuler le spectrophotomètre, mais qu'aucun moyen de contrôle implicite ou explicite n'est donné. Par exemple, tenir correctement la cuve afin que les traces de doigts ne gênent pas l'absorption, ou encore l'indication de la précision du matériel de mesure (10,0mL lorsque l'on utilise de la verrerie jaugée)

Chapitre 4 : "La spectrométrie"

TP 2 : Suivi d'une cinétique chimique par spectrométrie (NathanTSC04-II)

La manipulation centrale correspond à l'étude de la réaction de l'eau oxygénée $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ avec les ions iodure $\text{I}^-(\text{aq})$. Elle produit une espèce colorée $\text{I}_2(\text{aq})$ dont la formation peut être suivie par spectrométrie. La représentation graphique $A = f(\lambda)$ pour cette espèce est donnée. La réaction est totale mais lente.

Au cours d'une première manipulation l'élève prépare des solutions étalons de diiode ; c'est l'occasion de réutiliser le spectrophotomètre afin probablement d'en maîtriser le fonctionnement pour une bonne utilisation dans la deuxième manipulation et de vérifier que la loi de Beer-Lambert est compatible avec ses solutions, (l'élève doit tracer le graphe $A = f(c)$ pour une longueur d'onde donnée) ce qui constitue un moyen de contrôle d'une bonne manipulation.

La deuxième manipulation correspond au suivi proprement dit de la réaction. L'élève, après avoir mélangé les deux solutions de iodure et d'eau oxygénée fournies et ajouté de l'acide sulfurique, fait démarrer le chronomètre et répartit le même volume de ce mélange dans des fioles jaugées ; à des dates déterminées il effectue une trempe d'une des fioles en y ajoutant de l'eau distillée et mesure l'absorbance de la solution obtenue. L'exploitation des mesures (détermination de l'avancement à différentes dates et temps de demi-réaction) se fait après avoir tracé la représentation graphique $[\text{I}_2(\text{aq})] = f(t)$.

Les indications de la verrerie à utiliser sont aléatoires et déroutantes. Celles qui concernent la préparations des solutions étalons sont toujours aussi imprécises (10mL au lieu de 10,0 pour la fiole jaugée indiquée). Pour le suivi de la réaction l'élève doit mélanger 100 mL de chacune des solutions, est-ce 100mL ou 100,0mL ? L'élève doit-il utiliser une éprouvette ou une fiole jaugée ? Enfin lorsqu'il répartit le mélange dans des fioles, il prélève 5,0mL à la pipette.

Chapitre 6 : "Réactions s'effectuant dans les deux sens"

TP : Avancement final de réactions acido-basiques (NathanTSC06)

L'objectif est de mesurer le pH de solutions d'acide chlorhydrique et d'acide éthanoïque et de calculer le taux d'avancement final des réactions afin de déterminer si l'acide est fort ou faible. La manipulation consiste à préparer des solutions d'acide chlorhydrique et d'acide éthanoïque de plus en plus diluées. Les concentrations varient de $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ à $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$. L'élève mesure ensuite le pH des solutions préparées.

L'exploitation des résultats s'appuie sur la compatibilité du pH mesuré avec le pH calculé à partir de la relation $\text{pH} = -\log_{10} c$ qui s'applique pour les acides forts et non pour les acides faibles ; les élèves doivent calculer le taux d'avancement final pour l'acide éthanoïque.

Chapitre 7 : "Etat d'équilibre d'un système"

TP : Détermination conductimétrique d'une constante d'équilibre (NathanTSC07)

L'objectif de la manipulation est de calculer le taux d'avancement final et la constante d'équilibre de la réaction d'acides faibles avec l'eau. Une réflexion, préalable à la manipulation invite les élèves à s'interroger : les mesures conductimétriques réalisées sur des solutions d'acides concernent-elles l'état initial ou l'état d'équilibre des systèmes étudiés ?

Pour différentes solution d'acides éthanoïque, méthanoïque, benzoïque, l'élève est conduit à partir d'un montage conductimétrique qu'il réalise lui-même, à mesurer les conductances des solutions et à déduire les conductivités. L'exploitation des résultats conduit l'élève à déterminer le taux d'avancement final de la réaction de chacun des acides étudiés avec l'eau et la constante d'équilibre K associée à l'écriture de la réaction des trois acides avec l'eau.

Chapitre 8 : "Transformations associées à des réactions acido-basiques"

TP : Étude spectrophotométrique d'un indicateur coloré (NathanTSC08)

L'objectif de la manipulation est de déterminer le rapport $[B]/[A]$ des concentrations des formes basique et acide dans le cas du bleu de bromothymol à divers pH pour en déduire le domaine de prédominance des deux espèces conjuguées et le pK_A de l'indicateur.

Après des considérations théoriques conduisant l'élève à différents calculs, ce dernier prépare des solutions de l'indicateur à partir de solutions tampon acide, basique et neutre. Une mesure d'absorbance permet de calculer les rapports des concentrations à ces pH et pour les longueurs d'onde correspondant aux maximums d'absorption du bleu de bromothymol. L'élève en déduit alors les domaines de prédominance de chacune des formes conjuguées du bleu de bromothymol et la valeur du pK_A .

On notera, que dans cette manipulation, les volumes sont indiqués avec la précision requise : 2,0 mL ou 5,0 mL lorsque l'élève doit utiliser des pipettes jaugées.

Chapitre 9 : "Titrages pH-métriques"

TP 1 : Titrage pH-métrique de l'acide éthanoïque contenu dans un vinaigre (NathanTSC09-I)

L'objectif est de réaliser le titrage pH-métrique d'un vinaigre (produit de la vie courante), pour déterminer sa concentration molaire et son degré d'acidité.

Après avoir effectué une dilution au 1/10 du vinaigre commercial, il procède au dosage pH-métrique, en présence des deux indicateurs colorés, l'hélianthine et la phénol phtaléine

Le matériel à utiliser pour opérer la dilution est montré, l'élève pourtant devrait pouvoir contrôler son choix après la classe de première et les précédentes manipulations ; une question est cependant posée sur le matériel à utiliser pour la dilution (savoirs techniques). À l'inverse, le volume de vinaigre à mesurer pour effectuer le dosage n'est pas indiqué avec la précision requise. Pour l'exploitation du dosage l'utilisation de l'ordinateur est suggérée.

Chapitre 9 : "Titrages pH-métriques"

TP 2 : Titrage colorimétrique de l'acide ascorbique contenu dans un comprimé de médicament (NathanTSC09-II)

L'objectif de cette manipulation est de vérifier qu'un comprimé de Vitascorbol 500 contient bien 500 mg d'acide ascorbique.

Après avoir écrasé un comprimé et l'avoir mis en solution, l'élève procède au dosage par une solution de soude en présence d'un indicateur coloré, le rouge de crésol. Des questions permettent de faire prévoir à l'élève le volume de soude à verser à l'équivalence.

Le dosage est en partie guidé par l'image qui montre le dispositif et par des indications comme "Verser rapidement la solution de soude jusqu'à un volume $V_{\text{équivalence théorique}} - 2,0 \text{ mL}$, puis ajouter cette solution goutte à goutte de manière à obtenir un virage à la goutte

Des questions portent sur la compréhension du protocole et sur le calcul de la masse d'acide ascorbique. Il n'est pas précisé de faire 2 dosages, l'un rapide et l'autre plus lent.

Chapitre 10 : "L'évolution spontanée vers l'état d'équilibre"

TP : Réactions mettant en jeu deux couples oxydant/réducteur du type cation métallique/métal $M^{n+}(\text{aq}) / M(\text{s})$ (NathanTSC10)

Dans cette manipulation, il s'agit de déterminer le sens spontané de la transformation mettant en jeu les couples : $M^{2+}(\text{aq})/M(\text{s})$ et $M'^{2+}(\text{aq})/M'(\text{s})$, afin de classer les métaux selon leur pouvoir réducteur (ou les cations métalliques selon leur pouvoir oxydant) ; M et M' représentent deux métaux différents comme le cuivre, le zinc et le fer.

Les manipulations consistent à faire réagir :

- une solution de sulfate de fer (II) et une lame de cuivre,
- une solution de sulfate de cuivre et de limaille de fer,
- une solution contenant des ions zinc et une lame de cuivre,
- une solution de sulfate de cuivre et du zinc en poudre,
- une solution de sulfate de zinc et une lame de fer,
- du sulfate de fer (II) en solution et du zinc en poudre

A la suite des observations, les élèves écrivent les équations de réaction et classent les couples.

Chapitre 11 : "Les piles, fonctionnement en générateur électrique"

TP : Comparaison du pouvoir réducteur de quelques métaux à l'aide de piles électrochimiques (NathanTSCh11)

La manipulation permet d'établir un classement de quelques métaux du plus réducteur au moins réducteur ; elle consiste à réaliser des piles en associant : le zinc et le fer, le cuivre et l'argent (ou le plomb), le cuivre et le fer. Pour chaque pile constituée, les élèves déterminent - à l'aide du multimètre fonctionnant en ampèremètre- le sens de circulation du courant dans le fil reliant les deux lames métalliques. C'est aux élèves de prévoir le montage et d'écrire les équations de réactions ainsi que de procéder au classement des métaux considérés.

Chapitre 12 : "Les piles, grandeurs caractéristiques et exemples"

TP : Quels facteurs peuvent influencer sur la fém d'une pile ? (NathanTSCh12)

Les élèves sont guidés pour rechercher les paramètres susceptibles de modifier la f.é.m. d'une pile électrochimique comme la pile Daniell $Zn/Zn^+(aq)//Cu^+(aq)/Cu$.

Après avoir réalisé la pile ils étudient le rôle de la surface de l'électrode puis celui des concentrations des électrolytes, enfin l'influence de la température est envisagée.

Chapitre 13 : "Transformations forcées. L'électrolyse"

TP : Electrozingage d'une pièce de fer (NathanTSCh13)

L'objectif est de réaliser une électrolyse au laboratoire à partir d'une application : l'électrozingage. Les phénomènes étant inversés par rapport à ceux étudiés précédemment une réflexion préalable conduit les élèves à préciser la polarité des électrodes pour que le zinc

métal soit déposé sur la pièce de fer et à écrire les équations des réactions aux électrodes, sachant que l'électrode de zinc fournit des ions $Zn^{2+}(aq)$.

Après avoir préparé la pièce de fer, les élèves réalisent l'électrolyse et essaient des expériences de corrosion sur la pièce ainsi préparée.

Les élèves doivent plus ou moins prévoir le protocole en recherchant les mesures nécessaires à faire pour mener la comparaison des différences de masse des électrodes et de la masse de zinc effectivement déposée avec celle théoriquement déposée, compte tenu des paramètres de l'expérience.

Le schéma du montage est donné, ainsi que la densité de courant pour mener l'opération et le temps de l'expérience, les opérations de polissage de la pièce de fer sont aussi précisées.

Chapitre 14 : "Les réactions d'estérifications et d'hydrolyse"

TP : Etat d'équilibre commun aux réactions d'estérification et d'hydrolyse (NathanTSCh14)

L'étude de l'estérification /hydrolyse a pour objectif de montrer que l'on obtient le même état d'équilibre en partant d'un mélange équimolaire soit d'acide et d'alcool, soit d'ester et d'eau. La transformation étudiée est celle l'acide éthanóique et du 3-méthylbutan-1-ol en présence d'acide paratoluènesulfonique utilisé comme catalyseur.

L'élève réalise des mélanges équimolaires d'acide et d'alcool d'une part d'ester et d'eau d'autre part. Ceux-ci sont laissés dans un placard durant une quinzaine de jours puis un dosage acido-basique permet de déterminer les quantités totales d'acide présentes dans les mélanges. Des mélanges témoins (préparés au moment de leur emploi) sont dosés. L'élève peut ainsi calculer le taux d'avancement final de la réaction d'estérification ainsi que celui de la réaction d'hydrolyse.

Chapitre 15 : "L'état d'équilibre commun aux réactions d'estérification et d'hydrolyse"

TP : Préparation d'un arôme alimentaire (NathanTSCh15)

L'objectif est d'illustrer les techniques de laboratoire en chimie organique en préparant un arôme alimentaire, utilisé aussi en parfumerie, l'acétate d'isoamyle. C'est l'occasion de revoir la technique du chauffage à reflux et les opérations de décantation, de relargage et de séchage d'un produit.

Chapitre 16 : "Contrôle de l'évolution de systèmes chimiques par changement de réactif"

TP 1 : Synthèse de l'aspirine (NathanTSCh16-I)

Au cours de la séance, les élèves réalisent la synthèse de l'aspirine et purifient le produit obtenu par recristallisation ; c'est là encore l'occasion de revoir des techniques chimiques abordées dans les classes précédentes comme la filtration sous vide et d'apprendre à purifier un produit par recristallisation.

Chapitre 16 : "Contrôle de l'évolution de systèmes chimiques par changement de réactif"

TP 2 : Saponification d'une huile (NathanTSCh16-II)

Cette séance permet de réaliser une saponification et de réinvestir les apprentissages réalisés sur le chauffage à reflux, le relargage, ou la filtration sous vide.

Chapitre 17 : "Contrôle de l'évolution de systèmes chimiques. La catalyse"

TP : Contrôle de qualité sur l'aspirine (NathanTSCh17)

L'objectif de la séance est double : vérifier la pureté de l'aspirine, préparée lors d'une séance précédente par chromatographie sur couche mince et déterminer, par un titrage direct acido-basique la masse d'acide acétylsalicylique contenu dans un comprimé d'aspirine.

La chromatographie sur couches minces est une technique largement utilisée en classe de seconde et les dosages sont aussi étudiés en première et terminale ; néanmoins toutes les indications pour bien réaliser la chromatographie sont données ainsi que celles de bien conduire le dosage de la solution d'aspirine préparée par l'élève.

I-4- HACHETTE Terminale S

HacTSC02 : Mise en évidence des facteurs cinétiques

L'objectif est de montrer l'influence des concentrations en réactifs et de la température sur la vitesse d'évolution d'un système chimique.

La réaction étudiée est celle du thiosulfate de sodium avec l'acide chlorhydrique. Dans un premier temps, la transformation est étudiée du point de vue qualitatif, l'élève ayant placé un motif noir sous un bécher le voit disparaître au cours du temps par suite de la formation d'un précipité de soufre.

Pour l'étude du facteur concentration l'élève prépare différents mélanges de la solution d'acide chlorhydrique et de la solution de thiosulfate de sodium ; il fait varier la concentration de l'une des solutions dans une série d'expériences et la concentration de l'autre solution ensuite, il détermine alors pour chacun la durée nécessaire à la disparition du motif noir.

Pour l'étude du facteur température la transformation est réalisée à température ordinaire et à 40°C.

Moyen de contrôle : il est recommandé à l'élève de revoir la fiche de matériel figurant dans le manuel. Celle-ci donne des repères de précision, par exemple, lorsque l'indication est approximative (environ...mL), le matériel est l'éprouvette, si l'indication est plus précise (avec 2 ou 3 chiffres significatifs) le matériel est jaugé. Par la suite dans les protocoles le choix du matériel est à la charge de l'élève.

HacTSC03 : Suivi du déroulement temporel d'une réaction chimique

L'objectif est d'étudier la réaction de décomposition de l'eau oxygénée en présence d'un catalyseur : les ions fer (III).

Dans un premier temps, l'élève réalise l'étude qualitative, en tubes à essais, de la transformation et le rôle du catalyseur. Il prépare ensuite une solution diluée d'eau oxygénée qu'il dose par une solution de permanganate de potassium avant d'aborder le suivi de la réaction de décomposition. Pour suivre la transformation, l'élève après avoir réalisé un mélange d'eau oxygénée et de catalyseur en milieu acide, réalise différents dosages de l'eau oxygénée par le permanganate de potassium. L'exploitation des résultats se fait par un tracé graphique de l'évolution de la concentration en eau oxygénée en fonction du temps.

On peut noter que aucune indication précise de matériel n'est donnée lorsque l'élève doit réaliser la dilution de l'eau oxygénée ou le dosage de cette solution préparée ; en revanche, pour l'étude de la réaction qui est l'objet du TP, le matériel précis est indiqué. L'élève est donc censé savoir contrôler des choix pour faire une dilution et un dosage au permanganate de potassium.

HacTSch04 : Suivi d'une réaction chimique par spectrophotométrie

L'objectif est d'étudier par spectrophotométrie le déroulement temporel de la réaction entre les ions peroxydisulfate et les ions iodure.

Au cours d'une première manipulation, l'élève détermine le coefficient d'absorption molaire du diiode en solution aqueuse. C'est l'occasion de revoir la manipulation du spectrophotomètre (ou d'apprendre à le manipuler).

L'élève réalise ensuite deux suivis de la réaction, en mesurant l'absorbance d'un mélange de solutions d'ions peroxydisulfate et iodure à des intervalles de temps donnés ; dans le deuxième cas, la solution d'ions iodure est plus diluée.

L'exploitation des résultats est faite à partir de graphiques que l'élève trace et compare.

Aucune indication particulière sur le maniement du spectrophotomètre n'est donnée, soit cela est à la charge du professeur, soit l'élève a déjà manipulé un tel appareil.

HacTSch05 : Etude pH-métrique du taux d'avancement final d'une réaction

La séance a deux objectifs :

- mesurer le pH de différentes solutions et
- étudier l'influence de la concentration et de la nature de l'acide sur le taux d'avancement de la réaction de différents acides avec l'eau.

Dans une première suite de manipulations l'élève opère des dilutions de solutions d'acide éthanoïque, étalonne un pH-mètre et mesure le pH des solutions préparées. Il détermine alors le taux d'avancement final de la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau et l'influence de la concentration sur celui-ci.

Dans une deuxième manipulation, l'élève étudie des solutions d'acide méthanoïque et de chlorure d'ammonium de même concentration, il propose un protocole expérimental permettant de donner le taux d'avancement final des réactions des deux acides considérés avec l'eau. Il envisage donc la nature de l'acide sur le taux d'avancement des réactions étudiées.

HacTSC06-I : Étude conductimétrique d'un système dans l'état d'équilibre

Les objectifs de la séance sont précisés :

- mesurer la conductivité de solutions d'ammoniac de différentes concentrations en solution apportée.
- en déduire le taux d'avancement final et le quotient de réaction dans l'état d'équilibre.

L'élève doit proposer un mode opératoire pour préparer des solutions diluées d'ammoniac et après accord du professeur, les préparer et mesurer leurs conductivités. L'élève définit alors le taux d'avancement final et effectue son calcul pour chacune des solutions. Il détermine enfin, pour chacune des solutions, la concentration effective de l'ammoniac en solution dans l'état d'équilibre et calcule le quotient de réaction dans l'état d'équilibre pour chacune des solutions.

HacTSC06-II : Détermination de constantes d'équilibre

L'objectif est de déterminer par conductimétrie la constante d'équilibre associée à la réaction entre l'acide méthanoïque et l'eau ainsi que celle associée à la réaction de dissolution de l'iodate d'argent dans l'eau.

Bien que l'élève ait déjà manipulé le conductimètre dans le TP précédent, les instructions concernant cet appareil sont les mêmes dans ce protocole. À partir d'une mesure de conductivité d'une solution d'acide méthanoïque, l'élève détermine les concentrations des espèces ioniques à l'état d'équilibre et la constante d'équilibre associée à la réaction de cet acide avec l'eau.

L'élève prépare ensuite un précipité de iodate d'argent à partir de solution équimolaire de iodate de potassium et de nitrate d'argent. Après filtration du précipité et dissolution d'une partie de ce précipité, il mesure la conductivité de la solution saturée obtenue. Il calcule la constante d'équilibre, et comme précédemment, il compare le résultat obtenu au résultat théorique.

Remarque (après avoir lu l'entretien 3) il y a comparaison entre le résultat obtenu et celui que l'on devrait obtenir, comme fait l'expert

HacTSC07 : Étude d'un indicateur coloré : Le bleu de bromothymol

Deux objectifs sont fixés à la séance :

- tracer le diagramme de distribution des espèces acide HInd et basique Ind^- du bleu de bromothymol,

- déterminer la zone de virage de l'indicateur coloré et la valeur du pK_A i du couple acide/base mis en jeu.

Le graphe qui représente les spectres d'absorption des formes acide HInd et basique Ind⁻ du bleu de bromothymol en solution sont donnés.

Des questions théoriques sont posées afin que l'élève mette en relation l'absorbance maximum, la longueur d'onde et les couleurs du bleu de bromothymol en solutions acide ou basique.

Le principe des manipulations est ensuite expliqué. Il s'agit de préparer des solutions de pH différents à partir d'un mélange de plusieurs acides et de différents volumes de solution de soude et d'ajouter, dans ces solutions une solution de bleu de bromothymol. La mesure du pH et de l'absorbance permet de tracer le diagramme de distribution de HInd et Ind⁻.

L'élève est invité à lire le protocole et à indiquer la verrerie à utiliser pour préparer chacune des solutions. Il prépare les solutions, mesure leur pH et leur absorbance ; les résultats sont ensuite exploités en calculant les pourcentages des deux formes de l'indicateur puis le diagramme de distribution des espèces acide et basique de l'indicateur.

HacTSC08-I : Titrage pH-métrique

Au cours de la séance, l'élève réalise deux titrages pH-métrique de produits de la vie courante, l'un d'un produit acide, le vinaigre l'autre d'un déboucheur d'évier contenant une solution de soude dont il doit vérifier le pourcentage massique.

La dilution du vinaigre a déjà été faite par l'enseignant ; toutes les indications pour un bon maniement du pHmètre sont données, de même que celles de l'utilisation de la burette (lavage de la burette avec la solution qui servira au titrage, vérification des bulles d'air et du zéro) et de la précision de la verrerie. La manière de procéder au titrage en versant des volumes de l'ordre de 1mL d'abord puis plus limités lorsque la variation de pH est forte est précisée.

Le deuxième titrage permet une exploration de la méthode de titrage, les indications sont sommaires, l'élève adapte le protocole précédent à un nouveau titrage.

L'exploitation des résultats se fait par tracé de graphes.

HacTSC08-II : Titrage colorimétrique

Là encore l'élève réalise deux titrages colorimétriques acido-basiques de produits de la vie courante ; l'acide ascorbique de la vitamine C et l'acide sulfamique d'un produit détartrant pour cafetière.

Pour le premier, après avoir préparé une solution d'un comprimé de Vitamine C 500 l'élève doit à partir de la courbe donnant la variation du pH et de la courbe dérivée obtenues lors du dosage d'une solution d'acide ascorbique par une solution de soude, choisir l'indicateur coloré lui permettant de doser la solution préparée.

Il apprend à faire deux dosages l'un rapide et l'autre plus précis.

Pour le deuxième dosage c'est à l'élève de proposer le protocole, de le faire vérifier par le professeur avant de le réaliser et d'exploiter les résultats. Seul l'indicateur coloré est indiqué.

HacTSC09 : Étude d'évolutions spontanées

L'objectif est de vérifier la pertinence du critère d'évolution spontanée d'un système dans le cas d'une réaction acido-basique et dans celui d'une réaction d'oxydoréduction.

Dans le cas d'une réaction acido-basique, les quotients de réaction dans l'état initial et dans l'état final d'un système acido-basique sont déterminés à partir de mesures de pH. Deux cas sont envisagés celui d'un mélange équimolaire d'acide acétique et d'acétate de sodium et celui d'un mélange de même volume et de même concentration de deux solutions l'une d'ammoniac et l'autre de chlorure d'ammonium.

Aucune indication n'est donnée quant à l'utilisation du pH-mètre, l'élève est donc supposé savoir en contrôler l'usage. Les volumes de mélanges et la verrerie à utiliser sont indiquées.; il est ensuite guidé pour exploiter les résultats.

Dans le cas de l'oxydo-réduction, le quotient de réaction de l'état initial d'un système est déterminé par un simple calcul. L'élève vérifie que le sens spontané de la transformation est celui prévu par le critère d'évolution en dosant l'une des espèces dissoutes du système dans son état final. Le système étudié est constitué par un mélange de trois solutions de concentrations et volumes différents (de sulfate de cuivre (II), de sulfate de fer (III), et de sulfate de fer (II)) et de poudre de cuivre. L'élève dose ensuite les ions fer (II) par une solution de permanganate de potassium. Les seules indications données pour ce dosage sont le volume initial de solution à doser et la concentration de la solution de permanganate.

HacTSC10 : Constitution et fonctionnement de piles

Il s'agit de réaliser des piles mettant en jeu différents couples Mn^+/M , d'étudier leur fonctionnement et d'en déduire le sens de déplacement des porteurs de charge, les réactions aux électrodes et l'équation globale de fonctionnement.

Les couples sont successivement Fe^{+2}/Fe et Cu^{2+}/Cu , Cu^{2+}/Cu ET Ag^+/Ag . La pile fonctionne en générateur qui débite un courant dans une résistance. Dans le premier cas l'élève est guidé, dans le second, il réinvestit ce qu'il a fait précédemment.

HacTSC11 : Electrolyses en solution aqueuse

Après avoir réalisé des transformations forcées, l'élève, dans cette séance, va évaluer la valeur de la constante de Faraday.

Le principe est de montrer que le passage d'un courant, dont le sens est imposé par un générateur de tension continue, force un système à évoluer.

La première électrolyse est celle du chlorure d'étain. L'élève est conduit à constater la formation de dichlore et d'étain aux électrodes et à considérer que la réaction globale de l'électrolyse est l'inverse de celle qui a lieu spontanément entre l'étain et le dichlore.

À la suite de la deuxième électrolyse qui est celle d'une solution d'iodure de potassium, l'élève mesure le temps que dure l'électrolyse et dose le diiode formé contenu dans la solution électrolysée par une solution de thiosulfate. Aucune indication n'est donnée pour ce dosage, l'élève doit donc étendre le champ de sa compétence (Astolfi et al, 1991) de contrôle de dosage. À partir des mesures d'intensité et de temps, ainsi que du résultat du dosage l'élève détermine une valeur de la constante de Faraday.

La troisième manipulation est une électrolyse à anode soluble ; l'élève détermine, à partir des mesures une deuxième valeur de la constante.

HacTSC12 : Synthèse de l'éthanoate de benzyle

La manipulation consiste à réaliser la synthèse d'un ester et à vérifier par chromatographie sur couche mince la nature du produit obtenu et sa pureté. L'ester est préparé à partir d'acide éthanoïque et d'alcool benzylique en présence d'acide sulfurique comme catalyseur.

L'élève réalise un montage du chauffage à reflux, sans qu'aucune précision ne soit donnée sur le montage, qu'il est censé connaître.

L'élève procède ensuite à une opération de relargage et de décantation, là encore aucune indication n'est donnée sur le maniement de cette verrerie qui est supposée connue. Après élimination de la phase aqueuse, l'excès d'acide est mis à réagir avec une solution d'hydrogénocarbonate de sodium et toutes les indications pour une bonne manipulation de l'ampoule à décanter dans cette opération délicate sont données. Le produit est lavé et séché chimiquement.

La caractérisation de la pureté du produit obtenu se fait pas chromatographie sur couche mince par comparaison avec de l'éthanoate de benzyle et de l'alcool benzylique. Quelques indications sur la réalisation de la chromatographie sont données (où commencer, où s'arrêter).

HacTsch13 : Estérification, hydrolyse

Les objectifs de ces manipulations sont d'étudier l'évolution temporelle de la réaction d'estérification et de déterminer le rendement à l'équilibre lors de l'estérification, puis lors de l'hydrolyse.

Pour atteindre le premier objectif un mélange équimolaire d'éthanol et d'acide éthanoïque, additionné d'acide sulfurique concentré, est réparti, après homogénéisation, en plusieurs échantillons identiques, placés dans un bain-marie maintenu à température constante. À intervalles de temps réguliers, ces échantillons subissent une trempe et leur composition est déterminée par un dosage acido-basique. Le tracé des graphes $n_{\text{acide}} = f(t)$ et $n_{\text{ester}} = g(t)$ est alors possible.

La manipulation ne concerne que l'estérification. Car pour l'hydrolyse, il est impossible d'obtenir un mélange initial homogène et de le répartir en divers échantillons identiques et l'étude est limitée à celle de l'état final du système, après une évolution d'environ 45 minutes à 40 °C, ce qui conduit à déterminer le rendement à l'équilibre lors de l'hydrolyse.

Moyens de contrôle : l'élève est invité à lire les pictogrammes sur les étiquettes pour conclure à des mesures de sécurité.

HacTsch14-I : Synthèse de l'aspirine

Comme pour la synthèse de l'éthanoate de benzyle, il s'agit de réaliser la synthèse de l'aspirine ou acide acétylsalicylique à partir de l'anhydride éthanoïque et de l'acide salicylique puis d'identifier l'aspirine ainsi synthétisée à l'aide d'une chromatographie sur couche mince. Le montage de chauffage à reflux et le type de préparation sont les mêmes que ceux de la manipulation 12. Le produit obtenu par filtration est séché à l'étuve. Les indications pour la chromatographie sur couche mince sont les mêmes que précédemment ; l'aspirine préparée est comparée à de l'aspirine commerciale et à l'acide salicylique.

L'élève est invité à proposer et éventuellement à mettre en oeuvre une autre technique permettant de vérifier que le produit obtenu est de l'aspirine.

HacTsch14-II : Synthèse et propriétés d'un savon

Les opérations nécessaires pour la préparation du savon ont déjà été vues plusieurs fois : chauffage à reflux, relarguage du produit obtenu en fin de chauffage, filtration sur Büchner et séchage à l'air libre.

L'étude des propriétés des savons conduit l'élève à préparer une solution de savon de Marseille pour déterminer son pH, l'action moussante du savon en présence de différentes eaux minérales qui sont plus ou moins dures

HacTsch14-III : Dosage direct de l'aspirine d'un comprimé

Après avoir préparé l'aspirine, l'élève, au cours de la dernière manipulation dose l'acide acétylsalicylique contenu dans un comprimé et compare le résultat obtenu à la valeur affichée. L'élève met le comprimé en solution puis fait un dosage pH-métrique par la soude. C'est à lui de proposer un protocole complet de ce dosage qu'il réalisera.

II- Ressources, guidages, repères

Un protocole scolaire développe des indications qui ne figurent pas dans un protocole d'expert.

L'enjeu des protocoles scolaires n'est pas seulement de viser la réussite, par l'opérateur, de la manipulation prescrite, mais c'est aussi, ce faisant, de mettre en œuvre des concepts qui doivent à cette occasion prendre du sens. Au cours de la séance, l'élève doit opérationnaliser les concepts enseignés, se les approprier pour qu'ils puissent par la suite les mobiliser pour l'action, faire en sorte que cela devienne pour lui des moyens de contrôle de son activité aux différents moments : dans une phase de planification et de contrôle préalable, au cours de l'activité, et lors de l'évaluation de son résultat. Dans quelle mesure les protocoles donnent-ils aux élèves des moyens de contrôler le bon déroulement de leur activité ?

Quatorze protocoles sur vingt, dans les manuels Nathan TS, contiennent la rubrique « Réflexions préalables » ; dans les manuels Hachette TS, sept protocoles sur dix sept contiennent une rubrique « Principe » qui joue le même rôle.

Les protocoles comportent aussi parfois des questions pour susciter la réflexion (surtout dans le manuel Hachette).

Chaque protocole a été analysé dans des termes tels qu'ils permettent la comparaison entre eux (annexes 4-1 à 4-4) quelque soit le niveau ou l'éditeur et avec les épreuves de baccalauréat. Ils sont repérés par le nom du manuel, le niveau scolaire et le numéro du chapitre ainsi que par le titre tel qu'il est affiché dans le manuel.

Les items découpés et numérotés figurent en colonne 2 tels qu'ils apparaissent dans les protocoles opératoires des manuels.

Ils sont codés avec les catégories d'action et d'information présentées au chapitre 3.

Ils présentent également, dans les autres colonnes, des éléments appelés « repères dans le protocole » qui seront détaillés ci après en relation aux questions de recherche.

➤ *Ressources*

Le protocole non seulement prescrit les actions à accomplir (comme un protocole utilisé par un expert), mais aussi aide l'élève à construire des liens entre les actions effectuées et leurs raisons d'être. Il fournit en fait des informations dont les experts disposent mais qui sont soit non disponibles, soit non mobilisables par les élèves à un niveau donné de leur scolarité (voir dans le chapitre 2 ce que les enseignants disent des compétences des étudiants). Ces informations sont soit théoriques soit pratiques soit techniques selon la classification utilisée dans le chapitre 2 pour l'analyse des entretiens des experts. Elles peuvent servir de repère à l'élève pour contrôler le bon déroulement de sa manipulation.

Les tableaux d'analyse de protocoles (annexes 4-1 à 4-4) comportent, pour chaque item, le codage (GMa, GCo) tel que présenté et utilisé au chapitre 3 qui catégorise les gestes manuels, les gestes cognitifs, les actions compactes mais aussi les informations (It2..It9) qui constituent autant de ressources potentielles.

➤ *Guidages*

S'il tient compte des compétences des élèves, le protocole « émiette » ou compacte les actions à effectuer. Les actions compactes sont dans cette même colonne notées AC.

Pour un protocole donné, cette colonne pourra être comparée avec celle de protocoles antérieurs (placés dans un chapitre précédent du manuel) pour voir si cette intégration est compatible.

Certaines actions compactes (AC) sont émiettées dans les protocoles précédents. On peut considérer alors que les élèves disposent d'un « modèle » pour cette action. Ce sera donc codé

ainsi dans les grilles d'analyse avec, entre parenthèses, le nom de la technique correspondante.

Ces « modèles » sont des « montages gestuels » et peuvent être reconstitués à partir des actions élémentaires que l'on trouve dans les protocoles de manuels antérieurs. Nous donnons en annexe 4-5 les « modèles » ainsi reconstitués pour la dissolution, la dilution, la pesée, le dosage, l'étalonnage du pH-mètre, la préparation d'une solution.

➤ **Repères**

Sont ensuite classifiés les repères (ou absence de repère) des protocoles en distinguant ce qui peut être utilisé par l'élève pour contrôler son action et ce qui peut être utilisé pour contrôler le résultat de son action. Nous n'avons pas dans ce travail étudié la réalité de ce que les élèves font ou ne font pas. Ce qui est repéré ici est de l'ordre du possible et non du réel.

Nous commençons par présenter ce qui est appelé « repères donnés », dans les colonnes (7 et 8) de droite des tableaux des annexes 4-1 à 4-4.

Nous indiquons dans la colonne (7) **Repère-guidage (action prescrite)** ce que le protocole indique ; par exemple : comparer la couleur de la zone réactive avec celle de l'échelle de teintes, ajuster le niveau du liquide au zéro en veillant à ce que l'extrémité inférieure ne contiennent pas de bulles d'air, ou bien utiliser une pipette propre .

Certains items correspondent à un avertissement, par exemple concernant l'usage des gants ou des lunettes.

Dans la colonne (8) **Repère-réussite (donné)** nous mettrons des indications de critère observable tel que : la solution vire au pourpre, il se forme un précipité rouge brique, dégagement de gaz à la cathode, ou non observable tel : cela va durer environ 3 minutes.

Nous avons inséré deux colonnes correspondant à des **repères non donnés** et qui donc restent à l'initiative de l'élève, sous son propre contrôle.

La colonne (4) **Repère-guidage (actions non prescrites)** : contient des actions telles que le choix de matériel, de techniques, de quantités à ajouter, laissé à la charge de l'élève.

Elle permet de faire apparaître ce qui est intégré dans une action compacte (AC) et de discuter dans quelle mesure le contrôle de l'activité est laissé à la charge de l'élève ou prise en charge par le protocole.

La colonne suivante (5) code la catégorie d'action correspondant à l'action non prescrite que l'élève a en charge (avec le codage GMa, GCo, Cx).

La colonne **Repère-réussite (non donné)** indique ce qui aurait pu être donné. Par exemple dans le protocole NathanTSCh04-II, on demande de faire les actions suivantes : « Dans un autre bécher, préparer 100 mL de la solution S2. À la date $t = 0$, déclencher le chronomètre, mélanger le contenu des deux béchers et agiter. ». Il n'est pas dit que la coloration jaune intense va devenir brune foncée, information dont disposerait un expert pour contrôler sa manipulation mais que l'élève ne sait pas forcément.

La dernière colonne (9) a pour titre « **Travailler proprement** » (Propreté). Y sera noté par la lettre P ce qui est de l'ordre du soin dans la manipulation , par exemple : utiliser la plaque chromatographie avec soin , utiliser un bécher sec , etc. mais aussi de la sécurité : sentir avec précaution , ajouter progressivement ,... après s'est équipé de gants et de lunettes.

Ont été ainsi codés les items tels que : rincer la sonde avec de l'eau distillée (HachetteTSCh05, 18), rincer la cellule conductimétrique à l'eau distillée (HachetteTSCh06-I, 8), etc. Ces deux items peuvent être également codés dans la colonne « repère guidage donné » dans la mesure où ils précisent avec quoi il faut rincer, connaissance reliée à des savoirs théoriques et pas forcément disponible ou mobilisable pour les élèves.

Cette colonne permettra de juger si le contrôle de la propreté ou de l'état de la verrerie (codé V2 ou V3 dans les entretiens des experts, ou des appareils (codé I2 ou I3 dans les entretiens des experts) est à la charge de l'élève ou prescrit par le protocole.

II-1- La progressivité, la cohérence, le consensus

➤ *Progressivité et cohérence avec l'évaluation*

Les apprentissages techniques de manipulations des appareils, avec acquisition progressive de savoirs techniques sont pris en charge selon plusieurs formes : la liste du matériel et des substances à utiliser dans la manipulation est fournie dans les protocoles des manuels Nathan 1S et TS ; dans ceux de Hachette TS, les élèves sont amenés, avant de commencer la manipulation, à lire les fiches techniques concernées qui sont proposées à la fin du manuel. Dans le manuel de Nathan 2^{nde}, il n'y a pas de liste du matériel.

Les tableaux « avancement des apprentissages » (annexes 4-6 à 4-9), élaborés pour chaque niveau scolaire, rassemblent, pour chacune des manipulations proposées, les actions prescrites, le matériel utilisé (verrerie et instruments, en mettant en gras leur première apparition dans le manuel) et les savoirs en jeu autres que les savoirs pratiques manipulatoires.

Ils font apparaître quantité de savoirs pratiques énonçables en classe de seconde ; rappelons que dans cette classe, ce sont pas des protocoles élèves mais des manipulations présentées non exécutable par l'élève.

Le tableau « avancement des actions » en annexe 4-10, rassemble toutes les actions prescrites, avec repérage de leur apparition dans chacun des chapitres de chacun des manuels analysés. La dernière colonne repère ces mêmes actions dans les sujets d'évaluation du baccalauréat.

Il donne la liste de ce que les élèves ont l'occasion de pratiquer au lycée et donne une idée de la fréquence des gestes sur les trois années de lycée, donc de la familiarisation possible. Un geste rencontré peu souvent ne sera pas contrôlable ni en tant que choix possible, ni en tant que réalisation.

On a ainsi un panorama des techniques : techniques chimiques, techniques d'utilisation du matériel) que l'élève a pratiqué et qu'il doit savoir contrôler.

Les techniques considérées comme maîtrisées et ayant fait l'objet d'une évaluation dans les sujets 1999 sont la Chromatographie (proposés quatre fois au cours des trois années de lycée dans les manuels Nathan), la dissolution (7 items dans les manuels, deux sujets de bac), la dilution ou préparation de solution titrée (8 items repérés dans les manuels, 7 sujets de bac), utilisation du pH-mètre avec étalonnage (2 items de manuel, 1 sujet) et mesure (1 item, 4 sujets, 4 et l'utilisation d'un chronomètre (7 items, 2 sujets), l'utilisation d'un colorimètre (items, 5 sujets)

Certaines actions semblent plus compactées dans le manuel Hachette que dans le manuel Nathan Terminale S. Ainsi, l'action dilution est prescrite dans les manuels Nathan et l'action préparation de solution diluée dans celui de Hachette. L'action agiter avec un agitateur magnétique est prescrite dans le manuel Nathan mais pas dans le manuel Hachette (la précision est elle considérée comme superflue ou bien n'a-t-elle pas lieu d'être ?).

Le montage d'un dispositif est mis en relation avec un schéma dans le manuel Nathan et pas dans celui de Hachette. Une seule prescription de mesure du temps dans le manuel Hachette, 4 dans celui de Nathan.

Certaines actions telles que « sécher » restent sans critère de choix : le séchage est dit à faire « à l'air » « à l'étuve », ou bien par introduction d'un desséchant (K_2CO_3 ou $CaCl_2$) ; au baccalauréat l'action prescrite dans le sujet C14 est à faire avec un sèche cheveux ou à l'air.

Les tests utilisés à un niveau scolaire donné ne sont pas repris ultérieurement ; lorsque utilisé au baccalauréat (test de dioxygène) il donne lieu à un rappel (ravive la combustion).

Le manuel Hachette sollicite 3 fois l'élaboration d'un protocole opératoire.

Le tableau « matériel proposé » tableau 4-1 rassemble toute la verrerie utilisée en indiquant le matériel nouveau à chaque niveau scolaire dans les différents chapitres des manuels Nathan. Il donne une idée de l'évolution du matériel utilisé dans les protocoles proposés aux différents niveaux scolaires. Peu de verrerie introduite en premier S et en terminale S. Le nombre d'instruments plus spécifiques augmente.

Tableau 4-1 : évolution du matériel utilisé dans les manuels Nathan (2^{nde}, 1S, TS)

	Verrerie	Appareil
2^{nde}	Ampoule à décanter, Éprouvette graduée, Entonnoir, Réfrigérant (à air, à boule), Tube capillaire, Fiole jaugée, Pipette, Burette graduée,	<ul style="list-style-type: none"> • Stylo pH-mètre, • Bec Bunsen, • Chauffe-ballon, • Pesée (balance), • Plaque (pour C.C.M.)
1S	Verre à pied, Colonne Vigreux, Compte-gouttes	<ul style="list-style-type: none"> • Propipette ou poire à pipeter, • Agitateur magnétique, Barreau aimanté, • Générateur basse fréquence, • Multimètres (ampèremètre, voltmètre), • Cellule conductimétrique, • Thermomètre, • Plaque chauffante, • Bain-marie,

		<ul style="list-style-type: none"> • Entonnoir de Büchner, • Thermoplongeur, • Modèles moléculaires, • Gants, • Lunettes de protection,
TS	Fiole à filtration sous vide,	<ul style="list-style-type: none"> • Capteur de pression, • Bain thermostaté, • Spectrophotomètre, • Mortier avec son pilon, • Rhéostat, • Bain d'électrolyse, • Trompe à eau, • Lampe UV, • Cuve d'élution, • Calculatrice,

➤ *Progressivité des actions et des informations fournies*

Le tableau 4-2 est un récapitulatif des analyses effectuées sur les 4 manuels (Nathan 2de, IS, TS et Hachette TS).

La signification des codes est donné au chapitre 3 (pp.76-77).

Rappelons la brièvement :

AC action compacte, GMa geste manuel, GCo geste cognitif, Cx choix

It2 information théorique, It3 (titres etc sans intérêt ici), It4 (résultat à obtenir), It5 renvoi du texte à des images, It6 (appel de l'évaluateur, n'existe que dans le protocoles de bac), It7 (consignes de sécurité), It8 (questions posées en vue d'orienter de la manipulation), It9 (interprétations fournies par le manuel).

Tableau 4-2 : tableau comparatif sur les actions et les informations des protocoles opératoires des différents manuels solaires

	Les actions				Les informations								Total
	AC	GMa	GCo	Cx	It2	It3	It4	It5	It6	It7	It8	It9	
N2nde	16	79	5	0	33	14	46	20		7	13	6	239
	7%	33%	2%	0%	14%	6%	19%	8%		2%	6%	2%	
NIS	47	240	119	1	29	35	2	10		15	30	0	528
	9%	46%	23%	<1%	6%	7%	<1%	2%		3%	6%	0%	
NTS	96	188	157	1	45	44	16	15		7	57	0	626
	15%	30%	25%	<1%	7%	7%	3%	3%		<1%	9%	0%	
HTS	69	289	237	5	13	74	9	8		1	93	5	803
	9%	36%	30%	<1%	2%	9%	1%	1%		<1%	12%	<1%	
BAC	60	106	33	5	30	23	5	2	26	5	9		304
	20%	36%	11%	<2%	10%	8%	<2%	<1%	9%	<2%	3%		
Total	288	902	551	12	150	190	78	55	26	35	202	11	2500
(%)	12%	36%	22%	<1%	6%	8%	3%	2%	1%	1%	8%	<1%	

La distribution des valeurs (AC, GMa, GCo, Cx, It2, It3, It4, It5, It6, It7, It8, It9) est significativement différente d'un manuel à l'autre (Nathan 2^{nde}, Nathan 1^{er} S, Nathan T^{erm} S, Hachette T^{erm} S).

On note que les actions compactes sont en progression de la classe de seconde à la classe de terminale dans la collection analysée et encore plus nombreuses lors de l'évaluation au bac.

Que le nombre de choix laissés à la charge de l'élève reste très faible.

La part de geste cognitif prescrit par un protocole augmente de la seconde à la terminale dans la collection considérée, mais diminue dans les épreuves de Baccalauréat analysées.

Les informations théoriques (It2) qui peuvent servir de ressources pour le contrôle de l'action sont plus nombreuses dans le manuel de seconde que dans ceux des classes ultérieures, mais plus nombreuses au Baccalauréat que dans les manuels considérés.

➤ *Progressivité des guidages*

Le tableau 4-3 récapitule les repères donnés et non donnés qui apparaissent dans les analyses des protocoles des manuels.

Le tableau 3-8 (p.79) repérait les guidages qui apparaissent dans les sujets de bac.

Tableau 4-3: repères donnés et non donnés

	Repères non donnés	Repères donnés	(%) Total des repères
Nathan 2^{nde}	85 / 239 = 35%	98 / 239 = 41%	76%
Nathan 1^{er} S	166 / 528 = 31%	126 / 528 = 24%	55%
Nathan TS	146 / 626 = 24%	131 / 626 = 21%	45%
Hachette TS	180 / 803 = 22%	131 / 803 = 16%	39%

Tableau 4-4 : Items concernant au travailler proprement

	Travailler proprement
Nathan 2^{nde}	13 / 239 items = 5%
Nathan 1^{er} S	46 / 528 items = 9%
Nathan TS	34 / 626 items = 6%
Hachette TS	47 / 803 items = 6%

Le total pour chaque niveau scolaire est la somme des nombres d'items découpés pour chaque chapitre correspondant à ce niveau.

Le nombre de repères donnés est proportionnellement plus grand en seconde que dans les classes ultérieures. Le nombre de repères non donnés que nous avons suggéré est également plus grand dans cette classe.

Le nombre de repères donnés est légèrement plus faible en TS que en 1^{er} S, toujours dans les livres de Nathan. Le nombre de repères donnés est pour les deux collections un peu plus faible que le nombre de repères non donnés.

Le nombre de repères pour guider l'action pourrait être multiplié par deux. S'agit-il d'un choix des auteurs qui considèrent que les repères non donnés sont des repères connus des élèves ou s'agit-il d'une absence de systématisation sur cet aspect ?

Au baccalauréat les repères donnés sont rares (tableau 3-8). Nous avons déjà noté que s'agissant d'une épreuve d'évaluation, ce qui est noté dans les colonnes repère donné et repère non donné n'est pas exactement de même nature que pour les protocoles des manuels.

Par ailleurs, nous avons repéré 11 justifications d'action en Nathan 2^{nde}, 5 en Nathan 1^{er} S, 4 en Nathan TS, 5 en Hachette TS. Ces items sont des liens entre cours théoriques et manipulations. On constate qu'il y'en a relativement plus en 2^{nde}.

➤ *Consensus*

L'apprentissage du contrôle du choix de matériel est pris en charge par le manuel Hachette par le renvoi à des fiches de matériel, de préparation de solutions, de sécurité.

Par ailleurs, Hachette semble prendre en charge, par une systématisation de liens, le contrôle du choix de la verrerie par la précision souhaitée.

Le réinvestissement d'apprentissages antérieurs ne semble pas pris en charge de la même façon dans les deux types de manuels (d'après le tableau de l'avancement des actions, annexe 4-10) : le manuel Hachette semble prévoir de façon plus cohérente de diminuer le nombre de consignes lorsqu'il y a déjà eu une pratique du matériel ou de la technique.

II-2- Le contrôle intégré dans l'activité et l'évaluation du résultat

Si nous appelons « actions de contrôle » les interventions qui concernent les résultats des actions d'exécution en vue de les comparer aux informations ou résultats attendus, nous pouvons nous poser la question : dans quelle mesure les actions de contrôle sont-elles prévues dans les protocoles scolaires ? comment le sont-elles ?

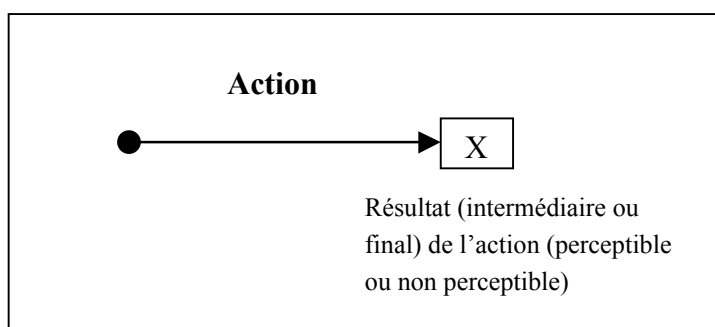


Figure 4-1 : Action élémentaire ou sous-action

Des **points sensibles** de manipulations sont repérés et donnent lieu à des informations qui peuvent servir de repères.

Certains de ces points sont inhérents à la technique utilisée, font partie du savoir pratique des experts, et peuvent être considérés comme faisant déjà partie du savoir pratique des élèves en fin de lycée. Par exemple il faut contrôler s'il y a des bulles d'air dans les électrodes.

Le schéma ci dessus se traduirait par :

Action = Installation (immersion) des électrodes dans une solution.

Contrôle du résultat = Éventuellement la formation de bulles d'air sur les électrodes, ce qui est un résultat indésirable qui donne lieu dans le protocole à un repère résultat.

D'autres sont moins routiniers ou moins techniques. Par exemple l'erenmeyer ne doit pas toucher ...

Action = Installation de l'erenmeyer

Contrôle du résultat : l'erenmeyer touche-t- il ?

Puis une action éventuelle visant à rectifier la position.

Dans le protocole opératoire, certains de ces contrôles peuvent être prescrits. Dans certains cas c'est l'exécuteur lui-même qui peut décider de contrôler ce qu'il a fait et par la suite il le fait. Il s'agit alors d'une action-contrôle non-prescrite. C'est un contrôle qui est à la charge de l'exécuteur.

L'activité serait conçue comme une succession d'actions et d'actions particulières dites « de contrôle »

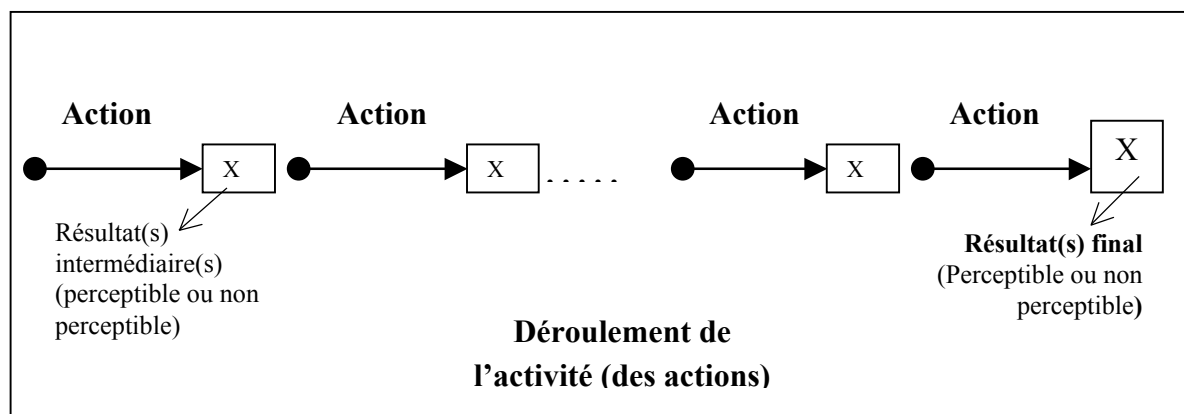


Figure 4-2 : Activité (ensemble des actions)

Mais d'autres items des protocoles tendent vers un contrôle plus intégré : « remplir la burette avec cette solution, ajuster le niveau du liquide au zéro *en veillant à ce que l'extrémité inférieure ne contienne pas de bulles d'air* » (HachetteTSC08-I, 9-11). Il n'y a pas action puis contrôle de l'action, mais contrôle en faisant l'action.

Nous considérons les verbes ci-dessous comme des actions de contrôle des actions précédentes : « *vérifier ...* », « *contrôler que ...* », alors que les verbes : « *s'assurer que* », « *surveiller ...* » traduisent un contrôle intégré.

En fait les experts disent que le contrôle « fait partie des gens ». Il ne se limite pas à des moments particuliers.

Veillard (2000), distingue les contrôles conscients qui se font par règles ou par connaissances et les contrôles inconscients qui se font automatiquement, dits contrôles automatisés.

Conclusion

Nous avons identifié dans les entretiens d'experts des moments d'évaluation des résultats par rapport à un attendu. Trois moments sont distingués par les experts eux mêmes :

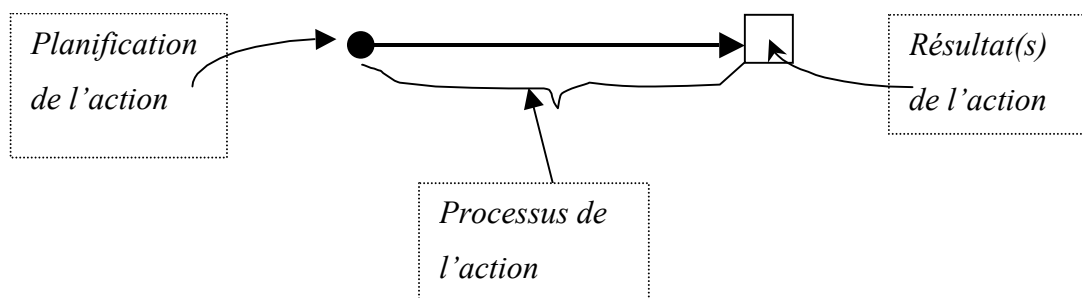


Figure 4-3 : Trois phases de l'activité

Cette modélisation met l'accent sur le résultat attendu.

Pour les experts, la phase de comparaison du résultat obtenu au résultat attendu demande une vérification instrumentale, une appréciation de la compatibilité s'ils sont dans un cas d'extension de leur manipulation, et une décision sur la suite : communiquer, répéter (pour valider ou pour refaire dans des conditions mieux contrôlées), ou rechercher les causes de dysfonctionnement.

Les élèves ne sont pas investis dans leur activité comme le sont les experts : il n'y a pas de suite à leur manipulation et la reproductibilité des résultats, qui est l'un des critères de scientificité, qui permet l'institutionnalisation d'un résultat par la communauté scientifique est absente des préoccupations scolaires.

Quelques manuels proposent de comparer le résultat obtenu avec un résultat numérique connu (Hachette TS Ch 6, 8, 9, 11, 14). Quelques manipulations invitent l'élève à proposer un moyen de vérification du produit obtenu.

Mais le résultat « obtention d'un nouveau produit chimique » qui donne lieu à recherche de validation de l'identité de la substance par les experts est souvent remplacé par « obtenir un précipité rouge » par exemple à la fin d'une réaction chimique. Il y a très peu de cas de demande d'identification dans les protocoles analysés.

La recherche d'une « nouvelle méthode » est remplacée par « proposer un protocole opératoire ».

Pour les élèves, aucune des suites de manipulation évoquée par les experts n'a lieu.

L'élève est dans une situation de répétition (reproduction) sur des techniques, mais pas sur les contenus. Il est dans une situation d'extension lorsqu'il est évalué. Il est rarement en situation d'exploration.

En ce qui concerne la phase préalable, les experts essaient de mettre toutes les chances de réussite de leur côté en vérifiant la pureté des substances, la propreté de la verrerie, le bon fonctionnement du matériel.

Pour les élèves, ils ne sont pas censés contrôler la pureté, ni l'identité des substances, ni le matériel qui est mis à leur disposition parfois déjà calibré ou étalonné.

Les remarques des experts concernant les étudiants telles que « ils ne savent pas que la propreté ou des traces d'impureté peuvent faire rater la manipulation », « ils ne savent pas qu'assurer la pureté des produits prend du temps » ou encore « ils sont démunis devant les pannes » ne sont sans doute pas étonnantes puisque les élèves n'ont pas été confrontés à cette réalité.

Dans les trois phases ci dessus (fig. 4-3), la phase de contrôle de l'activité prise en charge par les protocoles et évaluée est celle du processus de l'action ; la phase préalable et la phase de contrôle du résultat sont quasiment absentes.

Conclusion générale

Ce travail a porté sur le contrôle de l'activité en chimie sur la base de trois groupes d'analyses : d'une part, l'analyse de ce qui est, dans une pratique de laboratoire de chimistes, de l'ordre de contrôle de l'activité ; d'autre part, l'analyse des épreuves des capacités expérimentales de baccalauréat 1999 pour repérer ce que les élèves sont censé savoir contrôler en fin de lycée ; et dernièrement, l'analyse des protocoles opératoires proposés dans les manuels de chimie au lycée pour en dégager la place accordée à l'apprentissage du contrôle de l'activité dans le curriculum de chimie dans l'enseignement général.

Les entretiens d'experts nous ont permis d'identifier ce que les experts mettent sous le terme contrôle, ce qu'ils contrôlent, comment ils contrôlent, ce dont ils disposent comme ressources pour contrôler. Nous avons distingué différents types de savoirs dont disposent les experts pour contrôler leur activité de laboratoire.

Nous avons repéré des moments particulier de contrôle que les experts évoquent : contrôle préventif, contrôle a posteriori après obtention d'un résultat et contrôle en continu. Nous avons vu que ce contrôle est routinier et intégré dans la pratique ; il porte sur les éléments communs à toute manipulation ou spécifiques à une manipulation en chimie. L'évaluation du résultat, est systématique et instrumenté ; il s'inscrit dans trois cas de figure : reproduction, extension, exploration. Dans chaque cas, les moyens de contrôle peuvent être différents.

Les « savoirs d'expérience » repérés dans les entretiens peuvent être considérés comme des savoirs qui permettent de percevoir les « signaux faibles » (Le Boterf, 1994) et de repérer les « indices » qui mettront sur la piste du diagnostic et de l'action .

Dans les entretiens certains experts ont évoqué « l'implication personnelle » (ressources affectives) comme nécessaire dans le contrôle de l'activité ce qui est cohérent avec « conditions internes de l'activité » définies par Leplat, 2000.

Par ailleurs, les experts se sont exprimés en tant qu'enseignant ou en tant que maître de stage ce qui nous a permis de repérer ce qu'ils aimeraient voir disponible chez leurs étudiants. Nous constatons que même les futurs enseignants n'ont pas, d'après les experts, suffisamment des ressources pour le contrôle de l'activité.

Le corpus de sujets au baccalauréat est utilisé pour évaluer quelle est la maîtrise de l'activité manipulative dont les élèves doivent faire preuve en fin de lycée, en considérant que la

maîtrise nécessite un auto contrôle. Nous avons cherché ce qui est objet d'évaluation et qui relève d'un enjeu d'apprentissage du contrôle.

Nous avons repéré dans les protocoles élèves un pourcentage important d'actions compactées c'est à dire d'items qui pour être réalisés mettent en jeu une succession d'actions plus élémentaires dont l'élève doit avoir le contrôle. Il s'agit de montages gestuels qu'ils ont à montrer en cours de réalisation ou dont le résultat est observable. Pour Hofstadter (1985), ces savoir-faire procéduraux (qu'il nomme connaissances procédurales) n'ont pas de forme explicite, ne sont pas accessibles par introspection. Elles servent sans que l'on sache comment. Il y a automaticité du déroulement.

Nous avons cherché dans les analyses de manuels scolaires de lycée les traces d'une éventuelle prise en charge d'un apprentissage progressif du contrôle de l'activité manipulative. Nous nous intéresserons à la progressivité, à la cohérence des manuels, considérés comme relevant du curriculum possible, sur ces aspects.

On note que les actions compactes sont en progression de la classe de seconde à la classe de terminale dans la collection analysée et encore plus nombreuses lors de l'évaluation au bac.

Les « actions compactées » qui contiennent les actions relativement plus simples peuvent prendre un sens dans la distinction de « action/opération » de Léontiev (1975). En ce qui concerne les actions manuelles et celles cognitives, elles sont proches de la distinction « activité mentale/physique » de Leplat, 2000.

Les informations théoriques fournies aux élèves dans les protocoles, qui peuvent servir de ressources pour le contrôle de l'action, sont plus nombreuses dans le manuel de seconde que dans ceux des classes ultérieures, mais plus nombreuses dans les épreuves d'évaluation que dans les manuels considérés.

La prise en charge de l'apprentissage du contrôle du choix de matériel change d'un manuel à un autre. Hachette semble prendre en charge, par une systématisation de liens, le contrôle du choix de la verrerie par la précision souhaitée.

Le réinvestissement d'apprentissages antérieurs ne semble pas pris en charge de la même façon dans les deux types de manuels. Le manuel Hachette semble prévoir de façon plus cohérente de diminuer le nombre de consignes lorsqu'il y a déjà eu une pratique du matériel ou de la technique.

En tant que « réalisateur » de son activité, l'élève n'a pas le statut d'expert ; il ne peut pas modifier les buts et les conditions fixées à l'exécution de la tâche comme désigné par ailleurs : exécutant/agent/opérateur (Leplat, 1997 ; Clot, 1995).

« Les protocoles opératoires des élèves » qui contiennent des conditions externes de l'activité (Leplat, 2000) peuvent être considérés comme « tâche prescrite » (Leplat, 1997). Par ailleurs, les actions prescrites dans les protocoles élèves renvoient aux « savoirs procéduraux » au sens de Le Boterf (1997).

Le « contrôle de la propreté » du matériel tient une place importante chez experts. Bien que les capacités expérimentales qui ont trait à la propreté soient évaluées dans les épreuves du baccalauréat, l'apprentissage du contrôle de la propreté dans les protocoles manuels est quasiment absent. Les experts parlent aussi souvent de la « mise en cause des substances », notamment l'identité et la pureté des substances utilisées. Nous n'avons repéré aucune capacité expérimentale concernant la pureté des substances dans les épreuves au baccalauréat ni dans les protocoles manuels.

La reproductibilité du résultat est un critère essentiel pour la validation chez les experts. Mais ce n'est pas pris en compte dans les protocoles analysés.

L'ensemble des protocoles élèves (manuels et sujets de baccalauréat) fournit les items concernant la « sécurité au laboratoire » qui est une des « trois dimensions du contrôle » (Leplat, 1997) et qui est évoqué abondamment dans les discours des experts.

L'apprentissage du contrôle de l'activité est de fait peu pris en compte de façon progressive. Nous n'avons pas constaté, parmi les capacités expérimentales évaluées au baccalauréat, que aucune des capacités expérimentales évaluées n'ont trait à l'utilisation des éventuelles situations d'incidents. Nous pouvons dire que c'est pareil aussi dans les protocoles manuels. Même si nous n'avons pas observé les activités d'élèves en classe, il nous semble pertinent de souligner ce que montrent Richard et al. (1987) : « beaucoup de sujets n'utilisent pas les occasions de situations d'incidents, privilégiée pour corriger la représentation, et se contentent de réparer l'incident plutôt que d'essayer d'en trouver la genèse ».

La défaillance du contrôle de l'activité dans les curriculums pourrait être « la dégradation de la capacité à assurer la fonction de régulation de l'activité » (Nguyen et al., 1990)

Dans le travail présent, nous avons voulu attirer l'attention sur le contrôle de l'activité et sur son apprentissage dans l'enseignement général de la chimie au lycée. Notre travail peut contribuer à formaliser des éléments qui pourraient être utilisés pour gérer une maîtrise progressive du contrôle, aspect fondamental de l'activité, avec la spécificité de la discipline chimie.

Bibliographie

- ASTIER, P. (2003). La fonction situante de l'activité. *Recherche et formation*, 42,75-86.
- ASTOLFI, J.P., PETERALVI, B., & VÉRIN, A. (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentale*. Paris : INRP.
- BARBIER, J.M. (1996). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.
- BARBIER, J.M. (2003). L'activité : un objet intégrateur pour les sciences sociales. *Recherche et formation*, 42, 99-117.
- BARDIN L. (1991). *L'analyse de contenu*. Paris : A. Collin.
- BENEY, M. (1998). *Contribution à l'analyse des phases manipulatoires des travaux pratiques de physique en premier cycle universitaire. Les apprentissages possibles à travers l'action*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud, Orsay.
- BUSCAGLIA, M. et al. (1983). *Les critères de vérité dans la recherche scientifique*. Paris : Maloine S. A. Editeur
- CAILLOT, M . (1994). Des objectifs aux compétences dans l'enseignement scientifique : une évolution de 20 ans, in F. Ropé et L. Tanguy (eds), *Savoirs et compétences*. Paris : L'Harmattan.
- CLOT, Y. (1995). *Le travail sans l'homme ? Pour une psychologie des milieux de travail et de vie*. Paris : La Découverte.
- CLOT Y. (1997b). *Le travail, activité dirigée. Contribution à une analyse psychologique de l'action*. Document de synthèse présenté en vue d'obtenir l'habilitation à diriger des recherches. Université de Paris VIII.
- COQUIDE, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles, *Aster*, 26.
- COQUIDE, M. (2003). *Activité expérimentale et perspectives curriculaires*. In C.Larcher et M. Goffard (eds), *Les activités expérimentales dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. PARIS : INRP.
- DARLEY, B. (1994). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques à l'université : Analyses et propositions*, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.
- DARLEY, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2^{ème} année, *Didaskalia*,9, 31-56.
- DE KETELE, (1996). Evaluation des acquis scolaires : quoi ? pourquoi ? pour quoi ? *Revue tunisienne des sciences de l'aducation*, 23, 17-36.

- DELBOS, G. (1983). La transmission e la formation des savoirs vigneron, *Revue Terrain*, 1, 23-30.
- DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale, *Aster*, 8,3-15.
- DUMAS-CARRE, A., & LARCHER, C. (1986). L'évaluation des acquisitions des élèves; réflexions à partir du travail du groupe CHAPHAM, *Bulletin de l'union des Physiciens*, 695, 1069-1079.
- DUMAS-CARRE, A., & LARCHER, C. (1987). The stepping stones of learning and evaluation, *International Journal of Science Education*, 9 (1), 93-104.
- DUMAS CARRE, A., & WEIL BARAIS, A. (dir). (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- DUMON, A. (1988). Quelle(s) méthode(s) pour l'enseignement expérimental de la chimie ? *Revue française de pédagogie*, 84.
- FLACH, J. M. AND VICENTE, K. J. (1989). *Complexity, difficulty, direct manipulation and direct perception*. Technical Report EPRL-89-03, Engineering Psychology Research Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
- FOUREZ, G. (1996). *La construction des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université.
- GALPERINE, P.L. (1966). Essais sur la formation par étapes des actions et des concepts. In A.Leontiev., A. Luria et A. Spirnov (Eds.), *Recherches psychologiques en URSS* (pp. 168-183). Moscou : Les éditions du progrès.
- GARRATT, T., OVERTON, T., & THREFFALL, T.(2000). *Chimie: l'art de se poser les bonnes questions*. Bruxelles : De Boeck.
- GOFFARD, M. (1994). Des programmes de chimie à leur mise en œuvre. *Didaskalia*, 3, 129-137.
- GUILLON, A. (1996). *Etude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue d'un enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première année et deuxième année d'Université*. Thèse de doctorat , Université de Paris-Sud Orsay.
- GUISEPPIN, M. (1996). Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques, *Didaskalia*, 9.
- HOC, J.M . (1996). *Supervision et contrôle de processus : la cognition en situation dynamique*, Presses Universitaires, Grenoble.
- HOFSTADTER D. (1985) : *Goedel, Escher, Bach, les brins d'une guirlande éternelle*. Paris : Inter Éditions.

- JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire, *Aster*, 8, 29-53.
- LARCHER, C., & BEAUFILS, D. (eds) (1999). ASTER. *L'expérimental dans la classe*.
- LARCHER, C. (1999). Des TP différents pour des enjeux différents. In *Activités expérimentales des élèves en physique chimie ; quels enjeux d'apprentissage ?* (pp. 7-27). MENRT, DESCO, IG. CNDP Basse Normandie.
- LARCHER, C., & GOFFARD, M. (eds). (2003). *Les activités expérimentales dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. PARIS : INRP.
- LATOURET, B., & WOOLGAR, S. (1996). *La vie de laboratoire, la production des faits scientifiques*. Paris : La Découverte/Poche.
- LAUGIER, A., & DUMON, A. (2003). Résolution de problème et pratique expérimentale : analyse du comportement des élèves en début de seconde. *Chemistry Education : Research and practice*, 4, 3, 335-332.
- LAYTON, D. (1994). Education scientifique et action : les relations entre les sciences enseignées à l'école et la pratique. *Aster*, 19, 117-155.
- LEBEAUME, J. (1999). *Perspectives curriculaires en éducation technologique*. Note de synthèse d'habilitation à diriger des recherches. Université de Paris-sud. Orsay
- LE BOTERF, G. (1994). *De la compétence*. Les éditions d'organisation, Faire.
- LEONTIEV, A. (1972). *Le développement du psychisme*. Paris : Éditions sociales.
- LEONTIEV, A. (1975). *Activité, conscience et personnalité*. Moscou : Éditions du progrès.
- LEPLAT, J. (1991c). Compétence et ergonomie. In R. Amalberti et al., *Modèles en analyse du travail* (pp.273-278). Liège : Mardaga.
- LEPLAT, J. (1997). *Regard sur l'activité en situation du travail. Contribution à la psychologie ergonomique*. Paris : PUF.
- LEPLAT, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie*. Toulouse : Octarès Édition.
- MALGLAIVE, G. (1990). *Enseigner à des adultes*. Paris : PUF.
- MARGOLINAS, C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux. Dans la classe de mathématique*. Grenoble : La pensée Sauvage.
- MARTINAND, J.L. (2000). Matrices disciplinaires et matrices curriculaires : le cas de l'éducation technologique en France. In C. Carpentier (Coord.), *Contenus d'enseignement dans un monde en mutation : permanences et ruptures* (pp. 249-269). Paris : L'Harmattan.

- MARTINAND, J.L. (2001). Pratiques de référence et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse (ed.), *Didactique des disciplines—les références au savoir* (pp.17-24). Bruxelles : De Boeck.
- MARTINAND, J.L. (2002). Entretien avec Évelyne Burguière – thème : les savoirs entre pratique, formation et recherche. *Recherche et Formation*, 40, 87-94.
- MATALON, B. (1988). *Décrire, expliquer, prévoir, démarche expérimentale et terrain*. Paris : Armand Colin.
- NGUYEN, A., RICHARD, J.F., & HOC, J.M. (1990). Le contrôle de l'activité, in Bonnet et al (eds), *Traité de psychologie cognitive 2*. Paris : Bordas.
- OULDDICKEH, M. (2002). *Les problèmes de mise en œuvre des activités expérimentales en Mauritanie, niveau secondaire*, Thèse de doctorat, ENS Cachan.
- PASTRE, P. , & SAMURÇAY, R. (1995). La conceptualisation des situations de travail, *Education permanente*, 123-2, 13-31.
- PERRENOUD, P. (1997). *Construire des compétences dès l'école*. Paris : ESF Éditeur.
- RYDER, J., & LEACH, J. (1999). Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche en licence. *Didaskalia*, n°12, pp. 39-61.
- RICHARD, J.F. (1995). *Les activités mentales, Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : Armand Colin.
- RICHOUX, H. (2000). *Rôle des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique*. Thèse de doctorat de l'université Paris 7.
- ROPE, F., & TANGUY, L. (1994), *Savoirs et compétences*, L'Harmattan, Paris.
- SAVOYANT, A . (1996). *Approche cognitive de l'alternance*. Bref, 118, 1-4.
- SERE, M.G., & BENEY, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire. *Didaskalia*, 11, 75-102.
- SERRERO, M. (1987). Critères de pertinence en physique, *Bulletin de l'union des physiciens*, 1229-1236.
- SOUDANI-BANI, O. (1999). *Analyse épistémologique et didactique de la démarche expérimentale en sciences physiques. Mise en place d'une démarche hypothético-déductive en TP de 4^{ème}*. Thèse de doctorat, ENS Cachan.
- TADJEDDINE, M., & PERROT, F.(1995). Apprentissage de l'expérimentation en physique II. Apprentissage de techniques expérimentales à l'ENS de Cachan, *Didaskalia*, 6, 153-164.

TERSSAC G. (DE) ET CHABAUD C. (1990). Référentiel opératif commun et fiabilité. In J. Leplat et G. de Terssac (s/d). *Les facteurs humaines de la fiabilité dans les systèmes complexes* (pp.111-140). Toulouse : Octarès Éditions.

TIBERGHIEU, A. et al (1998). *Science teaching and labwork practice in several European countries*. Working paper of the LSE project.

VEILLARD, L. (2000). *Rôle des situations professionnelles dans la formation par alternance : cas des élèves ingénieurs de production de l'ISTP de Saint Etienne*. Thèse de doctorat. Université Lyon 2.

VERMERSCH, P. (1994). *L'entretien d'explicitation*. Paris : ESF.

Manuels scolaires :

PHYSIQUE-CHIMIE (2000). Paris : Nathan, Collection Tomasino (Tomasino A., Chappuis J., Fay J., Gendrau B., Horn M., Meur D., Parent C. et Sliwa H.)

CHIMIE 1^{RE} (2001). Paris : Nathan/VUEEF, Collection Tomasino (Tomasino A., Pierens E., Pierens P., Sliwa H. et Horn M.)

CHIMIE TERM S (2002). Paris : Nathan, Collection Tomasino (Tomasino A., Pierens E., Pierens P., Roussau C., Sliwa H. et Szymczak A.)

CHIMIE TERM S (2002). Paris : Hachette Éducation, Collection Durupthy (Durupthy A., Durupthy O., Fanguet F., Fanguet R., Giacino M. et Jaubert A.)

Sommaires

Sommaire des résumés des protocoles des manuels

Chapitre 13 : "Espèces naturelles, espèces synthétiques"	88
Chapitre 14 : « Les techniques d'extraction »	89
Chapitre 15 : « Séparation et identification d'espèces chimiques »	89
Chapitre 16 : "La synthèse d'espèces chimiques"	90
Chapitre 22 : "Solutions et concentration molaire"	91
Chapitre 23 : "La réaction chimique"	91
Chapitre 24 : "Bilan de matière Initiation à l'avancement"	92
En conclusion	92
Chapitre 1 : Mesurer des quantités de matière	92
TP : Dosage colorimétrique de solutions de glucose (Nat1SCh01)	92
Chapitre 2 : " Les solutions électrolytes "	93
TP : Pourcentage en cuivre d'une pièce de monnaie (Nat1SCh02)	93
Chapitre 3 : " Etude des transformations chimiques "	94
TP : Détermination de la composition d'une poudre constituée de deux métaux (Nathan1SCh03)	94
Chapitre 4 : La conductimétrie	94
TP : Étude des facteurs d'influence (Nat1SCh04)	94
Chapitre 5 : Les réactions acide-basiques	94
TP : Réalisation de quelques réactions acide-basiques (Nat1SCh05)	94
Chapitre 6 : Les réactions d'oxydoréduction	95
TP : Réalisation de quelques réactions d'oxydoréduction (Nat1SCh06)	95
Chapitre 7: Les dosages	95
TP : Réalisation de dosages (Nat1SCh07)	95
Chapitre 8 : La chimie organique	96
TP : Analyser des molécules grâce à l'informatique. (Nat1SCh08)	96
Chapitre 9 : La squelette carboné	96
TP : Distillation d'un mélange de deux corps purs (Nat1SCh09)	96
Chapitre 10 : Modifier le squelette carboné	96
TP : Polymérisation du styrène (Nat1SCh10)	96
Chapitre 11 : Les groupes caractéristiques	97
TP : Identification de groupes caractéristiques (Nat1SCh11)	97
Chapitre 12 : La Réactivité des alcools	97
TP : Préparation de l'acide benzoïque (Nat1SCh12)	97
Chapitre 13 : Passage d'un groupe caractéristique à un autre	97
TP : Préparation du 2-chloro-2-méthylpropane (Nat1SCh013)	97
Chapitre 14 : La cohésion de la matière	98
TP : Estimer l'énergie de cohésion de l'eau liquide (Nat1SCh014)	98
Chapitre 15 : Aspect énergétique des transformations	98
TP : Estimation de l'énergie thermique libérée par la combustion de la paraffine (Nat1SCh015)	98
Conclusion	99
Chapitre 2 : "Transformations lentes et rapides. Facteurs cinétiques"	99
TP 1 : Un facteur cinétique : la concentration initiale d'un réactif (NathanTSCh02-I)	99
Chapitre 2 : "Transformations lentes et rapides. Facteurs cinétiques"	100

TP 2 : Deux facteurs cinétiques : la concentration initiale des réactifs et la température (NathanTSCh02-II)	100
Chapitre 3 : "Suivi temporel d'une transformation chimique. Vitesse de réaction" ...	101
TP 1 : Suivi d'une réaction par conductimétrie (NathanTSCh03-I)	101
Chapitre 3 : "Suivi temporel d'une transformation chimique. Vitesse de réaction" ...	101
TP 2 : Suivi d'une réaction par une méthode chimique (NathanTSCh03-II)	101
Chapitre 4 : "La spectrométrie"	102
TP 1 : Titrage d'une solution de chlorure de nickel (NathanTSCh04-I)	102
Chapitre 4 : "La spectrométrie"	103
TP 2 : Suivi d'une cinétique chimique par spectrométrie (NathanTSCh04-II)	103
Chapitre 6 : "Réactions s'effectuant dans les deux sens"	103
TP : Avancement final de réactions acido-basiques (NathanTSCh06)	103
Chapitre 7 : "Etat d'équilibre d'un système"	104
TP : Détermination conductimétrique d'une constante d'équilibre (NathanTSCh07) 104	104
Chapitre 8 : "Transformations associées à des réactions acido-basiques"	104
TP : Étude spectrophotométrique d'un indicateur coloré (NathanTSCh08)	104
Chapitre 9 : "Titrages pH-métriques"	105
TP 1 : Titrage pH-métrique de l'acide éthanoïque contenu dans un vinaigre (NathanTSCh09-I)	105
Chapitre 9 : "Titrages pH-métriques"	105
TP 2 : Titrage colorimétrique de l'acide ascorbique contenu dans un comprimé de médicament (NathanTSCh09-II)	105
Chapitre 10 : "L'évolution spontanée vers l'état d'équilibre"	105
TP : Réactions mettant en jeu deux couples oxydant/réducteur du type cation métallique/métal M^{n+} (aq) / M(s) (NathanTSCh10)	105
Chapitre 11 : "Les piles, fonctionnement en générateur électrique"	106
TP : Comparaison du pouvoir réducteur de quelques métaux à l'aide de piles électrochimiques (NathanTSCh11)	106
Chapitre 12 : "Les piles, grandeurs caractéristiques et exemples"	106
TP : Quels facteurs peuvent influencer sur la fém d'une pile ? (NathanTSCh12)	106
Chapitre 13 : "Transformations forcées. L'électrolyse"	106
TP : Électrozingage d'une pièce de fer (NathanTSCh13)	106
Chapitre 14 : "Les réactions d'estérifications et d'hydrolyse"	107
TP : État d'équilibre commun aux réactions d'estérification et d'hydrolyse (NathanTSCh14)	107
Chapitre 15 : "L'état d'équilibre commun aux réactions d'estérification et d'hydrolyse"	107
TP : Préparation d'un arôme alimentaire (NathanTSCh15)	107
Chapitre 16 : "Contrôle de l'évolution de systèmes chimiques par changement de réactif"	108
TP 1 : Synthèse de l'aspirine (NathanTSCh16-I)	108
Chapitre 16 : "Contrôle de l'évolution de systèmes chimiques par changement de réactif"	108
TP 2 : Saponification d'une huile (NathanTSCh16-II)	108
Chapitre 17 : "Contrôle de l'évolution de systèmes chimiques. La catalyse"	108
TP : Contrôle de qualité sur l'aspirine (NathanTSCh17)	108
HacTSCh02 : Mise en évidence des facteurs cinétiques	109
HacTSCh03 : Suivi du déroulement temporel d'une réaction chimique	109
HacTSCh04 : Suivi d'une réaction chimique par spectrophotométrie	110
HacTSCh05 : Etude pH-métrique du taux d'avancement final d'une réaction	110

HacTsch06-I : Étude conductimétrique d'un système dans l'état d'équilibre	111
HacTsch06-II : Détermination de constantes d'équilibre	111
HacTsch07 : Étude d'un indicateur coloré : Le bleu de bromothymol	111
HacTsch08-I : Titrage pH-métrique	112
HacTsch08-II : Titrage colorimétrique	112
HacTsch09 : Étude d'évolutions spontanées	113
HacTsch10 : Constitution et fonctionnement de piles	113
HacTsch11 : Electrolyses en solution aqueuse	114
HacTsch12 : Synthèse de l'éthanoate de benzyle	114
HacTsch13 : Estérification, hydrolyse	115
HacTsch14-I : Synthèse de l'aspirine	115
HacTsch14-II : Synthèse et propriétés d'un savon	116
HacTsch14-III : Dosage direct de l'aspirine d'un comprimé	116

Sommaire des tableaux

Tableau 2-1 : les caractéristiques des « experts » interrogés	24
Tableau 2-2 : catégories et codages pour les entretiens des experts	44
Tableau 2-3 : sous catégories et leur codage pour les entretiens d'expert	44
Tableau 2-4 : récapitulatif des items concernant les « cas de figures »	45
Tableau 2-5 : récapitulatif de ce que les experts contrôlent	46
Tableau 2-6 : récapitulatif des ressources	46
Tableau 3-1: nombre des capacités expérimentales évaluées dans chaque sujet au Baccalauréat 1999	56
Tableau 3-2 : les « techniques chimiques » évaluées	58
Tableau 3-3: l'usage de la « verrerie » évalué	61
Tableau 3-4 : l'usage évalué de « appareils/instruments »	63
Tableau 3.5 : aspects d'organisation évalués	65
Tableau 3-6 : répartition et pourcentage des apparitions des capacités expérimentales évaluées au baccalauréat 1999	66
Tableau 3-7 : catégorie des items pour l'ensemble des sujets d'évaluation au baccalauréat	78
Tableau 3-8 : repères donnés et non donnés dans les sujets de bac	79
Tableau 3-9: répartition des items d'évaluation	82
Tableau 4-1 : évolution du matériel utilisé dans les manuels Nathan (2^{nde}, 1S, TS)	121
Tableau 4-2 : tableau comparatif sur les actions et les informations des protocoles opératoires des différents manuels solaires	123
Tableau 4-3: repères donnés et non donnés	124
Tableau 4-4 : Items concernant au travailler proprement	124

Sommaire des figures

Figure 1-1 : les tâches selon Leplat (1997)	9
Figure 1-2: Couplage entre tâche prescrite et ressources de l'agent d'après Leplat	11

<u>Figure 1-3 : Les actions-exécution et les actions-contrôle dans une activité</u>	21
<u>Figure 3.1 : Répartition des techniques chimiques évaluées</u>	60
<u>Figure 3-2. Répartition de la verrerie utilisée</u>	63
<u>Figure 3-3. Répartition des instruments/appareils utilisés</u>	65
<u>Figure 3-4 : Répartition globale des différentes catégories</u>	67
<u>Figure 4-1 : Action élémentaire ou sous-action</u>	125
<u>Figure 4-2 : Activité (ensemble des actions)</u>	126

RESUME

Ce travail est centré sur l'activité de laboratoire en chimie, dans ses aspects manipulateurs et en prenant en compte les ressources cognitives qui permettent de contrôler cette activité.

Nous nous sommes interrogés sur la place de cette pratique, constitutive de la chimie, dans le curriculum de chimie dans l'enseignement général.

Le travail comporte trois volets. Le premier volet est l'analyse de ce qu'est cette pratique de laboratoire des chimistes, à partir de leur discours, obtenu avec une technique d'entretien qui sollicite des exemples et l'évocation de situations de « panne », d'inattendu.

Le deuxième volet est l'analyse des protocoles proposés aux élèves et des grilles d'observation fournies aux évaluateurs pour les épreuves de capacités expérimentales de baccalauréat de la session 1999. Ces épreuves sont censé donner une image de ce qui est attendu en fin de parcours de lycée en termes de savoir pratique gestuel et technique non énonçable mais auto-contrôlé. Le troisième volet se situe dans une perspective curriculaire. Nous avons dans les manuels scolaires de lycée cherché les traces d'une éventuelle prise en charge d'un apprentissage progressif du contrôle de l'activité manipulateur.

Pour articuler ces trois volets nous avons dû interroger ce qui était distingué par différents auteurs en ce qui concerne les mots clés de notre thème et ceux qui sont voisins dans le champ sémantique : activité, action, tâche, contrôle, capacités, compétences, savoirs

Nous nous intéresserons à la progressivité, à la cohérence des manuels, considérés comme relevant du curriculum possible, sur ces aspects.

Notre travail peut contribuer à formaliser des éléments qui pourraient être utilisés pour gérer une maîtrise progressive du contrôle, aspect fondamental de l'activité, avec la spécificité de la discipline chimie.

Mots-clefs : chimie, contrôle, activité, action, tâche, capacité, compétence, protocole opératoire, baccalauréat scientifique.