

OUTILS GRAPHIQUES, ANTICIPATION DE LA TACHE, RAISONNEMENT

Brigitte Peterfalvi

Par leur caractère synoptique, les outils graphiques sont susceptibles de constituer des instruments privilégiés de distanciation par rapport aux démarches intellectuelles : ils permettent de se représenter une succession d'opérations comme un tout organisé et de repérer en cours d'action chaque phase séquentielle par rapport à un ensemble qui lui donne sens. C'est dans cette perspective que des enseignants proposent à leurs élèves de construire des outils graphiques pour anticiper une démarche expérimentale avant de la réaliser effectivement. L'examen de tels outils produits par des élèves dans une séquence de classe sur l'identification d'ions dans une solution montre que les outils graphiques, en tant qu'instruments économiques, solidarisent différents aspects de la tâche à réaliser. Il met aussi en évidence de quelle façon l'aide apportée par l'outil graphique pour le raisonnement et la réalisation de la tâche est diversifiée selon les individus.

Les sciences expérimentales utilisent à leurs différentes phases d'élaboration diverses sortes d'inscriptions ou d'écrits, parmi lesquels les outils graphiques tiennent une place importante. Par "outils graphiques", nous entendons une catégorie large d'inscriptions depuis les dessins, schémas, organigrammes jusqu'aux tableaux et aux graphiques, c'est-à-dire toutes inscriptions pour lesquelles l'écriture ne tient pas la première place et pour lesquelles l'organisation de l'espace et des lignes traduit un sens.

Dans l'apprentissage des sciences expérimentales, quelles fonctions spécifiques remplissent ces outils et plus particulièrement, comment ceux-ci peuvent-ils dans certains cas servir de support au raisonnement ou à la démarche ? De quelle manière apportent-ils une aide spécifique ? Nous nous proposons ici, dans le cas particulier d'une démarche mise en oeuvre dans une classe de troisième, d'examiner les relations entretenues entre des outils graphiques produits par les élèves et la démarche à la fois intellectuelle et pratique inhérente à la tâche à réaliser.

outils graphiques,
supports à la démarche
intellectuelle

1. CADRE GENERAL DE L'ANALYSE

1.1. L'anticipation d'une démarche expérimentale

La séquence de classe qui fera l'objet de cette analyse appartient à un ensemble plus vaste de séquences menées dans différents collèges et à des niveaux de classe différents, mais faisant toutes intervenir des outils graphiques comme instruments anticipatoires avant la réalisation d'une tâche expérimentale.

Il s'agissait avant tout, pour les enseignants engagés dans ce travail, de rechercher des situations où a priori l'utilisation de graphismes pouvait constituer une aide importante¹ : l'anticipation d'une démarche expérimentale semblait conforme à ce projet.

concevoir une expérience avant de la réaliser

Faire réfléchir, avant sa réalisation, à l'aide d'un instrument à la fois économique et structurant, à l'organisation de la démarche, à la signification des manipulations et au sens que l'on peut attribuer à un résultat attendu dans le cadre d'un raisonnement précis pouvait permettre aux élèves de ne pas s'enliser dans l'aspect manipulateur de l'expérience aux dépens de sa signification. Savoir où l'on veut aller avant de s'engager dans l'action, même si l'action et les résultats observés conduisent ultérieurement à d'autres voies que celles qu'on avait prévues au départ, est une des conditions de la mise en oeuvre d'une activité expérimentale. C'est la ligne de démarcation entre une activité "expérientielle" comme celle de l'enfant qui par essais et erreurs se livre aux apprentissages psychomoteurs de la prime enfance et une activité expérimentale, au sens où la science l'utilise en tant que procédure de vérification d'hypothèses. (Mais il ne faut pas oublier cependant que la science elle-même ne reconstitue souvent qu'après coup l'hypothèse correspondant à un résultat expérimental observé.)

et le tâtonnement expérimental ?

Le "tâtonnement expérimental" des élèves dans les activités scientifiques à orientation constructiviste se situe entre ces deux extrêmes. Peut-on, grâce à une anticipation, faire dans une certaine mesure une économie de ce tâtonnement et est-ce par ailleurs souhaitable ? Nous reprendrons cette discussion plus loin, lorsque nous aurons une idée plus nette de la façon dont fonctionne cette anticipation.

(1) La valeur d'aide des outils peut néanmoins varier considérablement d'un individu à l'autre en fonction des styles cognitifs

1.2. L'emploi d'outils graphiques

une vision globale
de la démarche

Pourquoi utiliser préférentiellement un outil graphique pour cette démarche ? La raison essentielle de ce choix est qu'en vertu de leur aspect synoptique (c'est à dire la propriété de donner à voir d'un seul coup, de façon synchronique), certains de ces outils constituent des instruments privilégiés de vision globale et par là même de distanciation.² Ces instruments permettent donc ce que ne permet ni un discours oral ni un texte écrit, à savoir une vision globale dans un sens quasi matériel, un raccourci de l'ensemble d'une démarche. C'est une distanciation à laquelle le support figural confère un caractère concret, immédiatement disponible.

En outre, ce type d'outil comporte des propriétés structurantes telles que la mise en évidence, par leur matérialisation spatiale de parallélismes, d'oppositions, d'articulations et de distinctions de façon plus marquée que dans un texte écrit. Il donne des repères cadrés, insérés dans une forme d'ensemble, plus faciles à retrouver que dans un discours. Ceci est susceptible de constituer une aide importante à la structuration des idées. Mais il est tout aussi important de garder une vigilance quant aux limites de ces instruments : certains éléments du discours ne peuvent être traduits graphiquement, certaines nuances disparaissent, certaines limites sont trop marquées : il s'agit en quelque sorte d'éléments simplifiés qu'il convient d'utiliser comme tels, avec précaution, sans perdre de vue cet aspect des choses.

grâce à une re-
présentation éco-
nomique et
structurée

Mais d'un autre côté, plus l'expression est économique, simplifiée et structurée dans son ensemble, plus le report à l'un quelconque de ses constituants est aisé. Ceci intervient de façon essentielle dans la facilité de la mise en correspondance de la vision globale anticipatoire et des différents moments de la réalisation de l'activité correspondante³. Au moment de leur réalisation effective, la fonction de chacune de ces phases par

(2) A propos du caractère synoptique des schémas, on peut se reporter aux travaux de J.F. VEZIN, en particulier à "Apport informationnel des schémas dans l'apprentissage". *Le travail humain*. 1984. n°1, ou bien "L'apprentissage des schémas, leur rôle dans l'assimilation des connaissances". *Année psychologique*. 1972 n°1.

(3) On peut à ce sujet évoquer les travaux de MENDELSON et l'idée de "charge cognitive". P. MENDELSON. "Psychologie cognitive et processus d'acquisition des connaissances", à paraître dans *European Journal of Psychology and Education*. Les outils graphiques pourraient permettre de diminuer cette charge, de libérer l'"espace de traitement" et de traiter des unités sémantiques plus globales.

rapport à l'ensemble de la démarche est ainsi maintenue présente à l'esprit, contrairement à ce qui se passe fréquemment lorsque des enfants se livrent à une activité expérimentale ; et ceci, d'autant plus qu'ils sont plus jeunes, et que l'immersion dans chaque élément séquentiel occulte la vision d'ensemble et la raison d'être de chacune des parties⁴.

1.3. Les tâches proposées aux élèves

Les démarches proposées dans les différentes classes présentaient donc ce point commun : utiliser un outil graphique polyvalent comme instrument anticipatoire de la tâche et ensuite comme instrument de sa réalisation effective. Mais elles différaient par bien des aspects, en particulier par la nature de la tâche à prévoir, aussi bien au niveau des problèmes abordés qu'au niveau des raisonnements ou des opérations intellectuelles impliquées. Vérifier l'action de la salive sur l'amidon et en déterminer les conditions (dans une classe de quatrième), chercher les aliments dont se nourrissent les escargots et repérer les organes sensoriels utilisés pour leur identification (dans une classe de cinquième), identifier des ions dans une série de solutions (dans une classe de troisième), voici quelques-unes des activités proposées.

1.4. Le choix de l'une de ces séquences pour l'analyse des relations entre raisonnement et outils graphiques

C'est la dernière de ces séquences qui sera ici analysée de façon détaillée et il est nécessaire d'expliquer ce choix.

une tâche simple
et univoque

Cette séquence ne nous paraissait pas intrinsèquement plus intéressante que les autres, que ce soit du point de vue de la démarche engagée ou des problèmes abordés : l'activité qui consiste à identifier des substances chimiques à l'aide de réactifs connus n'est pas à proprement parler une activité expérimentale, puisqu'elle ne vise ni à élaborer ni à éprouver des hypothèses ayant un quelconque caractère de généralité. Il s'a-

(4) Pour cette caractéristique de la pensée enfantine, Wallon emploie le terme de "fuite des idées". H. WALLON. *Les origines de la pensée chez l'enfant*. Paris. PUF. 1945.

git plutôt d'une opération technique utilisant un support logique. C'est une tâche peu susceptible de donner lieu à des raisonnements diversifiés, assez simple, fermée et univoque. Contrairement aux autres activités citées, elle met en jeu exclusivement une logique déductive et nous verrons comment la gestion anticipatoire puis effective de l'activité interfère avec cet aspect de la question.

Si nous avons néanmoins choisi cette activité comme objet d'analyse c'est parce que les démarches impliquées dans cette séquence, pour simples qu'elles apparaissent se retrouvent de façon combinée dans des ensembles plus complexes dans d'autres séquences : son analyse peut de ce fait éclairer certains aspects de ces dernières⁵.

pour repérer plus facilement les relations entre raisonnement et graphisme

Ce caractère de simplicité, d'éléментарité de la tâche d'un point de vue logique nous a semblé favorable à une analyse des articulations possibles entre raisonnement et outil graphique : l'ensemble de la tâche était relativement aisé à cerner et du même coup ses relations avec le graphisme plus facilement repérables que dans un ensemble plus complexe. Mais il est tout aussi important de garder présent à l'esprit comment ces caractéristiques de la tâche déterminent un mode de relation particulier avec le graphisme anticipatoire, et il faudra se garder de généraliser les observations menées ici : il conviendra plutôt de les comparer avec ce qui se produit dans d'autres situations.

1.5. La démarche d'analyse

L'analyse a consisté à rechercher de façon systématique les relations, les articulations entre outils graphiques produits par les élèves et raisonnement, ce dernier terme étant pris dans

(5) Une démarche analogue est employée dans la séquence portant sur l'action de la salive sur l'amidon, mais comme un des constituants élémentaires d'un raisonnement autrement plus complexe, lorsqu'on se propose de vérifier si l'amidon a disparu d'une solution ou si du glucose est apparu. Mais, ce qui dans la séquence sur l'identification des ions aboutit à un simple constat - la présence ou l'absence de l'ion considéré - a un tout autre statut dans la séquence sur l'action de la salive dans laquelle les disparitions ou apparitions de substances ont une signification particulière par rapport à une hypothèse testée.

un sens extensif, proche de "démarche intellectuelle" ou "suite d'opérations de pensée"⁶ impliquées par la tâche, et à préciser ainsi les fonctions remplies par l'outil graphique pour la réalisation de la tâche.

décrire une démarche intellectuelle "type"

Pour procéder à cette mise en relation, il était d'abord nécessaire de préciser la démarche intellectuelle concernée : nous nous sommes placés pour cela dans une perspective de reconstitution d'une "démarche-type" pour la tâche concernée, c'est à dire dans une logique intrinsèque à la nature de la tâche et non pas dans une logique du raisonnement individuel dans sa singularité, avec ses aller et retours, ses hésitations, ses reprises et reconstitutions. Cette procédure peut présenter un danger si l'on n'y prend garde : celui de rétablir l'idée d'une "bonne démarche" unique, où les étapes seraient définies une fois pour toutes et par rapport à laquelle toute déviation ne serait conçue que comme imperfection. Aussi, l'on prendra soin de considérer cette "démarche-type" comme référence permettant de situer les productions des élèves, comme point de comparaison et non pas comme modèle. Selon le degré d'ouverture-fermeture et de complexité des tâches proposées aux élèves dans les différentes séquences, une pluralité plus ou moins grande de démarches différentes était possible, avec des cheminements et des hiérarchisations différents dans les étapes logiques. Ce sont souvent les schématisations proposées par les élèves qui nous ont fait prendre conscience de cette diversité possible, à laquelle nous n'avions pas toujours pensé a priori. Néanmoins, pour la séquence présentée ici, comparativement aux deux autres évoquées plus haut, le raisonnement est tout à fait univoque et l'on peut penser que l'ensemble des étapes individuelles de la démarche intellectuelle peuvent être rapportées à la reconstitution que nous proposons.

pour y référer les productions graphiques diverses des élèves

Dans une deuxième étape, nous avons procédé à une comparaison de proche en proche des productions graphiques des élèves, avec recherche systématique des différences et de leur signification possible pour ces derniers. Nous avons cherché par ailleurs une mise en relation systématique entre ces instruments et ce que nous avons appelé raisonnement ou dé-

(6) Comment délimiter ce qu'on appelle "raisonnement" ? Une suite d'inférences déductives apparentée à la logique formelle ou au syllogisme, une induction, une combinatoire beaucoup plus complexe de raisonnements de ce type avec des actions, des prévisions, des observations construites, des mises en rapport des prévisions avec le réel ? Nous avons pris le parti de considérer le "raisonnement" de la façon la plus extensive, comme l'ensemble de la démarche intellectuelle et non pas seulement ses aspects logiques.

marche. Nous avons pu mettre ainsi en évidence une diversité d'articulations entre outils graphiques et démarche intellectuelle selon les individus, traduisant des fonctions différentes de ces instruments.

2. LES RELATIONS ENTRE GRAPHISME ET DEMARCHE DANS UNE SEQUENCE DE CLASSE

2.1. Le travail proposé aux élèves pour la séquence choisie : identification d'ions

Cette séquence s'est déroulée avec un certain nombre de variantes dans cinq classes de troisième.

comment s'y prendre pour identifier des ions ?

Après une phase de travail collectif sur le principe et la méthode de l'identification d'ions à l'aide de réactifs, les élèves ont été invités à établir un document préparatoire pour l'identification de quelques ions dans six solutions différentes. Ils savaient qu'ils devraient utiliser effectivement ce document au cours d'une séance de TP, pour mener à bien leurs analyses.

Les consignes de travail ont légèrement varié d'une classe à l'autre : le caractère graphique du document préparatoire, notamment, était explicitement indiqué dans certains cas et pas dans d'autres.

Pour les uns, une fiche précisait :

En vous servant de votre cours et de votre livre, établir un DOCUMENT :

- résumant les tests à effectuer pour savoir si une solution renferme les ions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+}
- permettant d'effectuer rapidement ces tests sur 6 solutions inconnues (numérotées de 1 à 6)
- et d'en noter

* les résultats (apparition d'une réaction ou non)

* les conclusions (présence ou non des ions recherchés)

ceci pour chacune des 6 solutions

Dans les autres classes, c'est avec une consigne orale moins détaillée que le travail de préparation a été mené.

Pour les uns, une fiche distribuée au début de la séance de TP précisait que les résultats devraient être présentés sous forme de "tableaux" ; pour d'autres, le mot "tableau" avait été remplacé par "le plus clairement possible".

Nous ne développerons pas ici les conséquences de ces variations dans les consignes de travail, simplement, nous noterons ces quelques points :

melleure réussite
chez ceux qui ont
utilisé des outils
graphiques antici-
pataires

- Que la consigne en ait ou non été donnée, les élèves ont produit autant de tableaux (un tableau des solubilités des sels, présenté et longuement commenté en classe au cours de la phase d'étude du principe des identifications a peut-être fortement influencé ce choix des élèves).

- Plusieurs des élèves qui ont rédigé des textes sans faire intervenir de formes graphiques ne sont pas arrivés au bout de leurs expériences.

- Les meilleurs résultats ont été obtenus dans les deux classes où les élèves avaient déjà préparé le compte-rendu de manipulation sous forme de tableau contenant le résumé des tests à effectuer : la manipulation a alors été très rapide, sans besoin d'aide et les résultats précis et corrects.

2.2. Première analyse de la démarche intellectuelle

Examinons donc en quoi consiste la tâche :

Il s'agit de mener un ensemble d'opérations permettant de reconnaître indirectement la présence d'une substance dans une solution, à l'aide d'une coloration spécifique après adjonction d'un réactif. Ce qui est donné ici à propos des raisonnements et des opérations intellectuelles relève, nous le rappelons, de la logique de la tâche et non pas des raisonnements réels individuels. C'est la reconstitution à laquelle nous référerons les productions graphiques des élèves.

L'anticipation dont nous avons parlé plus haut ne porte pas sur la globalité de cette démarche : elle n'a pas été sollicitée au début de cet ensemble, mais au cours d'une phase intermédiaire, juste avant la phase de manipulation, alors que certains éléments étaient déjà acquis et utilisables pour la prévision demandée.

Nous avons tout d'abord caractérisé une suite d'étapes nécessaires dans la démarche et que nous avons formalisée comme suit :

OPÉRATIONS 1	OPERATION 1bis	OPÉRATIONS 2	OPERATION 2bis
Etablissement des équivalences réactif r \leftrightarrow présence couleur c de telle substance	Récapitulation des équivalences (regroupement des conclusions des 1)	Utilisation des équivalences établies en 1 pour la mise en évidence d'une substance	Récapitulation des opérations 2
pour permettre la mise en évidence indirecte d'une substance	pour rendre disponibles aux opérations 2 les conclusions des opérations 1	pour la mise en évidence d'une substance	pour connaître au moins partiellement la composition des solutions

une suite
d'étapes logiques

L'opération "1", qui correspond à l'établissement du principe qui permettra l'identification de chaque ion particulier a été menée dans des séquences de classe collectives, avec l'aide du professeur. Il s'agissait d'établir une série d'équivalences et ce, en utilisant le tableau des solubilités ("tableau 0"), fourni par le professeur.

TABLEAU "0"

Cation \ Anion	Na ⁺ sodium	K ⁺ potassium	Mg ⁺⁺ magnesium	Ca ⁺⁺ calcium	Ba ⁺⁺ barium	Al ⁺⁺⁺ aluminum	Ag ⁺ argent	Cu ⁺⁺ copper	Fe ⁺⁺ fer	Zn ⁺⁺ zinc
NO ₃ ⁻ nitrate										
SO ₄ ⁻⁻ sulfate										
CO ₃ ⁻⁻ carbonate										
OH ⁻ hydroxyde										
Cl ⁻ chlorure										



très peu soluble



soluble

Tableau des SOLUBILITES dans l'eau de quelques sels

Ce tableau comporte des éléments nécessaires au raisonnement qui permet d'établir ces équivalences, mais ne suffit pas à les établir. D'autres éléments sont nécessaires, comme la spécificité de la coloration des composés. Il ne donne pas non plus les conclusions des opérations "1" (les équivalences elles-mêmes) ; celles-ci seront établies collectivement et, plus tard consignées individuellement dans les outils que construiront les élèves.

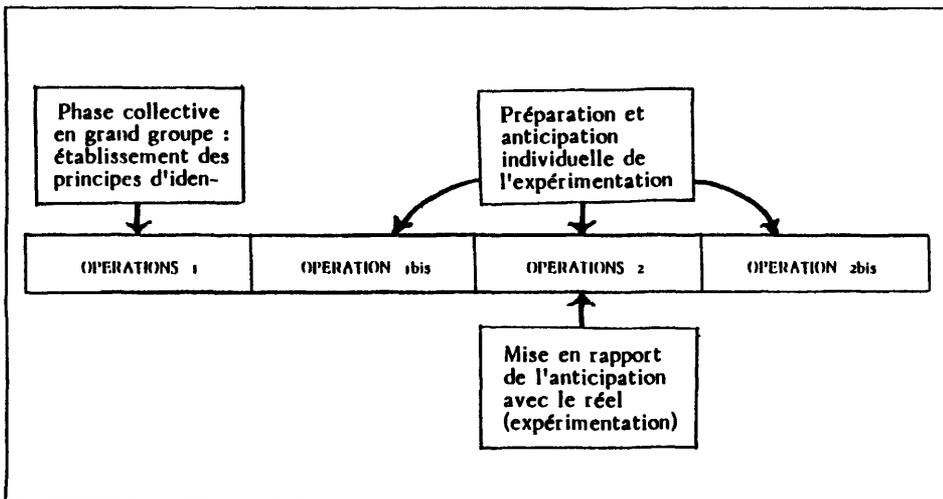
Remarquons que ces conclusions sont simplifiées : l'équivalence considérée n'en est une que si on néglige un certain nombre d'éléments comme l'influence de la concentration de la substance à identifier dans la solution ou la quantité de réactif ; que si on se place dans une situation où l'ordre d'adjonction des réactifs est sans influence sur l'aspect de la solution

une démarche simplifiée

après réaction ; que si on évite les mélanges éventuels de substances réagissant de façon différente au même réactif - ce que le professeur a évidemment pris garde d'assurer dans les solutions proposées aux élèves , mais qui pourrait bien se présenter autrement dans une situation où l'on ne connaîtrait pas à l'avance la composition de la solution à analyser...

Remarquons aussi que les opérations "1bis" et "2bis" n'ont de raison d'être que parce que le même procédé d'identification doit être mené successivement pour plusieurs ions et pour plusieurs solutions. Pour l'identification d'un seul ion, le raisonnement se réduirait aux opérations "1" et "2" : une partie non négligeable de la tâche intellectuelle consiste en la gestion de la multiplicité des démarches d'identification parallèles.

Les différentes opérations peuvent être situées ainsi par rapport aux différentes phases de l'activité de classe :



le même raisonnement à deux phases différentes de l'activité

Nous pouvons remarquer que les opérations "2" interviennent au cours de deux phases de l'activité : au moment de l'anticipation de l'expérience avec des données virtuelles et au moment de sa réalisation effective, avec cette fois des données réelles. Nous verrons comment les modalités du raisonnement diffèrent légèrement au cours de ces deux phases.

Nous reviendrons plus loin sur le détail du raisonnement, notamment pour l'opération "2" et sur d'autres aspects de la tâche, en particulier sur sa gestion pratique. Nous allons au préalable examiner certaines caractéristiques des outils graphiques produits par les élèves, par rapport à cette première analyse globale de la tâche intellectuelle.

2.3. Les outils graphiques produits par les élèves

une apparente
uniformité

La première chose que l'on peut remarquer, c'est que tous les outils graphiques produits par les élèves sont des tableaux à double (ou triple) entrée, que la consigne soit ou non donnée de construire un tel outil, contrairement à ce qui s'était passé dans les autres séquences de classe où les outils étaient beaucoup plus diversifiés (certains élèves ont néanmoins produit ici des textes).

mais des construc-
tions différentes

Ce que l'on peut remarquer ensuite avec quelque étonnement, c'est que, bien qu'il s'agisse d'une démarche relativement simple (le raisonnement l'étant lui-même comme nous l'avons dit plus haut) en regard de celle qui était impliquée dans les séquences sur le rôle de la salive et sur l'alimentation des escargots, les tableaux présentent une grande variété de constructions différentes : bien que le nombre de dimensions sur lequel ils sont bâtis soit limité, ils sont presque tous différents les uns des autres. Nous verrons de quelle manière et comment cela correspond à des fonctions différentes de l'outil graphique par rapport à la démarche.

Notre analyse prendra appui principalement sur les productions de trois élèves, que nous avons choisies pour les contrastes qu'elles présentaient malgré une efficacité sensiblement équivalente pour la réussite de la tâche (ces élèves ont tous trois réussi à peu près correctement leurs identifications) :

-Isabelle a produit un texte, correspondant à l'établissement des équivalences (opération "1"), et un tableau que nous appellerons "tableau A".

-Caroline a produit un tableau récapitulatif des équivalences à utiliser, que nous appellerons "Eb" ("E" pour "équivalences"), et un tableau semblable à "A" du point de vue des informations consignées, mais différent par son organisation, le "tableau B".

-Ludovic a produit un tableau unique, le "tableau C", plus synthétique.

2.4. Observations sur le fonctionnement et la structure interne des outils graphiques

Considérons tout d'abord le tableau "A" d'Isabelle :

une dimension du
tableau ordonnée
comme les
étapes logiques

Il se présente comme la figuration d'une série de raisonnements "2", empilés les uns par dessus les autres. Chaque ligne correspond à un raisonnement et l'alignement de gauche à droite à l'ordre logique et chronologique des opérations à effectuer pour chacun de ces raisonnements. Les mises en relation se font toujours de gauche à droite et le tableau n'a aucun intérêt à être lu verticalement, sauf de façon interne dans les cases correspondant à la colonne "réactif" (pour organiser pratiquement l'expérience et ne pas oublier un essai) et dans la dernière colonne récapitulant les conclusions.

n° du tube	Réactif	Résultat	nom de l'ion
6	nitrate d'argent chlorure de baryum soude	rien rien rien	—
5	Nitrate — chlorure — soude	Nuage Blanc rien rien	ion cl^- — —
4	Nitrate chlorure Soude	précipité Blanc rien rien	ion cl^- — —

TABLEAU "A"

La dimension verticale du tableau correspond par ailleurs à deux variables représentées de façon emboîtée : les solutions à analyser d'une part, les réactifs à utiliser d'autre part.

L'ordre apparaissant verticalement sur le tableau est arbitraire : on peut, sans bouleverser la signification du tableau, intervertir les lignes (à condition toutefois, de procéder à la même interversion à chaque occurrence de la même succession : les réactifs interviennent toujours dans le même ordre pour les différentes solutions) ; selon la terminologie de Bertin⁷, on dit que cette dimension est "ordonnable" (ou "différentielle" ou encore "qualitative"). Il en va tout autrement pour la dimension horizontale qui, elle, est "ordonnée" : l'ordre apparaissant graphiquement a une signification précise par rap-

(7) Pour plus de précisions sur le caractère "ordonné" ou "ordonnable" (non ordonné) des dimensions d'un tableau, on peut se reporter à BERTIN et à ce qu'il appelle le "niveau d'organisation d'une composante". BERTIN J. *Sémiologie graphique*. Paris-La Haye, Mouton, Gauthier-Villard, 1967, pp.34-39 et aussi BERTIN J. *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris. Flammarion, 1977.

port à la variable représentée (ici la succession des données à prendre en compte les unes après les autres dans le raisonnement), et il ne peut donc être modifié dans l'outil graphique. Donc, le tableau d'Isabelle est ordonné selon l'une de ses dimensions et ne l'est pas selon l'autre. Ce principe est loin d'avoir été adopté par tous les élèves.

sans être pourtant une "traduction" du raisonnement

Notons néanmoins que si ce tableau indique dans l'ordre de l'enchaînement logique les éléments à mettre en relation, il n'indique pas la nature de la relation qui est implicitement connue par ailleurs⁸. Les en-tête des colonnes indiquent néanmoins la nature des données à inscrire et donne une idée de leur fonction par rapport au raisonnement.

fonctionnement interne, fonctionnement externe : le rapport avec le réel

Parmi les différentes colonnes, seule la première peut être remplie a priori, avant l'expérimentation. La seconde consigne les données d'expérience, l'insertion du raisonnement par rapport à un réel particulier, observable. La troisième se déduit : de la première, de la seconde (données internes au tableau) et de l'équivalence connue par ailleurs (par opération "1") entre la couleur que prend la solution après adjonction de tel réactif et la présence de tel ion (donnée externe par rapport au tableau, à rechercher en mémoire ou dans le texte qui, pour Isabelle accompagne le tableau). Il s'agit d'un traitement des données internes au tableau, mises en relation avec une donnée supplémentaire qui, elle, est externe.

Au moment de l'anticipation de la tâche, seule la première colonne pouvait être remplie. La place des deux autres pouvait être prévue, mais vide, attendant les données réelles pour être remplie.

(8) On peut se reporter, à propos de l'impossibilité de "traductions" complètes de propositions d'ordre verbal en représentations graphiques ou imagées, aux textes suivants :
BRÉSSON François. "Réflexions sur les systèmes de représentation." Média. 1973-74. oct-nov 1975.
DROUIN Anne-Marie. "Des images et des sciences". Aster n4. 1987
VERIN Anne. "Schématisation d'un texte : Analyse d'un exemple". Compétences méthodologiques en sciences expérimentales, n3. Document interne à l'INRP. Juin 1987.

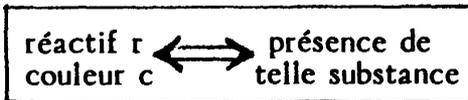
Observons maintenant les tableaux "Eb" et "B" de Caroline
Tout d'abord "Eb"

	Nitrate d'argent Ag NO ₃	chlorure de Baryum Ba Cl ₂	Soude Na OH	
Sulfate SO ₄ ²⁻		p.p. Blanc		HeP
Cuivre Cu ²⁺			p.p. Bleu turquoise	
Zinc Zn ²⁺			p.p. Blanc puis rouille	
Fer Fe ²⁺			p.p. vert foncé	
chlorure Cl ⁻	p.p. Blanc			
Carbonate CO ₃ ²⁻			effervescence	effervescence

Ce tableau correspond à l'opération "1bis", c'est-à-dire à la récapitulation de l'ensemble des équivalences établies par opérations "1" et visant à les rendre disponibles à leur utilisation dans les opérations "2" qui vont suivre.

Il est construit par croisement de deux dimensions conçues comme équivalentes : les réactifs à utiliser d'une part, les ions à identifier, d'autre part. Mais, ces deux catégories de substances ne sont pas désignées par leur fonction dans un raisonnement ou une démarche quelconque : le tableau indique simplement que la mise en présence de soude par exemple (implicitement réactif) avec l'ion Cu⁺ (implicitement une substance à mettre en évidence avec ce réactif), produit un précipité bleu turquoise. L'équivalence

dimensions qualitatives symétriques



ne figure pas en tant que telle, mais doit être reconstituée à partir des trois éléments disjoints dans le tableau.

Considérons maintenant le tableau "B" que Caroline a construit pour organiser ses expériences et pour consigner ses résultats :

TABLEAU "B"

produit / tube rest (noirs)	1	2	3	4	5	6
sulfate d'argent	rien ou pas de	p. blanc Cl^-	p blanc Cl^-	blanc Cl^-	blanc Cl^-	rien ff
chlorure de Baryum	précipité Blanc sulfate	rien	blanc sulfate	rien	blanc SO_4^{2-}	rien
acide chlorhydrique	rien	rien	rien	efferv. CO_3^{2-}	rien	rien
Soude	bleu Turquoise couleur	rien	rien	rien	blanc Zinc	rien

Il est équivalent à "A" au niveau des informations figurées : quatre dimensions, correspondant aux quatre colonnes de "A", y sont prises en compte. Mais l'organisation spatiale de ces dimensions est différente : celles qui correspondent aux deux premières colonnes de "A" (le numéro du tube et le réactif) sont croisées entre elles et celles qui correspondent aux deux dernières colonnes (la réaction et l'ion déterminé) figurent en "élévation"⁹ dans les cases ainsi définies.

Cette façon d'organiser la figuration des différentes dimensions en jeu fait disparaître l'ordre qui était établi entre celles-ci dans le tableau "A". En fait, une des dimensions d'Isabelle disparaît ici : celle qui figurait horizontalement et qui ordonnait toutes les autres en fonction de la place qu'elles occupaient dans le raisonnement.

Le tableau de Caroline est plus éclaté : les fonctions dans le raisonnement ne figurent pas en tant que telles. Toutefois, les éléments correspondant à une même fonction sont représen-

pas de correspondance directe entre raisonnement et forme graphique

(9) "En élévation" est le terme employé par Bertin pour désigner la figuration d'une troisième (et éventuellement d'une quatrième) dimension dans l'espace à deux dimensions que constitue le plan du tableau, lorsque ces deux dimensions sont déjà mobilisées par la figuration de deux variables ; il s'agit, en somme, de ce qu'on inscrit à l'intérieur des cases (BERTIN *ibid.*).

tés de façon homogène, ce qui montre que la fonction est bien identifiée ; mais l'organisation spatiale de l'ensemble n'assigne pas à chaque fonction une place qui soit en relation avec la spécificité de sa nature : cette place, contrairement à ce qui se passait dans le tableau "A", est arbitraire. Le raisonnement doit être reconstitué à la lecture à partir d'éléments disjoints (comme dans "Eb") dans le tableau ; ceci néanmoins selon une modalité coutumière : par considérations successives d'une tête de colonne, d'une tête de ligne et du contenu de la case correspondant à l'intersection. La chaîne logique est toutefois plus implicite que chez Isabelle.

pas de supériorité
d'une forme gra-
phique par rap-
port à l'autre

Ces considérations ne signifient d'aucune manière que le tableau "A" présente une supériorité quelconque sur le tableau "B" : l'arbitraire dans l'ordre des dimensions du tableau "B" n'est nullement synonyme de "désordre". Ceci signifie simplement que l'ordre apparaissant sur le papier réfère à autre chose qu'à l'ordre logique qui vraisemblablement était suffisamment disponible pour ne pas nécessiter en lui-même une traduction graphique explicite.

Ces tableaux ont par ailleurs tous deux permis d'organiser efficacement l'expérience et les deux élèves qui les ont produits ont également réussi leurs identifications.

Par ailleurs, dans le tableau "B" la disposition des conclusions (les ions identifiés) en deuxième ligne de chaque case ne permet pas, comme chez Isabelle de les considérer d'emblée de façon récapitulative, groupée (opération "2bis"). Pour connaître la composition d'une solution, on doit lire dans l'ensemble d'une colonne en sélectionnant les lignes correspondant bien à des conclusions (on doit éliminer celles qui correspondent à des résultats) et opérer mentalement le regroupement qui était matériellement réalisé chez Isabelle. Néanmoins, un tel regroupement matériel est relativement facile à opérer sur ce tableau (c'est pourquoi nous indiquerons p. 65 qu'il recouvre potentiellement l'opération "2"). D'autres regroupements sont possibles : on peut, par exemple, à la lecture de ce tableau savoir rapidement dans laquelle des solutions se trouve tel ion, ce qui serait plus long à partir du tableau d'Isabelle. Ce tableau "B" se présente donc de façon moins spécialisée par rapport à un raisonnement donné, puisqu'il se prête plus facilement à des regroupements différents.

Examinons maintenant, de façon comparative le tableau "C", de Ludovic :

	ions sulfate SO_4^{2-} réagissent avec chlorure de Barium	ions carbonate CO_3^{2-} réagissent avec acide chlorhydrique	ion chlorure Cl^- réagissent avec nitrate d'argent	ions zinc Zn^{2+} réagissent avec soude (p.p. blanc)	ions cuivre CU^{2+} réagissent avec soude (p.p. bleu)	ions fer FE^{2+} réagissent avec soude (p.p. vert)
<u>TUBE N°1</u>						
<u>TUBE N°2</u>						
<u>TUBE N°3</u>						
<u>TUBE N°4</u>						
<u>TUBE N°5</u>						
<u>TUBE N°6</u>						

LEGENDE

X encore réactif

X signifie
qu'il a été
de la colonne
coché dans
le tube de
la ligne
coché

Nous avons vu qu'il s'agit, pour Ludovic d'un outil graphique unique. Il a intégré dans les en-tête des colonnes les informations des tableaux de type "E" (les équivalences) sous la forme suivante :

ions zinc Zn^{2+} réagissent avec soude (p.p. blanc)

un tableau
condensé

Ainsi, ce tableau se présente comme un condensé des tableaux de type "E" et de type "A", "B"... Il sert de support aux opérations "1bis" et "2".

Ce qui est croisé avec les numéros des tubes est directement le résultat du raisonnement déductif : la conclusion. En effet, les en-têtes des colonnes comportent d'abord les noms des ions à rechercher et c'est cette dimension qui structure horizontalement le tableau.

Ce qui est noté dans les cases, c'est une réponse oui ou non à cette conclusion qui était préfigurée dans l'outil graphique au niveau des en-tête des colonnes. Mais il faut remarquer qu'une des informations n'est pas explicitement inscrite : c'est le résultat observé réellement dans chaque essai, qui doit être immédiatement converti en sa conclusion logique, la présence de l'ion recherché qui, elle, est inscrite aussitôt¹⁰.

Ce tableau peut donc, d'une certaine manière, être considéré comme lacunaire par rapport à "A" ou "B", puisque ces informations figuraient dans ces tableaux, mais il couvre une plus large part du raisonnement. On peut considérer qu'il procède par condensation d'informations, en opérant des changements de statut de ces dernières, ce qui lui permet d'être plus "extensif" que les autres par rapport au raisonnement¹¹.

C'est un procédé économique, mais qui demande une souplesse et un niveau d'abstraction suffisants.

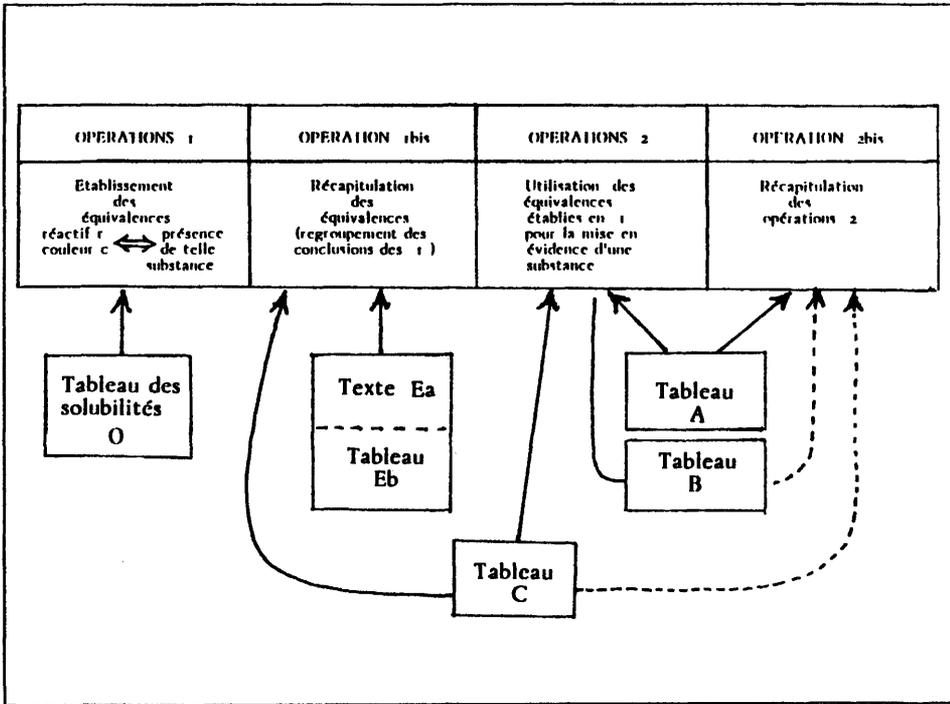
Par ailleurs, comme pour Caroline, aucune des dimensions du tableau n'est ordonnée.

2.5. La situation des outils graphiques par rapport à la suite des opérations intellectuelles

Une première façon de comparer ces différents outils, avant d'examiner plus attentivement leur fonctionnement par rapport à certaines opérations intellectuelles, consiste à les situer par rapport à l'enchaînement que nous avons décrit en 2.2.

(10) Si l'information "réagissent avec soude. pp. blanc" figure dans l'en-tête des colonnes, c'est en tant que connaissance générale et non pas en tant qu'observation particulière au cours de l'essai. Il est possible néanmoins que ce fragment de l'équivalence change mentalement de statut pour Ludovic au moment où, après un essai, il consulte les en-tête de colonnes ; il voit peut-être alors "avec soude. pp. blanc" comme le relevé de ce qu'il a réellement observé et non plus, comme au moment où il a construit le tableau comme un fragment d'une proposition "universelle".

(11) Néanmoins, comme pour Caroline dans le tableau "B", l'opération "2bis" (regroupement des conclusions pour une même solution) n'est pas matérialisée. Elle est toutefois matérialisable en ajoutant une colonne à droite.



Insertions différentes par rapport à l'enchaînement des opérations intellectuelles

On peut remarquer que les différents outils graphiques s'insèrent différemment dans l'enchaînement des opérations intellectuelles. Non seulement ils correspondent à des phases différentes du raisonnement, mais leur "extension" est variable. Le tableau "0" correspond à l'opération "1", sans la couvrir entièrement, les tableaux (ou textes) de type "Eb" correspondent à l'opération "1bis" de récapitulation des équivalences, les tableaux "A", "B" correspondent à deux étapes de l'enchaînement "2" et "2bis" ; quant au tableau "C", il est le plus "extensif" de tous : il comporte les éléments nécessaires à trois opérations ("1bis", "2" et "2bis").

Pour reprendre le même problème d'une autre façon, on peut examiner de quels outils dispose chaque élève en fonction des étapes du raisonnement :

	1	1bis	2	2bis	
O	O	texte	A		ISABELLE
O		Eb	B		CAROLINE
O	C				LUDOVIC

On peut remarquer que, outre le tableau "O" qui est à la disposition de tous les élèves, deux d'entre eux ne disposent que d'un seul tableau : ceci pour deux raisons différentes.

Pour Isabelle, le tableau de type "E" est implicite et les informations qui pourraient y figurer doivent être gardées en mémoire (ou recherchées dans le texte qui précédait son tableau, où elles figurent de façon moins systématisée, mêlées aux raisonnements qui permettent de les établir), apprises comme autant d'informations particulières à savoir "par coeur".

Pour Ludovic, les informations des tableaux de type "E" sont intégrées dans le tableau global : il n'a donc pas, comme Isabelle à s'encombrer la mémoire de chacune des équivalences.

On peut déjà constater que si les outils graphiques construits par les différents élèves servent de support à leurs raisonnements, c'est de façon différente, décalée pour chacun d'entre eux.

2.6. Implicites et exhaustivité des informations dans les outils graphiques

des reconstitutions
mentales à faire à
partir des tableaux

Chaque tableau produit est support au raisonnement, mais ne se superpose jamais entièrement au raisonnement lui-même, car, au minimum la nature des enchaînements de propositions est toujours implicite. Implicites aussi, c'est-à-dire censées être réalisées ou évoquées mentalement et non matériellement, toute une partie du raisonnement et des données traitées. Mais ceci de façon différente pour chaque tableau et chaque utilisateur : **les implicites ne sont pas les mêmes.**

Pour Isabelle, comme nous l'avons vu, c'est la partie correspondant aux tableaux de type "E", c'est à dire à l'opération "I bis" qui doit être gardée en mémoire et fonctionner sans outil ou support matériel (ou bien être reconstituée à partir du texte qui ne donne pas directement les informations à utiliser).

Pour Caroline, c'est l'aspect ordonné de l'enchaînement logique qui doit être entièrement reconstitué mentalement, mais l'ensemble des données à conserver en mémoire et sur lesquelles porte le raisonnement est consigné dans les outils : ce qui manque dans la figuration est de l'ordre d'une **structure générale**, le syllogisme, qui peut être sans doute plus facilement rendue disponible que des **connaissances plus spécifiques** comme les équivalences dont doit se souvenir Isabelle.

mais différentes
dans chaque cas

Pour Ludovic, qui utilise l'outil apparemment le plus universel, une partie intermédiaire de la démarche et des données reste implicite : celles qui concernent les résultats observés puisqu'elles sont sur le support matériel directement "traduites" en leur conclusion logique. Mais la mise en mémoire de ces éléments particuliers est très brève (contrairement à ce qui se passe pour Isabelle qui doit chercher en mémoire des équivalences établies de façon plus éloignée dans le temps) et les risques de perte d'information sont de ce fait réduits. Par

ailleurs, comme pour Caroline, l'enchaînement logique des opérations doit être reconstitué mentalement.

Pour résumer, on peut noter ainsi ce qui caractérise cet aspect de la question pour chaque élève :

ISABELLE	CAROLINE	LUDOVIC
<ul style="list-style-type: none"> - existence d'un support logique - absence de certaines données à garder en mémoire 	<ul style="list-style-type: none"> - absence de support logique (confiance en la structure mentale) - données à consulter figurent toutes dans un outil - coexistence de deux outils 	<ul style="list-style-type: none"> - absence de support logique - absence de certaines données à garder momentanément en mémoire - extension des opérations figurées

la sélection des informations est une nécessité

Si les implicites dans les outils graphiques peuvent être vus négativement, comme lacunes ou comme sources d'erreurs éventuelles, il convient de modérer ce jugement et d'en considérer aussi les aspects positifs : il ne faut pas perdre de vue qu'une sélection des informations est aussi nécessaire. En effet, pour une lisibilité et une maniabilité acceptable, il est nécessaire que la charge en informations ne soit pas trop grande. Un outil saturé d'informations diverses devient illisible et peut être source d'erreurs aussi bien qu'un outil lacunaire. Il perd sa valeur synoptique et réduit par là même une partie importante de son intérêt. La construction de l'outil graphique comporte une sélection des informations qui seront utiles, c'est-à-dire de celles autour desquelles qui sont absentes pourront être mentalement reconstituées le plus facilement possible. Il doit aussi permettre une saisie visuelle assez rapide et globale nécessaire pour retrouver l'emplacement de chaque information partielle de façon économique.

Ce n'est apparemment pas le cas du tableau reproduit page suivante (réalisé par un élève non cité jusque là), qui comporte un maximum d'informations par rapport à tout ce que nous avons vu jusqu'à présent.

Une grande partie de ce que nous avons noté comme lacunaire dans les tableaux précédents y figure.

éviter un jugement à partir d'un état final

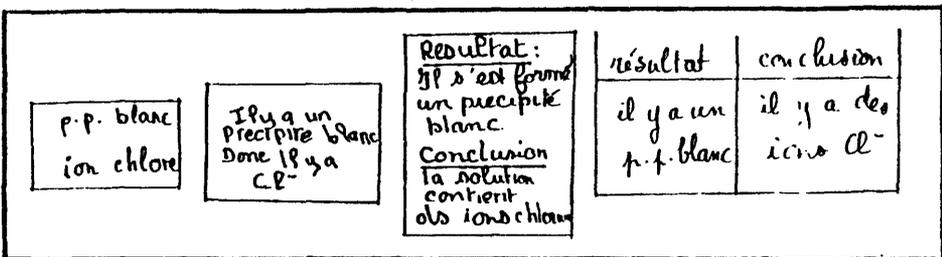
Notons néanmoins que, si le tableau semble confus à la lecture parce que trop plein, pour l'élève qui l'a construit, il a pu être tout à fait fonctionnel : il s'agissait d'organiser a priori l'expérience, de la mener à bien et de noter les résultats, toutes phases où le tableau n'était pas encore rempli, du moins pas entièrement. Il ne devait pas a priori servir à rendre les résultats intelligibles à autrui. Il ne faut pas perdre de vue que ces tableaux sont des instruments évolutifs et que ce qui n'est pas fonctionnel pour une phase donnée peut l'être tout à fait pour une autre.

LUNDI 2.13.15
11h

Support ?	nitrate d'argent (Ag NO ₃) (cf)	chlorure de Barium (Ba Cl ₂)	soude (Na OH)	nitrate de barium (Ba NO ₃) (carbonate)	conclusion
Tube n° I	Il y a un précipité blanc donc il y a Cl ⁻	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions sulfates	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions zinc	Il n'y a pas de précipité donc il n'y a pas de CO ₃ ²⁻	- pas de sulfate - zinc
Tube n° II	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions Cl ⁻	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions sulfates	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions zinc	Il n'y a pas de précipité donc il n'y a pas de CO ₃ ²⁻	- pas de sulfate - zinc
Tube n° III	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions chlorure	Il n'y a pas de précipité blanc donc il n'y a pas de ions sulfates	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions de cuivre	Il n'y a pas de précipité donc il n'y a pas de CO ₃ ²⁻	- ions chlorure - ions de Cu ²⁺
Tube n° III	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions chlorure	Il n'y a pas de précipité blanc donc il n'y a pas de ions sulfates	Il y a pas de réaction donc il n'y a pas de ions Zn ²⁺ et Cu ²⁺	Il n'y a pas de précipité donc il n'y a pas de CO ₃ ²⁻	- ions chlorure - ions de manganèse
Tube n° IV	Il y a un léger précipité blanc donc il y a au ions chlorure	Il n'y a pas de précipité blanc donc pas de ions sulfates	Il y a pas de réaction donc pas de ions Fe ²⁺ , Cu ²⁺ et Zn ²⁺	Il n'y a pas de précipité donc il n'y a pas de CO ₃ ²⁻	- ions chlorure
Tube n° V	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions chlorures	Il y a un léger précipité blanc donc il n'y a pas de ions sulfates	Il n'y a pas de réaction donc pas de ions Fe ²⁺ , Cu ²⁺ et Zn ²⁺	Il y a un précipité blanc donc il y a des ions CO ₃ ²⁻	- ions chlorure - ions sulfate - ions manganèse

2.7. Variantes dans la figuration des articulations du raisonnement. Éléments verbaux dans les outils graphiques. Dominante verbale ou graphique

Nous avons vu que dans le tableau "A" d'Isabelle, c'est l'organisation spatiale générale de gauche à droite qui rendait compte de l'enchaînement logique du raisonnement et du statut des données par rapport à celui-ci. Or, en observant la variété des tableaux produits par les élèves, on peut repérer des séquences spatiales partielles (à l'intérieur d'une petite case) relevant de la même sorte de symbolisme, mais localement. Nous avons relevé par exemple les variantes suivantes chez des élèves différents :



dans lesquelles le résultat figure toujours en amont de la conclusion (soit plus haut, soit à gauche comme le veut le sens de l'écriture de gauche à droite). Un ordre logique partiel est donc ici aussi respecté. En outre, le statut des données inscrites est parfois explicité verbalement, de façon plus ou moins élliptique, plus ou moins complète : "il y a....donc...", "résultat", "conclusion" etc...

éléments verbaux,
éléments graphi-
ques

Cette dernière remarque attire notre attention sur le caractère plus ou moins graphique, plus ou moins verbal des outils produits ; ceci correspond sans doute à des orientations cognitives générales individuelles. Un extrême peut être représenté par le tableau de Ludovic, où le minimum d'informations apparaît sous forme verbale (sauf dans la légende), le contenu de chaque case étant réduit à des croix de deux couleurs différentes. A l'autre extrême, on trouve par exemple le tableau suivant de type "E" :

Ions négatifs (anions)		Ions Positifs (cations)			
de précipité blanc qui noircit à la lumière, n'apparaît que lorsque l'on ajoute du nitrate d'argent aux solutions qui renferment des Ions Chlorure. Le chlorure d'argent est insoluble dans l'eau. Ion chlorure Cl^-	Pour voir si une solution renferme des Ions sulfate il suffit de lui ajouter des ions calcium ou baryum. On verra apparaître alors un précipité blanc de sulfate de baryum ou de calcium. car ses deux sels sont insolubles. Ion sulfate	Pour voir si une solution renferme des Ions carbonate, on peut voir si un solide est carbonate (calcium) on lui ajoute d'acide (acide chlorhydrique) si il s'agit bien d'un carbonate il y aura une apparence de dégagement gazeux. Ion carbonate	Cu^{2+} Pour ces 3 Pour ces 3 Ions le reactif utilisé est le même, on ajoute des Ions hydroxyde OH^- apportés par la soude ($NaOH$) Dans ces trois cas il se forme un précipité Bleu turquoise pour le cuivre.	Zn^{2+} " " " " Vert sombre devenant rapidement rouille pour le fer	Fe^{2+} " " " " Blanc si il s'agit d'ions Zinc

où une organisation spatiale pertinente intervient pour délimiter et situer les unes par rapport aux autres des séquences textuelles complètes. D'une façon plus extrême encore, certains élèves ont produit des textes stricto sensu ; il n'y a plus alors du tout d'instrument graphique. Nous avons vu que ces

productions semblaient moins appropriées à l'organisation de l'expérience, puisqu'elles ont été accompagnées d'une moindre réussite de la tâche d'identification des ions. Pour les formes graphiques, néanmoins, rien ne nous permet pour le moment de conclure à une efficacité générale plus grande des formes plus purement graphiques ou des formes faisant intervenir des éléments verbaux.

2.8. Comment s'inscrit plus précisément l'opération "2", qui concerne la phase d'expérimentation proprement dite, dans les outils graphiques des élèves

Nous avons tout à l'heure situé globalement les différents tableaux par rapport à l'enchaînement des opérations intellectuelles correspondant à la globalité de la tâche. Nous allons maintenant tenter d'analyser de façon plus précise comment ces tableaux fonctionnent par rapport aux éléments entrant en jeu dans l'opération "2". Nous allons pour cela décomposer cette opération, expliciter le raisonnement qui la constitue et la façon dont les données y sont prises en compte. Nous poussons donc ici un peu plus loin l'analyse de la tâche.

• Analyse de l'opération "2"

Chaque opération "2" est un syllogisme dans lequel interviennent deux prémisses à partir desquelles on infère une conclusion, par exemple :

PREMISSE I :

Les ions Cl^- réagissent spécifiquement avec le nitrate d'argent en donnant un précipité blanc

PREMISSE II :

On a observé un précipité blanc quand on a introduit du nitrate d'argent dans la solution 2

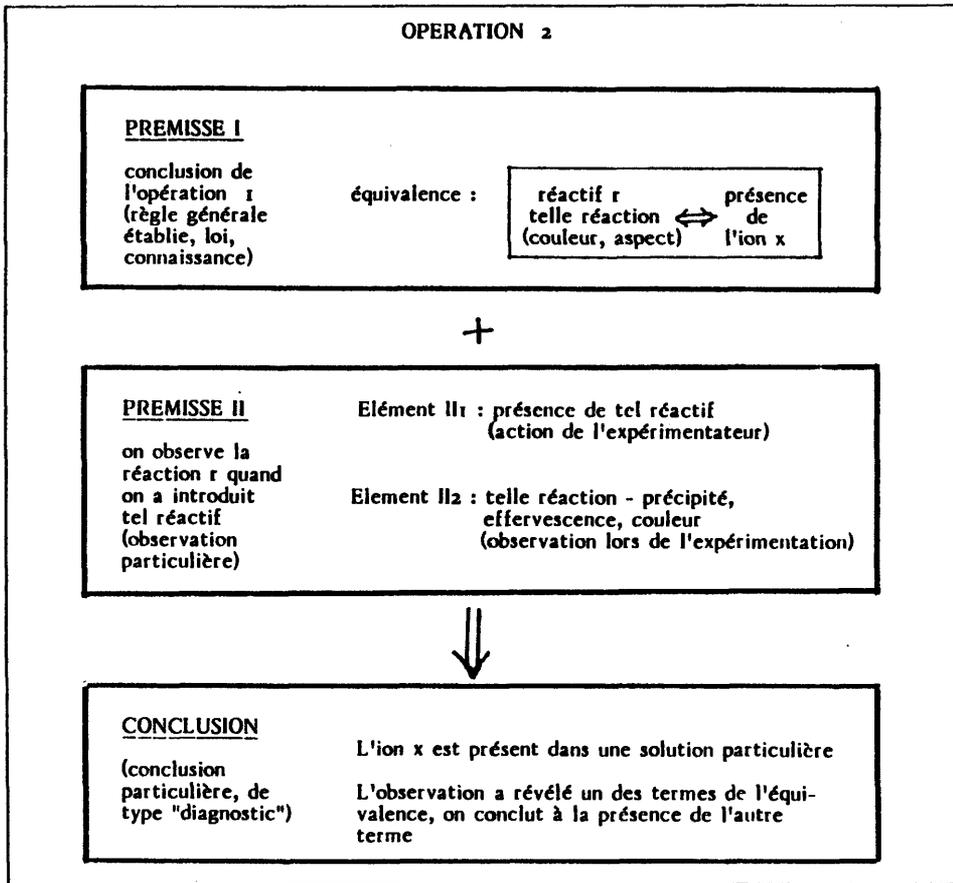
PREMISSE III :

La solution 2 contient des ions Cl^-

Mais, du point de vue des données spécifiant l'énoncé de la prémisses II, une nouvelle décomposition est nécessaire pour rendre compte des variables mises en relation : il faut considérer d'une part la présence du réactif (le nitrate d'argent) qui correspond à une action de l'expérimentateur (qui en verse quelques gouttes dans la solution à analyser) et d'autre part la réaction observée. Nous appellerons ces éléments respecti-

vement "élément 1" de la prémisses II et "élément 2" de la prémisses II (ou élément II₁ et II₂).

On peut globalement présenter le raisonnement de l'opération "2" comme suit :



un syllogisme du type "diagnostic"

Il fait intervenir :

- une action particulière
- une observation particulière
- une proposition "universelle"¹²
- une conclusion particulière¹².

(12) Sur l'analyse des syllogismes et la façon dont les propositions "particulières" et "universelles" y entrent en jeu, on peut se reporter à BLANCHE. *Le raisonnement*. Paris. PUF. 1973, pp. 138-140.

Il s'agit, mise à part l'évidente simplification, d'une démarche du même type que celle qui est suivie lorsqu'un médecin établit un diagnostic, en mettant en relation un symptôme particulier (ou plutôt d'un ensemble de symptômes) observé chez son patient et une connaissance générale concernant la relation entre ce symptôme et une maladie donnée.

On peut remarquer, pour reprendre plus précisément le problème de l'ordre logique dont nous avons déjà parlé à propos des tableaux des élèves, que les prémisses I et II sont commutatives (on peut changer leur ordre dans le raisonnement sans modifier ce dernier). Par contre les éléments 1 et 2 de la prémisses II sont temporellement dépendants l'un de l'autre et ne peuvent intervenir que dans cet ordre : il en est de même pour la conclusion qui suit nécessairement l'ensemble des prémisses.

Ceci sur le plan logique. Sur le plan du déroulement intellectuel réel, au moment de la réalisation de la tâche, il en va autrement : on fait vraisemblablement appel d'abord à la prémisses I pour sélectionner l'essai à effectuer ; puis, on passe à la réalisation concrète, avec en tête les éléments de la prémisses II ; et, vraisemblablement, on fait de nouveau appel à la prémisses I pour conclure.

• Données, raisonnement, outils graphiques

Pour comprendre la façon dont le raisonnement utilise l'outil graphique, il est nécessaire d'apporter une nouvelle précision : elle concerne la distinction entre raisonnement et données.

En effet, le raisonnement est constitué d'un ensemble de propositions verbales qui s'enchaînent logiquement. Or, ce qui est inscrit dans les tableaux, ce n'est jamais une de ces propositions dans son ensemble, mais seulement certains éléments de chacune de ces propositions : il s'agit de ce qui caractérise une proposition particulière par rapport aux autres propositions homologues dans les autres raisonnements "2" parallèles.

Par exemple, pour l'"élément 1" de la prémisses II (qui n'est lui-même qu'une moitié de la proposition qui constitue la prémisses II), ce qui sera noté ne sera pas "on a introduit du nitrate d'argent dans la solution", mais "nitrate d'argent", c'est-à-dire ce qui distingue cette proposition d'une autre analogue comme "on a introduit du chlorure de baryum dans la solution", qui, elle, sera notée "chlorure de baryum".

Ce qui est noté est le caractère particulier d'une variable qui intervient dans l'ensemble des propositions qui jouent le même rôle dans les autres raisonnements "2".

On pourrait appeler les valeurs de ces variables des "données", mais il faut alors préciser qu'il ne s'agit pas dans tous les cas de "données" d'observation prélevées sur le réel.

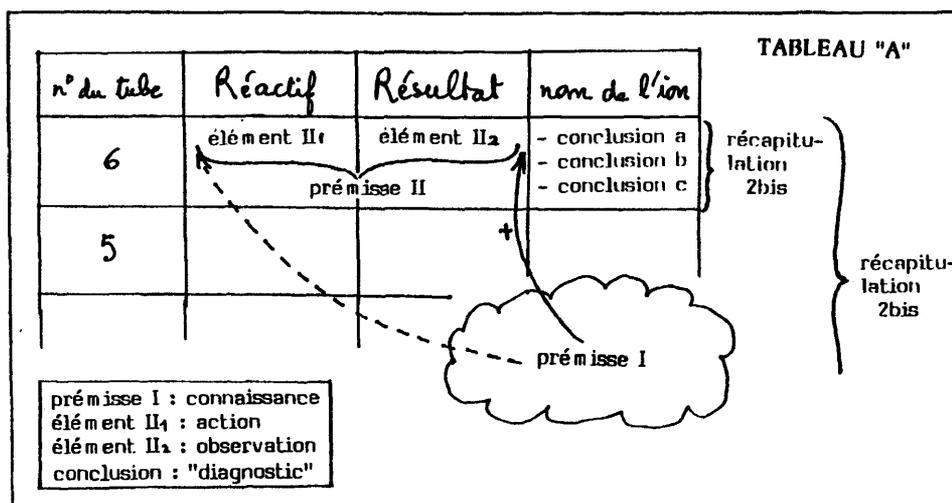
utilisation potentielle pour des raisonnements différents

Cette caractéristique confère aux outils graphiques une souplesse d'utilisation potentielle pour des raisonnements différents, puisque des propositions différentes peuvent être reconstituées autour des mêmes "données" : ceci permet une pluralité de mises en relation différentes et ce d'autant plus facilement que les éléments verbaux sont totalement absents.

• L'opération "2" et les outils graphiques des élèves

Voyons maintenant comment ces éléments se retrouvent dans les outils graphiques des élèves et ce que nécessite leur mise en relation.

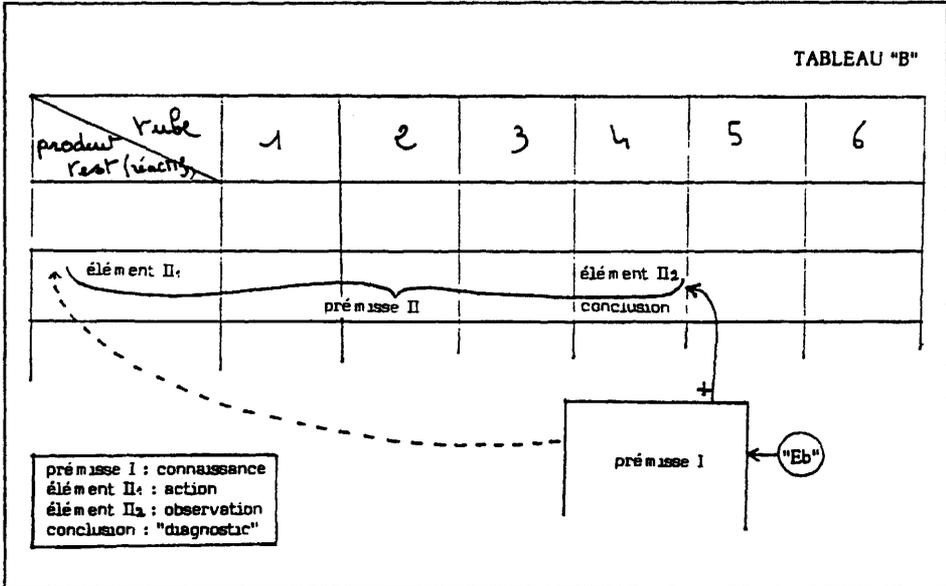
Pour ISABELLE



... un effort de mémoire nécessaire

Ce qui rend pour Isabelle l'opération "2" facile à réaliser, c'est l'ordre "élément 1" de la prémisse II, "élément 2" de la prémisse II, conclusion, de gauche à droite, qui suit l'ordre du raisonnement. Par contre, la référence à la prémisse I exige soit un effort de mémoire, soit une recherche, nécessairement un peu longue et coûteuse dans un texte, au moment du passage à la conclusion.

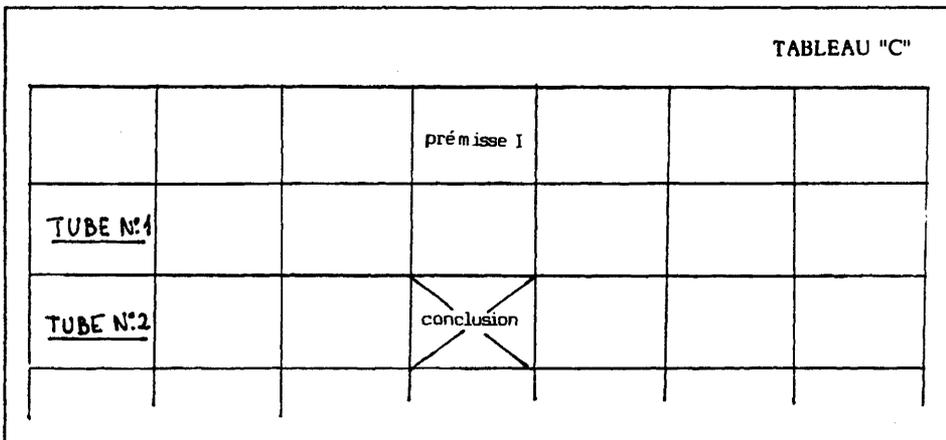
Pour CAROLINE



...rassembler les informations de plusieurs outils

Ce qui peut représenter une difficulté ou une lourdeur pour Caroline au moment de chaque essai et de la réalisation du raisonnement "2" correspondant, c'est la nécessité de rassembler les informations à prendre successivement en compte, dispersées dans deux outils différents et de plus disjointes à l'intérieur d'un même outil.

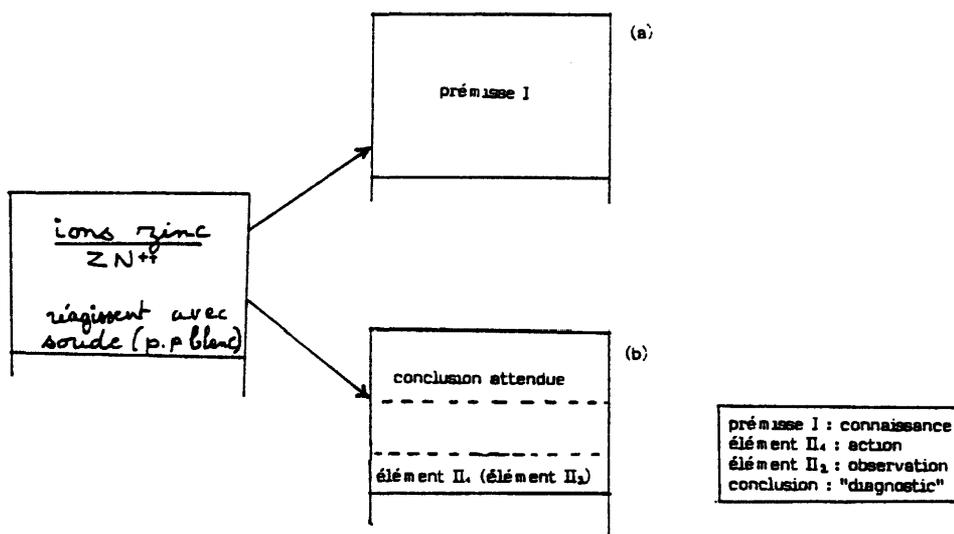
Pour LUDOVIC



Pour l'opération "2", ce tableau est à la fois plus synthétique et plus complexe que les autres : pour lire la conclusion d'une opération "2", il faut deux points de lecture successifs (en haut de la colonne et dans la case considérée), pour ne pas dire trois si on compte le report à la légende donnant la signification de la couleur de la croix.

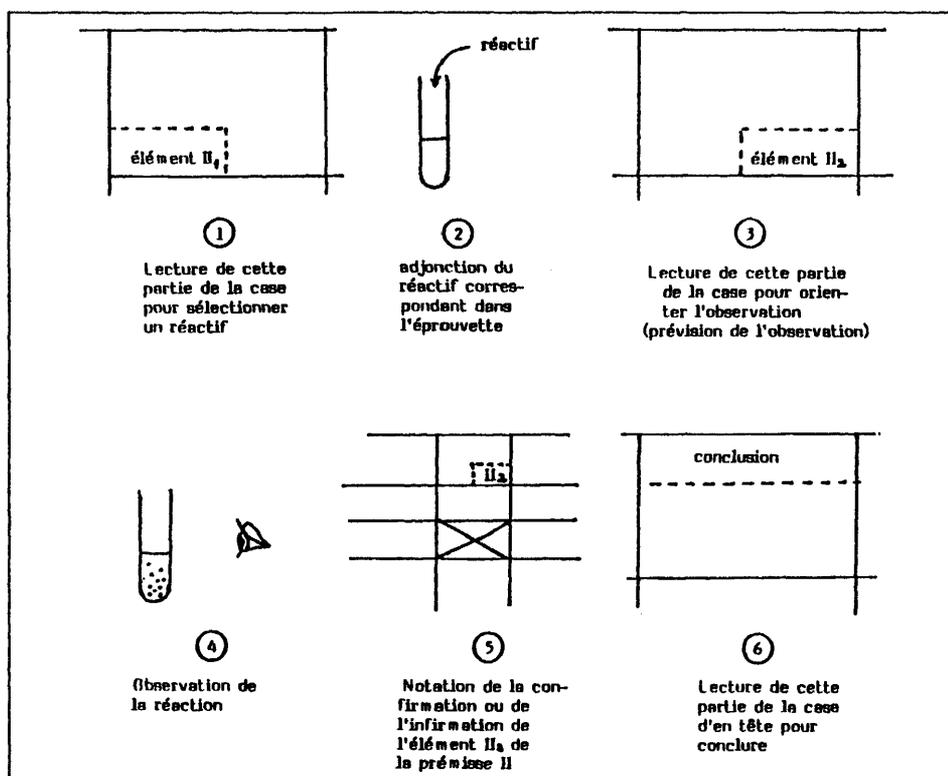
Ce que nous avons indiqué dans le tableau peut être complexifié si l'on se souvient que selon les étapes de la démarche les informations figurant dans la case d'en tête de colonne peuvent être prises globalement ou fragmentairement, ce qui en modifie la signification. Ainsi la case d'en tête de colonne suivante peut être interprétée de deux manières : elle peut être considérée globalement (a), comme l'expression de la prémisse I, au moment où on en a besoin dans le raisonnement, ou bien, au cours d'autres phases du raisonnement, décomposée et lue partiellement (b) :

...changer le statut des informations selon le moment dans le raisonnement .



L'avantage d'un tel tableau est de rassembler dans un même outil les renseignements utiles, mais sa difficulté d'utilisation réside en la nécessité de changer le statut des informations selon les phases du raisonnement.

On peut aussi concevoir que ce qui est inscrit dans les cases cochées par les croix n'est pas directement la confirmation de la conclusion, mais celle de l'"élément I" de la prémisse II (confirmation d'une observation attendue) avec une succession d'opérations du type suivant :



Cette dernière opération suppose à la fois un changement de statut de la croix qui d'abord signifie la confirmation d'une observation attendue et ensuite la confirmation d'une conclusion attendue, et un changement de statut de la partie haute de la case d'en-tête d'une conclusion attendue en une conclusion confirmée.

L'utilisation d'un tel tableau, s'il est économique du point de vue du rassemblement des informations s'avère néanmoins complexe du point de vue intellectuel. Notons néanmoins que toutes ces opérations et lectures différentes dans l'outil peuvent se faire sans une conscience explicite de ces changements de statut des informations ! Et c'est très vraisemblablement ce qui s'est passé pour Ludovic !

2.9. Intérêt des outils graphiques par rapport à la tâche

Nous avons noté que le raisonnement s'inscrit, au moins partiellement, dans les outils graphiques produits. Nous avons analysé de quelle manière.

Mais l'intérêt de l'outil graphique n'est pas tellement ici de sou-

gestion de la multiplicité des chaînes déductives

tenir la chaîne déductive qui est relativement simple : d'ailleurs, peu d'élèves ont réalisé un outil où celle-ci est apparente. Il réside plutôt dans la gestion de la multiplicité des chaînes déductives parallèles et le regroupement de leurs conclusions. S'il n'y avait eu qu'une substance à identifier dans une seule solution, avec un seul réactif, il est fort probable que la majorité des élèves se seraient passés sans dommage d'un outil graphique.

L'aide principale de l'outil graphique est ici de permettre :

- de ne pas oublier un essai dans la multitude des essais nécessaires (chaque chaîne déductive ne comportant qu'un essai), autrement dit d'introduire une systématisme
- de ne pas emmêler les différentes chaînes déductives (donner la conclusion correcte par rapport à la solution réellement analysée et par rapport au réactif utilisé ; ne pas donner la conclusion qui correspondrait à un autre réactif ou une autre réaction...)
- de regrouper les conclusions de façon à connaître la composition de chaque solution.

Mais, si l'intérêt de l'outil n'est pas tellement de soutenir la chaîne logique, celle-ci doit néanmoins pouvoir s'y retrouver assez facilement, ne pas se perdre ; sans quoi, le raisonnement ne peut pas se faire.

Nous avons examiné jusqu'ici la façon dont l'outil graphique s'insérerait par rapport au raisonnement et aux opérations intellectuelles nécessités par la tâche. Mais il joue un rôle différent au moment de l'anticipation de la tâche et au moment de sa réalisation effective : il joue aussi un rôle non négligeable dans l'organisation pratique de la tâche. Ce sont ces aspects que nous allons maintenant examiner.

3. LES OUTILS GRAPHIQUES COMME ARTICULATEURS DES DIFFERENTS ASPECTS DE L'ACTIVITE

3.1. Différentes formes d'anticipation dans la construction des outils graphiques

le raisonnement dans l'anticipation et dans la réalisation de la tâche

Avant la phase expérimentale à proprement parler (ou phase de "manipulation"), le raisonnement doit être préfiguré, ou anticipé sous forme hypothético-déductive, sur des données hypothétiques et non pas réelles puisqu'elles ne sont pas encore connues), avec une formulation du type ¹³:

(13) Sur le syllogisme hypothétique, se reporter à BLANCHE. *ibid* pp.140-141

comme	Prémisse I (équivalence)
si	Prémisse II (réaction c observée avec réactif r)
alors	Conclusion (présence de tel ion)

Nous retrouvons à peu de chose près le syllogisme décrit précédemment. La différence réside dans le "si" dont est affectée la prémisse II, dont on ne sait pas encore si elle sera réalisée.

Au moment de la construction des outils graphiques, en particulier des tableaux de type "A" ou "B", un tel raisonnement est nécessairement conduit.

Mais la façon dont les différents élèves spécifient à l'avance le raisonnement est variable : ils se projettent à l'avance plus ou moins loin dans la chaîne déductive, et de façon plus ou moins spécifiée pour chacune des variables en jeu dans ce raisonnement. Et, parallèlement, se profile une idée de la façon dont ce raisonnement déductif pourra être mené à bien, "réalisé" sur des données réelles, concrètes, y compris dans les aspects pratiques de l'organisation de l'expérience.

Au moment où la démarche est anticipée, les élèves construisent les cadres des outils graphiques : ils en conçoivent la structure, qui est un reflet du mode d'anticipation adopté et inscrit dans l'outil.

anticipation
"pragmatique" et
anticipation
"intellectuelle"

Ces considérations nous amèneront à comparer les cadres de différents outils, ce qui nous conduira à différencier ce qui relève dans les outils d'une anticipation que nous qualifierons de "pragmatique" et ce qui relève par opposition d'une anticipation "intellectuelle".

Observons les trois structures de tableaux suivantes, rencontrées chez trois élèves. Le premier a la même structure que "B" de Caroline mais, pour des raisons de commodité de comparaison les dimensions horizontale et verticale ont été inversées ; le deuxième provient d'un élève non cité jusqu'à présent ; le troisième reprend la structure de "C" de Ludovic : Ces trois tableaux ont été choisis pour leur similitude d'organisation. Mais un élément important les différencie : c'est la nature de la composante qui est représentée horizontalement dans le tableau.

ce qu'il y a
à faire ...

- Pour le premier, il s'agit de la succession des réactifs utilisés. En observant la totalité du tableau, on peut remarquer que chaque intersection entre ligne et colonne correspond à un essai à réaliser pratiquement. Ce tableau indique donc parfaitement ce qu'il y a à faire pratiquement ; il est même fort probable que la numérotation de 1 à 6 des solutions pré-

sente une correspondance spatiale directe avec la disposition réelle des éprouvettes dans leur support, et que la succession des réactifs 1, 2, 3 corresponde à la succession réelle de leur utilisation dans le temps. Il laisse la possibilité de réaliser d'abord tous les essais correspondant à une ligne, ou tous les essais correspondant à une colonne¹⁴.

DIFFERENTES FORMES D'ANTICIPATION

	réactif 1	réactif 2	réactif 3
1			
2			
3			
4			

anticipation
"pragmatique"

	réactif 1	réactif 2	réactif 3 réaction a	réactif 3 réaction b	réactif 3 réaction c
1					
2					
3					
4					

	ion 1 réactif 1	ion 2 réactif 2	ion 3 réactif 3 réaction a	ion 4 réactif 3 réaction b	ion 5 réactif 3 réaction c
1					
2					
3					
4					

anticipation
"intellectuelle"

- (14) Notons que si du point de vue logique il est indifférent de procéder d'abord aux essais correspondant à une ligne ou une colonne, d'un point de vue pratique, il peut en aller tout autrement : si on dispose d'une pipette unique pour tous les réactifs, on a tout avantage à procéder d'abord à tous les essais utilisant un même réactif pour les différentes solutions, réduisant par là considérablement le nombre d'erreurs dues à un mauvais nettoyage de pipette ! Ceci pour préciser que les impératifs des différents plans de l'activité peuvent ne pas se superposer.

à observer...

- Pour le deuxième, l'organisateur horizontal peut sembler proche du précédent, puisque les réactifs figurent en tête de colonne ; mais l'élève qui a produit ce tableau y a inscrit une projection plus en avant dans la chaîne déductive : en effet, pour trois des colonnes, c'est le **résultat des observations** (réaction a, b, c) qui est déterminant puisqu'il les différencie. C'est cet élément qui détermine le nombre de colonnes inscrites. Alors que le tableau précédent utilisait comme organisateur ce qui correspondait à l'"élément 1" de la prémisse II (l'action), celui qui est utilisé ici correspond à l'"élément 2" (l'observation ; ici, l'observation attendue, possible hypothétique), qui est postérieure à l'action dans la chaîne déductive.

à chercher...

- Le troisième projette encore plus loin dans la chaîne déductive, puisque ce qui sert d'organisateur à la dimension horizontale est la phase finale de la déduction : **sa conclusion, l'ion à rechercher**. Les intersections entre lignes et colonnes ne correspondent plus, comme pour le premier à des essais à réaliser, mais à des conclusions possibles. C'est la raison pour laquelle nous qualifions de plus "intellectuelle" l'anticipation dans ce tableau. Ce qui ne veut pas dire pour autant qu'il n'y ait pas de place prévue dans les autres tableaux pour les conclusions, mais celles-ci n'y sont pas spécifiées à l'avance et ne servent pas d'organisateur.

Quelques remarques

Ce que nous avons appelé ici "projection dans la chaîne déductive" ne se confond pas avec ce que nous avons appelé "extension des opérations intellectuelles figurées" (p. 65) : Effectivement, les trois tableaux dont nous venons de parler permettent, au moment de la réalisation effective de chaque essai, de noter tous les éléments intervenant dans l'opération "2" jusqu'à sa conclusion (l'ion recherché) ; leur "extension" pour l'opération "2" est donc égale. Mais au moment de l'anticipation, et c'est ce qui détermine le caractère "pragmatique" ou "intellectuel" de cette dernière (ou le degré de projection dans la chaîne déductive), ce ne sont pas les mêmes éléments qui donnent aux différents tableaux leur organisation générale, leur structure. Donc ces trois tableaux ont une "extension" égale pour l'opération "2", mais un degré de "projection dans la chaîne déductive" différents.

Il est important de souligner par ailleurs que l'anticipation "pragmatique" ou "intellectuelle" dans l'outil ne doit pas se confondre avec l'anticipation mentale (celle qui se déroule "dans la tête" des élèves) : dans le tableau que nous avons qualifié de "pragmatique", une place est réservée aux conclusions. Caroline avait mentalement prévu, au moment de son anticipation, qu'il y aurait des conclusions aux opérations "2", mais n'avait pas spécifié à l'avance les différentes conclusions possibles, n'avait pas structuré son tableau selon les conclusions. Néanmoins, elle avait prévu qu'il y en aurait, sans éprouver le

l'anticipation manifestée dans l'outil ne se confond pas avec l'anticipation mentale

figuration et disponibilité mentale

besoin de les spécifier à l'avance. Confiante dans sa capacité à reconstituer l'ensemble du raisonnement au moment de l'essai, elle n'a pas matérialisé dans l'outil sa vraisemblable "anticipation intellectuelle" au niveau mental.

La construction d'un tableau "pragmatique" ou "intellectuel" ne dénote pas nécessairement un état d'esprit ou un style cognitif équivalent. On peut, au contraire, faire l'hypothèse que dans les cas où la chaîne déductive est suffisamment structurée et disponible mentalement pour un individu donné, sa figuration est peu utile. Par contre un soutien par un outil peut dans ce cas être utile pour l'organisation matérielle de l'expérience et un tableau plus "pragmatique" être plus efficace. Un soutien "intellectuel" par un outil graphique peut, au contraire, être plus efficace quand cette sphère est moins solidement structurée mentalement, comme c'est peut-être le cas pour Isabelle qui a spécifié toutes les étapes de la démarche.

Considérons en effet le tableau "A" d'Isabelle (p. 58) dont nous n'avons pas encore parlé à propos de ce problème. Nous avons vu qu'il prévoit de façon matérielle (et explicitée dans les entêtes des colonnes) les différentes étapes des opérations intellectuelles à mener. Il s'agit donc en quelque sorte d'un tableau à anticipation intellectuelle. Mais ceci d'une manière très différente du tableau "C" de Ludovic : tandis qu'Isabelle indique toute la suite des opérations intellectuelles à mener, Ludovic se contente de spécifier dans son cadre les différents valeurs possibles correspondant à l'étape finale, manifestant ainsi comme Caroline une confiance suffisante dans sa capacité de reconstitution mentale des étapes manquantes. Donc, si ces deux tableaux peuvent également être qualifiés d'"intellectuels", c'est de façon fort différente puisque l'un spécifie les étapes du raisonnement et l'autre les différentes conclusions possibles.

3.2. Articulation entre différents plans de l'activité

Mais si le tableau d'Isabelle donne des indications sur les opérations intellectuelles prévues, il en donne aussi sur les opérations pratiques à effectuer : il matérialise à la fois une anticipation "intellectuelle" et une anticipation "pragmatique".

Nous avons remarqué p. 59 que ce tableau comportait une dimension "ordonnée" (horizontale) et une double dimension non ordonnée ou comportant un ordre arbitraire (verticale)¹⁵.

(15) Pour le tableau "B" de Caroline, les deux dimensions croisées présentaient également un ordre arbitraire.

étapes successives du raisonnement : anticipation
"intellectuelle"

	n° du tube	Reactif	Resultat	nom de l'ion
disposition des tubes dans le présentoir : anticipation "pragmatique"	6	essais successifs : anticipation "pragmatique"		
	5			
	⋮			

TABLEAU "A"

Mais examinons plus précisément comment cet ordre arbitraire est choisi : l'arbitraire est-il vraiment entièrement arbitraire ? Pour la dimension verticale d'Isabelle représentant la variable réactif il existe bien un arbitraire à l'intérieur de chaque petite case ; mais il est important de remarquer que cet ordre est toujours le même d'une petite case à l'autre : Nitrate d'Argent, Chlorure de Baryum, puis Soude. Cette répétition de l'ordre, cette systématisation correspond à une **logique de l'organisation pragmatique** de l'expérience. Cet ordre dans l'espace correspond vraisemblablement à l'ordre temporel des essais. Il correspond à la nécessité de ne pas en oublier un, d'une part, de ne pas les mélanger d'autre part et enfin à la nécessité de ne pas se tromper dans la mise en correspondance d'un essai réalisé concrètement et de l'inscription de son résultat dans la case qui lui est réservée dans l'outil graphique, et pas dans une autre.

De même, si l'ordre dans la dimension verticale représentant les différentes solutions numérotées de 1 à 6 est en soi arbitraire, il reproduit vraisemblablement une **disposition spatiale réelle des tubes à essai** contenant les différentes solutions¹⁶.

(16) Cette correspondance spatiale directe n'est pas absolument indispensable si les tubes à essai sont matériellement numérotés comme les numéros des cases verticales, mais représente une économie substantielle dans l'effort de mise en correspondance d'un essai avec son inscription dans le tableau à la place correcte.

une logique de
l'organisation ma-
térielle

Donc si cet ordre est intrinsèquement arbitraire, sa mise en correspondance avec un ordre réel matériel ne l'est pas : il relève de la logique de l'organisation matérielle de la tâche.

Tout ceci permet de dire que, pour Isabelle, le tableau "A" sert de médiation entre une logique d'organisation intellectuelle de la tâche et une logique d'organisation pratique, qui toutes deux sont d'abord anticipées, puis réalisées effectivement. Le tableau lui sert en quelque sorte à convertir l'un en l'autre, à passer de la conception à la réalisation. Nous l'avons montré sur le tableau d'Isabelle, mais ceci se retrouve à des degrés divers dans les autres tableaux qui tous articulent dans des proportions différentes des aspects référés à la logique intellectuelle de la tâche et des aspects référés à sa logique pratique.

Nous avons vu qu'une des fonctions des outils graphiques est l'articulation des logiques correspondant à différents plans de l'activité¹⁷. Mais les outils graphiques comportent eux-mêmes leur propre logique, liée d'une part aux possibilités et aux contraintes des agencements dans l'espace à deux dimensions et d'autre part aux caractéristiques à respecter pour une saisie visuelle à la fois économique et féconde.

C'est selon cette dernière logique que ce tableau de type "E" (produit par un élève jusqu'à présent non cité), est ordonné :

médiation entre
logique d'organisa-
tion intellec-
tuelle et logique
d'organisation
pratique...

servie par une
logique d'organisa-
tion graphique

produit. ion à identifier	nitrate d'argent	chlorure de baryum	ac. de chlorhydrique	hydroxide de sodium		
	précipité blanc	précipité blanc	effervescence	précipité bleu turquoise	précipité vert foncé	précipité blanc
chlorure Cl^-	X					
sulfate SO_4^{2-}		X				
carbonate CO_3^{2-}			X			
cuivre Cu^{2+}				X		
Fer Fe^{2+}					X	
zinc Zn^{2+}						X

(17) A propos de la distinction de plans différents dans l'analyse de la tâche, on peut se référer aux travaux de VERMERSCH (distinction entre "logique conceptuelle" et "logique de l'action" ; les plans que nous distinguons ici se situent de façon légèrement différente). P. VERMERSCH. "Analyse de la tâche et fonctionnement cognitif dans la programmation de l'enseignement". *Bulletin de psychologie*. n.343. 1979

On peut ainsi distinguer trois plans en étroite relation, selon lesquels l'activité des élèves peut être analysée :

	OPERATIONS PRATIQUES	OUTILS GRAPHIQUES	OPERATIONS INTELLECTUELLES
PHASE PREEXPERIMENTALE		Etablissement de l'outil graphique de type "E" Construction anticipatrice de l'outil graphique de type "A, B, C"	Opérations 1 et 1bis Anticipation de l'opération 2
PHASE EXPERIMENTALE	disposition ou numérotation des éprouvettes en conformité avec l'outil graphique essais successifs réactif  observation nettoyage avant essai suivant	repérage dans l'outil "A, B" de l'essai à effectuer Inscription dans l'outil "A, B" des résultats (après recours à l'outil "E")	sélection des opérations 2 dans l'ensemble opérations 2 successives récapitulation des conclusions

succession chronologique des opérations à effectuer

Mise en correspondance des trois plans

Trouver une correspondance, après sélection d'une opération 2 particulière, entre phase de l'opération 2, opération pratique correspondante, case de l'outil où l'inscription doit se faire

La trame de l'analyse ainsi esquissée globalement pourrait être affinée à propos de l'utilisation de chaque outil particulier avec le détail des différentes opérations intellectuelles et pratiques et la façon dont cet outil s'y insère de manière spécifique ; la façon dont il les soutient ou dont il peut éventuellement y faire obstacle ou être source d'erreur.

Il resterait également à mettre en correspondance les divers outils graphiques avec le degré de réussite dans la tâche d'identification des ions (étant entendu que ceux que nous avons étudiés ici ont tous été produits par des élèves ayant réalisé correctement la tâche) et à examiner comment l'expérience a été menée par les élèves n'ayant pas construit d'outil graphique.

Ces éléments nous aideraient à porter des jugements sur la valeur spécifique de tel ou tel outil par rapport à la réussite de la tâche. Mais ceci nécessiterait une nouvelle étude et nous en resterons provisoirement ici pour cette analyse qui nous permet déjà d'avancer quelques conclusions.

4. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de montrer, sur une activité particulière, certains aspects du fonctionnement d'outils graphiques produits par des élèves par rapport à la démarche intellectuelle. Pour situer cette réflexion dans un contexte plus large et considérer de quelle façon ce travail peut éclairer ce qui se passe dans des situations plus complexes, récapitulons les principaux points émergeant de notre étude.

4.1. Diversité des outils graphiques

Les outils graphiques produits par les élèves sont beaucoup plus diversifiés qu'il n'apparaît au premier abord. Selon les cas :

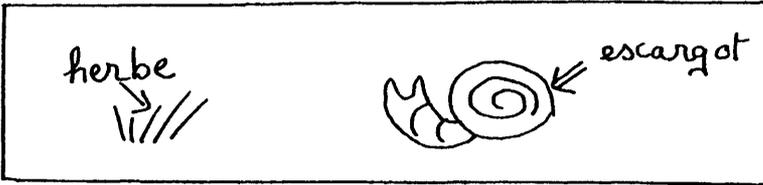
- ils présentent un caractère synthétique (Ludovic), ils sont découpés en plusieurs unités simples (Caroline), ou sont lacunaires et cohérents (Isabelle) ; ils sont adaptés à des modes de fonctionnement intellectuel différents ;
- les informations sélectionnées, et par conséquent les implicites ne sont pas les mêmes ; les outils graphiques des différents élèves n'interviennent pas aux mêmes moments dans la démarche intellectuelle ;
- ils sont plus ou moins attachés spécifiquement à un raisonnement particulier, qui est plus ou moins explicité dans l'agencement spatial adopté ; certains sont de ce fait plus spécialisés (Isabelle), d'autres se prêtent davantage à une pluralité de raisonnements potentiels, peuvent être "lus" de différentes façons (Ludovic) ;
- ils sont plus ou moins orientés vers une prévision des aspects pratiques de la tâche, vers ce qu'il y a à faire (Caroline), ou vers ses aspects intellectuels, vers ce qu'il y a à chercher (Ludovic).

différences dans
les fonctions des
outils selon les
individus

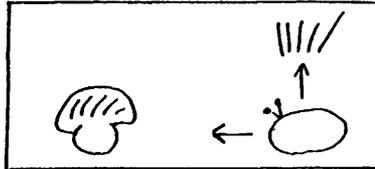
Cet ensemble de divergences traduit la diversité des fonctions jouées par les outils graphiques, pour les différents élèves qui les ont produits, ce qui n'est pas nécessairement perçu dans une situation de classe habituelle où l'on a tendance à privilégier un modèle unique conçu comme le seul correct. Ceci a son importance si l'on fait l'hypothèse que les choix faits par les élèves correspondent, au moins en partie, à une nécessité fonctionnelle par rapport à leur économie cognitive indivi-

duelle, et que ce ne sont pas nécessairement les mêmes outils qui conviennent le mieux à tous et aux différents moments de la structuration intellectuelle.

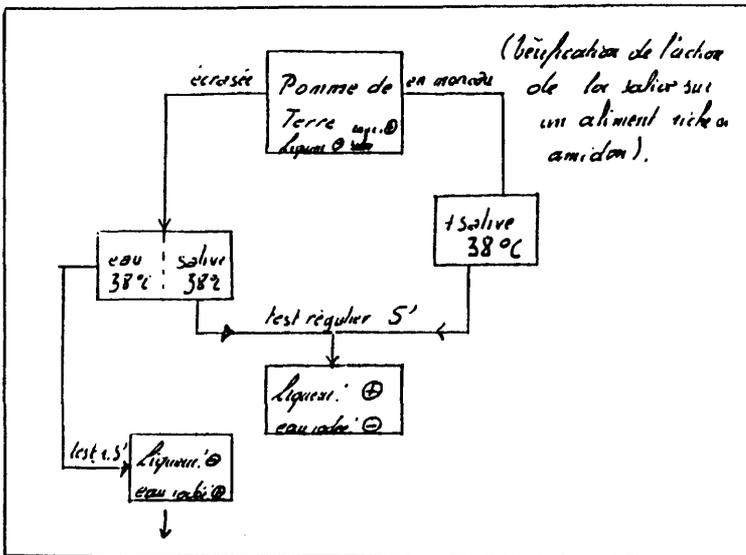
Il faut remarquer également, et ceci renforce le poids de ce que nous venons de dire, que les divergences repérées ici sont minimales par rapport à ce que nous avons rencontré dans les autres séquences de classe, qui mettaient en jeu une activité plus proprement expérimentale et plus complexe : pour ces séquences, nous avons obtenu des schémas séquentiels d'une action isolée comportant des aspects réalistes



des schémas du principe de l'expérience.



des tableaux à double ou triple entrée, proches de ceux que nous avons obtenus ici, des schémas en arbres organisant les différentes variables, des organigrammes récapitulatifs de résultats observés



vraisemblablement accentuées pour des séquences plus complexes

...bref, une variété beaucoup plus grande encore d'outils correspondant à des rôles encore plus diversifiés par rapport à la démarche. Cette diversité est à ramener non seulement aux différentes articulations possibles entre outils et démarche liées aux caractéristiques cognitives individuelles, mais aussi à la multiplicité des démarches possibles pour ces tâches complexes, qu'on peut avoir tendance à sous-estimer.

4.2. Pour juger de la qualité d'un outil

Aux remarques précédentes sur les fonctions différentes jouées par des outils apparemment semblables, il faut en ajouter quelques unes qui incitent à prendre davantage encore de précautions quant aux jugements de valeur que l'on pourrait porter sur ces instruments et leur fonctionnalité.

ne pas adopter une attitude normative

- Tout d'abord, les trois élèves dont nous avons analysé les productions, malgré des outils très différents ont tous trois correctement réalisé la tâche d'identification qui était demandée. Donc, la réussite de la tâche n'est pas directement liée à une forme plutôt qu'à une autre de façon mécanique et de la même façon pour tous.

- Ensuite, il faut rappeler que le caractère "pragmatique" ou "intellectuel" de l'outil ne correspond pas nécessairement à une caractéristique cognitive équivalente de l'élève qui l'a produit ; il convient donc de se garder de juger hâtivement ce dernier à partir de sa production.

- Enfin, il faut se souvenir que le tableau n'avait pas le même aspect lorsqu'il était vide que lorsqu'il est rempli ; un tableau illisible en fin de parcours peut très bien avoir été fonctionnel pour des étapes antérieures de la réalisation de la tâche.

4.3. Les outils graphiques jouent un rôle de "double articulateur"

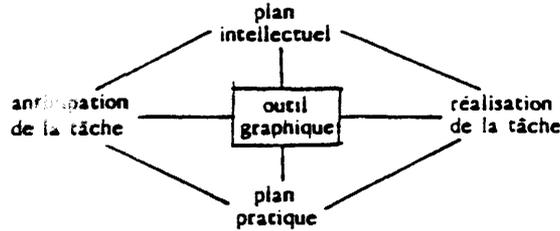
articuler aspects pratiques et intellectuels...

- Même dans les cas où l'anticipation manifestée dans la construction d'un tableau semble plutôt orientée vers les aspects pratiques de la tâche ou, au contraire, plutôt vers ses aspects intellectuels, l'outil sert à lier ces deux aspects, il permet de prendre des repères pour leur mise en correspondance et évite ainsi l'enfermement dans l'un d'entre eux seulement, ce qui serait, dans tous les cas, tout à fait néfaste à la réalisation raisonnée de la tâche.

...anticipation et réalisation

- Par ailleurs, et c'était le principe même du projet de ce travail, l'outil graphique permet d'articuler l'anticipation de la tâche (qu'elle soit pragmatique ou intellectuelle) et sa réalisation effective. Il permet de lier une vision globale a priori (le tableau vide) et la réalisation effective de chaque étape séquentielle (remplissage du tableau avec des données réelles) qui peut ainsi garder tout son sens par rapport à l'ensemble. A chaque étape, on se reporte effectivement à cette trame globale

qui a d'autant plus de présence qu'elle est simple et perceptible.



4.4. Anticipation et nature de la tâche

La tâche qui était proposée dans cette séquence était comme nous l'avons signalé fermée, simple sur le plan du raisonnement, et uniquement déductive. Tel n'était pas le cas des autres séquences, qui articulaient des phases inductives et déductives de façon complexe. Or, dans ces séquences, la consigne d'anticipation de la tâche a partiellement échoué : les élèves n'ont pas réussi à concevoir a priori tout l'ensemble de la tâche à accomplir. Ceci s'est manifesté par de nombreux tâtonnements sur les outils graphiques anticipatoires, qui étaient remaniés de nombreuses fois et souvent abandonnés au moment de la réalisation effective de la tâche, jetés à la poubelle et perdus pour l'observation... Ceci est à rattacher à la nature de la tâche : en effet, concevoir à l'avance l'ensemble des démarches à accomplir se situe dans une perspective hypothético-déductive où la formulation de l'hypothèse précède la mise en relation avec le réel ; la démarche inductive, qui consiste au contraire à remonter des faits d'observation aux hypothèses (plus générales) qui peuvent les expliquer¹⁸ ne permet pas de prévoir l'ensemble de la démarche avant de faire et d'observer ; elle accorde une part plus grande aux informations données par le réel dans l'élaboration des hypothèses et de la connaissance. Il était donc tout à fait compréhensible que pour des tâches mettant en jeu des aspects inductifs les élèves (émettant de nouvelles hypothèses en cours d'expérience et remodelant au fur et à mesure leur conception générale sur la

une perspective hypothético-déductive...

(18) On peut à ce sujet se reporter à G. GOHAU. "Pour un poppérisme relatif" *Bulletin APBG*, n° 1. 1984 ; "Plaidoyer pour un inductivisme modéré". *Bulletin APBG*, n° 4. 1985 ; "Faut-il raisonner logiquement ?" *Cahiers Pédagogiques*, n° 214 (mai 1983), et aussi, à propos du rôle du hasard dans la découverte scientifique à G. RUMELHARD. "Formation, modification et dissolution du concept d'hormone dans l'enseignement". *Aster*, n5. 1987.

question traitée) n'aient pas pu produire d'emblée des instruments anticipatoires globaux et exhaustifs.

Il est possible que, ce travail ayant porté sur l'analyse d'une tâche déductive, nous paraissions avoir accordé une importance exagérée aux aspects logiques de l'activité intellectuelle aux dépens de ceux qui se rapportent à la mise en relation de la pensée avec le réel. Mais, telle n'était pas notre intention et il convient de situer ce que nous avons analysé ici par rapport à des séquences faisant intervenir davantage l'induction. En effet, si dans cette séquence, une hiérarchie entre prévision et mise en relation avec le réel apparaît, privilégiant ainsi les aspects logiques de la tâche, cette hiérarchie est souvent à inverser dans les activités expérimentales, au moins au cours de certaines phases.

... à moduler en fonction de la nature de la tâche

4.5. Une économie du tâtonnement ?

En effet, pour des tâches moins fermées et moins purement deductives, de la réalisation de la tâche provient un déplacement des hypothèses et une nouvelle vision anticipatoire d'opérations à réaliser : ainsi, pour les élèves impliqués dans les séquences sur le rôle de la salive et sur l'alimentation des escargots, des visions anticipatoires nouvelles plus ou moins partielles, plus ou moins globales, se sont manifestées par la production d'outils graphiques nouveaux en cours d'activité. Si la consigne de production d'un outil anticipatoire unique a priori avait été plus rigide, les élèves auraient été bloqués dans leur activité. Tout tâtonnement sur les objets leur aurait été fermé dès le départ, ce qui aurait empêché l'émergence d'hypothèses nouvelles par confrontation avec le réel. En fait, selon les activités, le tâtonnement, jamais entièrement absent, s'est situé plutôt au moment de l'élaboration des outils anticipatoires, plusieurs versions étant produites avant toute confrontation avec le réel, ou bien plutôt en cours d'activité manipulative ; ce qui correspond à un effort de structuration de la démarche d'abord au niveau logique dans le premier cas, et plutôt à un aller et retour entre démarche hypothético-déductive et empirique dans le second. Le tâtonnement sur l'outil a priori ne peut pas remplacer le tâtonnement sur les objets, comme on pourrait être tenté de le souhaiter dans une perspective d'économie du temps passé à une activité donnée, puisqu'ils remplissent en fait des fonctions différentes et n'interviennent pas de la même manière selon la nature de la tâche.

éviter l'enfermement, laisser une place suffisante à la confrontation avec le réel

4.6. Anticipation, métacognition et outils graphiques

Le dernier point que je voudrais soulever à la suite de ce travail est celui des relations entretenues entre cet ensemble de problèmes et la métacognition, c'est-à-dire la pensée sur la

pensée et sur les démarches intellectuelles : la façon dont elle régule l'activité, la façon dont elle s'élabore.

prise de distance
a priori ou a poste-
riori

En effet, l'anticipation d'une tâche intellectuelle constitue une prise de distance a priori, qui suppose des idées préalables sur les différentes manières possibles de procéder : elle est en relation avec une réflexion plus générale sur les procédures qui suppose une certaine expérience préalable de situations partiellement analogues : elle utilise des connaissances métacognitives élaborées antérieurement, mais qui s'actualisent et se structurent de façon plus systématique et plus globale par l'élaboration des outils graphiques. La fonction synoptique des outils graphiques à des fins métacognitives, utilisée ici pour une phase anticipatoire de l'activité, peut aussi l'être en cours d'activité, comme élément régulateur, ou bien encore a posteriori, pour donner une vision globale d'une démarche effectuée et contribuer ainsi à construire une connaissance sur les procédures expérimentales.

Brigitte PETERFALVI
Equipe de didactique des sciences expérimentales, Institut National de Recherche Pédagogique

Séquence de classe sur les ions :
Martine FLECHER
Professeur au collège Pablo Neruda, Gagny