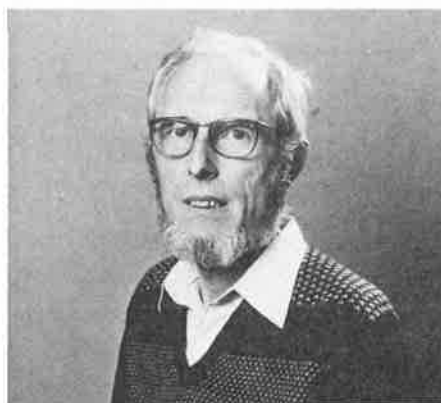


Les idées de Piaget et l'enseignement universitaire de la chimie

Nos collègues américains fascinés par l'œuvre
du maître de Genève...

par Maurice Padeloup

(Laboratoire de chimie de coordination du CNRS, Université Paul Sabatier, 205 route de Narbonne, 31400 Toulouse)



Maurice Padeloup

Spécialiste mondialement reconnu du développement de la pensée chez l'enfant qu'il étudie depuis 60 ans (1), Jean Piaget est le théoricien leader en psychologie infantile auquel se réfèrent la plupart des chercheurs en sciences de l'éducation (19).

Dans ce domaine de l'analyse du développement intellectuel qu'il a lui-même fondé, il totalise 7 572 citations entre 1969 et 1977 (« Science Citation Index »), soit le double des autres vedettes actuelles des sciences humaines, ce qui en fait l'équivalent contemporain de Freud (12 319 citations durant la même période).

Qu'on lance un nouveau périodique international sur l'éducation scientifique et le premier article de son premier numéro s'intitule : « Piaget's cognitive psychology and its consequences for the teaching of science » ! (2).

Visant à constituer une épistémologie « génétique », c'est-à-dire reliant la signification et la validité des connaissances à leur mode de construction (en remontant jusqu'à leurs sources biologiques) (3), l'œuvre de Piaget continue de s'élaborer au centre pluridisciplinaire qu'il anime à Genève.

Piaget distingue, dans le développement intellectuel de l'individu, quatre stades qui correspondent à de véritables réorganisations des structures mentales, et non pas à des ajouts successifs. Le dernier de ces stades,

celui des « opérations formelles », s'établirait entre 11 et 16 ans et caractériserait la pensée adulte. On estime donc habituellement que les théories de Piaget concernent essentiellement les enseignements du premier et du second degré mais, qu'au niveau universitaire, elles n'appellent pas d'attention particulière puisque les étudiants ont en principe terminé leur développement intellectuel (14) et devraient être capables de formaliser sans difficulté, aptitude qui fonde justement le type d'enseignement que nous leur dispensons.



Cependant, plusieurs études effectuées en Amérique durant la dernière décennie (14, 15), ont montré qu'environ 50 % des étudiants débutant ne sont pas aptes au raisonnement abstrait, à la démarche « Hypothético-déductive » caractéristique de la pensée adulte. Ils raisonnent encore au niveau dit « des opérations concrètes » qui définit le stade précédent, troisième stade du développement cognitif selon Piaget, où le sujet a besoin de l'expérience concrète et effective mettant en jeu les objets réels dans le présent immédiat pour structurer sa pensée.



Dès lors, certains de nos collègues américains ont réfléchi aux difficultés qu'ils rencontrent dans leur pratique de l'enseignement de la chimie dont ils s'accordent à penser que le contenu est manifestement de nature « formelle ». Les concepts qui y sont spécifiquement impliqués n'ont pas été analysés par Piaget qui, malgré sa formation initiale de biologiste, s'est plutôt intéressé à l'enseignement des mathématiques (4).

C'est surtout à la suite de l'article de J. D. Herron, publié en 1975, « Piaget for chemists » (5) que des suggestions, études et analyses diverses se sont multipliées, particulièrement durant ces deux dernières années (9-16). L'auteur y mettait en relation les difficultés, qu'il avait par exemple rencontrées dans un enseignement de chimie à des étudiants de sciences économiques, avec les mécanismes mentaux qui différencient les troisième et quatrième stades.





Cet intérêt grandissant a suscité, dans le numéro de mars 1978 du *Journal of Chemical Education*, qui ne comportait pas moins de trois articles sur ce sujet (10-12), un éditorial

Exemple



Here is a clay ball.  Here is a jar of water. 




We put the ball in the water.  → 



What happens?





(A) B C D

Here is a light ball.  Here is a small, heavy ball. 

 →  

 → 

What happens with the small, heavy ball?

A B C D

Test élémentaire tiré de PIPDT (14).

en forme de mise en garde de l'« Editor » W. T. Lippincott qui, tout en reconnaissant la portée des théories de Piaget, demandait qu'on n'en tire pas prétexte pour dissimuler la complexité des concepts qui donnent à la chimie sa valeur de discipline à part entière (9).

Cependant, plusieurs autres articles ont été publiés par cette même revue en 1979,

particulièrement en juillet dernier un « resource paper » de 131 références, qui fait le point des opinions, résultats et conclusions qui découlent de ces nombreuses études (15).

Je tenterai, pour ma part, de résumer les données essentielles qui s'en dégagent en classant les problèmes abordés en trois catégories, par ordre de difficulté croissante :

1. Comment distinguer les connaissances et

concepts, que j'appellerai « formels », qui ne sont accessibles qu'au stade des opérations formelles, de ceux qui sont du domaine des opérations concrètes (dénommés ici « concrets ») ?

2. Comment distinguer les individus qui raisonnent couramment au niveau de la pensée formelle de ceux qui sont encore au stade des opérations concrètes ou qui y reviennent fréquemment ?

3. Doit-on et peut-on accélérer chez les étudiants concernés le passage du troisième au quatrième stade ?

I. Distinction entre connaissances et concepts « concrets » et « formels »

Pour la mieux saisir, je tirerai quatre exemples du contenu habituel de la chimie en début du premier cycle inspirés du tableau très significatif dressé par Herron dans son premier article (5) à partir de 16 sujets qui nous sont familiers (tableau 1).

Herron note que, d'une façon générale, les concepts qui impliquent un rapport (densité, molarité, système des masses atomiques) se forment plus difficilement, mais que l'étudiant compense en mémorisant un algorithme qui lui permet d'effectuer les calculs numériques, ce qui amène l'enseignant à se faire certaines illusions sur l'efficacité de son enseignement.

Je remarque pour ma part, à propos de l'exemple 4, qu'en 1^{er} cycle les cours et les livres traitent l'atomistique et la liaison chimique (niveau microscopique) et la thermodynamique chimique (niveau macroscopique) de façon complètement indépendante sans s'aventurer en ménageant une transition qui esquisserait le raisonnement qui permet de passer de l'un à l'autre. Une telle impasse, plus ou moins inconsciente, atteste probablement du caractère formel très accentué de cette opération.

Dans son second article (10), Herron distingue trois classes de concepts en fonction du facteur « perceptibilité » :

- ceux auxquels on peut associer des exemples perceptibles, ainsi que des attributs perceptibles, comme la notion de changement d'état solide-liquide-gaz ;
- ceux qui comportent des exemples, mais pas d'attributs perceptibles (distinction entre corps simple et corps composé) ;
- ceux qui ne comportent ni exemples, ni attributs perceptibles (concepts d'atome ou de molécule).

Les premiers sont facilement perçus au stade « concret » qui utilise le processus logique de sériation et de correspondance. Les deux autres classes de concepts ressortent de la pensée formelle et ils ne peuvent pas être tirés de l'expérience concrète directe : on ne peut pas « regarder » à l'intérieur d'un atome comme on peut le faire pour une cellule en biologie. Et, contrairement aux mathématiques, ces trois classes de concepts interfèrent en chimie, ce qui complique la tâche de

l'enseignant qui veut construire son programme en tenant compte des théories de Piaget. C'est cependant à ce niveau que nous disposons de la plus grande latitude et du minimum d'incertitudes.

En France, cartésiens incorrigibles, nous pensons devoir commencer par enseigner ce que nous appelons les « bases », c'est-à-dire les notions les plus formelles et abstraites, pour en tirer ensuite les justifications des divers phénomènes observés.

Bien que philosophiquement défendable, cette démarche s'effectue à contresens de la genèse intellectuelle de l'individu, et même de la connaissance scientifique collective qui s'élabore à la suite de tâtonnements expérimentaux et théoriques par de brusques structurations (relativité, mécanique quantique, régulation allostérique).

C'est donc une hiérarchie contre nature qui amène aussi à privilégier prématurément l'enseignement magistral et tend à faire évoluer l'étudiant en dehors de son schéma naturel (6).

Cependant, comme nous le verrons plus loin, il ne suffit pas de rétablir une progression plus naturelle pour résoudre tous les problèmes pédagogiques.

II. Distinction entre individus « concrets » et « formels »

C'est apparemment sur ce point que Herron a reçu le plus de questions à la suite de son premier article et auxquelles il a tenté de répondre en 1978 (10). Confronté au pragmatisme américain, il souligne que le test « papier-crayon » classique est inadéquat et que Piaget et Inhelder ont utilisé pour cela uniquement l'entretien individuel et l'observation directe.



Jean Piaget

(Photo Unesco)

Tableau 1

Connaissances accessibles au stade « concret »	Connaissances qui ne sont assimilables qu'au stade « formel »
1. Celles qui sont issues de mesures par lecture directe (balance trébuchet, pH mètre).	1. Celles qui concernent les grandeurs dérivées : densité, enthalpie de réaction, « activité » et théorie du pH.
2. Équilibrer une réaction par tâtonnements, calculer une masse moléculaire, concentration, etc..., à l'aide des formules données ou mémorisées.	2. Dédire une méthode pour équilibrer une réaction d'oxydoréduction de la notion de transfert électronique ; calculer une concentration après des dilutions successives non prévues.
3. Notion d'acidité liée à la teinte d'un réactif ou à la zone du cadran vers laquelle dévie l'aiguille du pH mètre.	3. Acide en solution dans l'eau libre H^+ (Arrhénius), concept d'acide comme donneur de H^+ (Bronsted-Lowry), et enfin comme accepteur de doublet électronique (Lewis) qui nécessite déjà un bon niveau de raisonnement formel.
4. A partir d'un modèle mécanique du gaz parfait, prévoir l'effet d'une augmentation de la température sur la pression et l'énergie cinétique moyenne.	4. Interpréter les phénomènes macroscopiques à partir des grandeurs microscopiques ; interprétation statistique de l'entropie, grandeurs intensives et extensives.

S'interrogeant sur la nécessité d'une telle identification, il pense que, si elle est justifiée, l'enseignant éclairé peut mieux y parvenir au travers d'une discussion informelle en T.P. ou T.D., et qu'elle devrait se limiter à détecter les difficultés momentanées de certains étudiants confrontés à un processus précis du raisonnement formel : proportionnalité, ou nécessité logique d'envisager toutes les hypothèses possibles ou du « toutes choses égales par ailleurs ».

La tentation d'élaborer et d'utiliser des méthodes « standardisables », pour suivre le niveau cognitif de groupes d'étudiants, l'a cependant emporté. Deux séries de tests ont été publiées en 1979 dont l'une, « An inventory of Piaget's developmental tasks » (IPDT) a été « validée » (14) par rapport aux résultats issus d'entretiens cliniques décrits par Piaget. Elle est présentée comme commode, pratique et sûre pour une large gamme de groupes d'âge et peu sensible aux facteurs situationnels. Elle comprend 72 tests du type à choix multiple, sans temps limité, qui ont été administrés à 520 sujets scientifiques ou non allant d'étudiants débutants à des adultes d'âge varié.

Les auteurs précisent que l'IPDT ne sera utilisé que lorsque l'entretien individuel n'est pas possible et qu'on recherche un outil de mesure rapide et global dont les résultats devront être interprétés uniquement en fonction des théories de Piaget.

En ce qui concerne les étudiants de chimie (89 scientifiques et 21 non scientifiques), les performances des scientifiques sont légèrement meilleures mais la différence n'est pas significative. Cette observation surprenante est en accord avec d'autres études, de même que la faible corrélation ($r = 0,28$) trouvée entre le succès aux examens et les résultats obtenus à l'IPDT. Les auteurs estiment que des recherches plus précises devraient résoudre ces paradoxes.

La seconde série, publiée tout récemment (16), comporte 20 tests « papier-crayon » à choix multiple se rapportant à 6 opérations logiques : proportionnalité, combinatoire, probabilité, raisonnement conditionné, contrôle des variables et applications d'une règle universelle (conservation de la matière). Elle a porté sur 435 scientifiques, 426 non scientifiques et 27 étudiants de troisième année de chimie physique, mais elle n'a pas été « validée ».

Les observations précédentes s'y trouvent

confirmées et précisées. Les auteurs pensent qu'il n'est pas utile de distinguer à tout prix les étudiants « formels » des « concrets » et qu'il vaut mieux estimer séparément leur aptitude aux opérations logiques spécifiques de la chimie. Par exemple, ils ont été frappés par les faibles scores obtenus aux tests de proportionnalité, laquelle intervient fréquemment dans les raisonnements en chimie (stoechiométrie). Ils ont remarqué en outre que cette aptitude ne s'améliorait pas sensiblement en cours d'étude : sur des problèmes simples, les débutants sont même plus performants que les étudiants de troisième année ! Il me semble que cette anomalie est à rapprocher des résultats de tests de raisonnement conditionné (16) où les étudiants avancés sont moins aptes que les débutants pour concevoir une hypothèse qui contredit les connaissances acquises mais qui s'avère nécessaire pour interpréter des données nouvelles. Il y a là un phénomène de rigidité cognitive qui rappelle manifestement l'« obstacle épistémologique » de Bachelard (23).

Vis-à-vis de la conservation de la masse (début des opérations formelles), les résultats sont également médiocres. Lorsqu'on demande quelle est la masse d'une solution formée à partir d'une masse a de solvant et b de soluté, il y a échec pour 26 % des débu-

tants et 32 % des étudiants de troisième année. J'ai moi-même constaté la confusion qui existe, même en fin de maîtrise, entre corps fondu et corps dissous, chez les étudiants qui s'affolent lorsqu'il leur faut récupérer un produit de synthèse en évaporant le solvant sous vide : ils sont persuadés que tout va partir !

Quant au contrôle des variables en cours d'expérience, il est aussi déficient. Pour l'illustrer on peut envisager l'épreuve suivante rapportée par Herron (5) : on demande dans quel flacon se produit la couleur jaune à partir de solutions incolores numérotées de 1 à 4 (H_2SO_4 diluée, H_2O_2 diluée, H_2O pure, thiosulfate de Na) en ajoutant une solution de KF d'une burette marquée g . La plupart des élèves procèdent dans le désordre, par essais et erreurs, rares sont ceux qui notent à mesure le numéro des flacons, en éliminant les essais négatifs.

Les auteurs de cette seconde série de tests pensent que de telles maladrotes révèlent une incapacité à dépasser la perception immédiate des éléments d'un problème et une inaptitude à l'analyse formelle structurée suivant le mode hypothético-déductif caractéristique du quatrième stade.

III. Problème du passage du troisième au quatrième stade : est-il souhaitable de l'accélérer et comment peut-on y parvenir ?

Au niveau de l'intention, du projet éducatif, il y a consensus pour répondre par l'affirmative à la première partie de la question. Tout au plus peut-on signaler l'« opinionite » négative émise dans cette même revue (18) à propos de la formalisation et de l'influence « piagétienne ».

Bien que discipline essentiellement expérimentale, la chimie se structure grâce à un ensemble complexe de concepts formels qui sont, de plus, trop divers pour être efficacement remplacés dans la pratique par deux ou trois algorithmes passe-partout. L'accroissement rapide du domaine et du niveau des connaissances requises fait que l'aptitude à la formalisation est de plus en plus nécessaire. Cette opinion transparaît même dans l'appréciation réservée de Lippincott précédemment signalée (9).

La faible corrélation entre l'aptitude au raisonnement formel et le succès aux examens n'est pas non plus invoquée pour dissuader les enseignants de poursuivre cet objectif : elle est considérée comme un simple problème de docimologie, donc d'adaptation du mode d'évaluation des connaissances (16).

Dès lors, se pose la question épineuse du « comment ? ». Beistel semble bien formuler le problème en préconisant le maintien d'un « décalage optimal » afin qu'il existe pour chaque système de notions ou d'opérations une vitesse optimale à trouver : avancer trop vite est sans doute nuisible à la solidité des

constructions et aux pouvoirs d'assimilation, mais marcher trop lentement est tout aussi dangereux à d'autres ou aux mêmes points de vue » (3).

C'est au niveau de la réalisation que les résultats sont peu satisfaisants et même, à la limite, embarrassants. Notons, en premier lieu, les méthodes dites de « training », c'est-à-dire celles qui visent à améliorer les performances dans les processus de raisonnement spécifiques du stade des opérations formelles (sériation, conservation, implication, etc...) indépendamment des connaissances propres à une discipline donnée (15). Elles ne doivent pas être confondues avec les techniques de « renforcement », du type « plan Keller » (17), qui procèdent des théories « behavioristes » fort controversées et étrangères à l'épistémologie génétique de Piaget, en dépit d'une tentative de rapprochement (7) qui n'est pas vraiment convaincante.

Le « training » améliore effectivement le niveau des réponses aux problèmes « piagétiens », mais il n'y a pas en général rétention des aptitudes acquises ni transfert à un corps de connaissances scientifiques (15).

Dans son premier article (5), Herron suggérerait que les concepts de la chimie soient dégagés de l'étude d'exemples concrets à partir desquels s'opérerait une modélisation des notions abstraites. Il pensait que les sujets « concrets » pourraient ainsi structurer chaque système de concepts à partir de substituts préformels. Lippincott estime

pour sa part qu'une telle approche n'est pas rentable à cause de la multiplicité des concepts nécessaires à la chimie (9).

Dans son second article (10), Herron dénonce le travers, particulièrement marqué en chimie physique, qui consiste à développer d'emblée des notions et formules abstraites, sans expériences ni illustrations concrètes à l'appui. Il invoque le fait que Piaget lui-même a constaté que les individus « formels » reviennent aux opérations concrètes et même au raisonnement préopérateur toutes les fois qu'ils abordent un domaine nouveau, et que, de plus, il y a demande fréquente et pressante de référence concrète dans la question : pouvez-vous nous donner un exemple ? Et lui-même de donner un exemple qui, banal dans son contenu, montre bien comment on peut mettre le sujet (l'étudiant) en interaction avec l'objet (la connaissance à acquérir) sans faire réaliser effectivement l'expérience. Or, selon Piaget, cette interaction est justement le facteur essentiel du développement intellectuel de tout individu (13). Dans le problème simple qui consiste à calculer la constante de disso-

ciation $k = \frac{x^2}{0,1 - x}$ d'une solution d'acide

acétique 0,1 M (x étant la fraction dissociée), Herron partage les étudiants en deux groupes ; l'un fait le calcul rigoureux complet, l'autre utilise l'approximation habituelle qui néglige x par rapport à la concentration initiale, et on confronte les résultats. De cette façon, l'approximation se trouve légitimée aux yeux des étudiants « concrets », qui sont

souvent plus « légalistes » que les « formels ».

Mais Herron reconnaît que l'appel au concret ne résoud pas tout, et qu'il peut être sans valeur dans le raisonnement formel pur, qui implique la capacité d'effectuer des opérations sur d'autres opérations. Il relève qu'on a souvent recours alors à des analogies et il souligne qu'elles doivent être utilisées avec le plus grand discernement. A propos d'un film d'animation qui illustre les notions de spectroscopie moléculaire en montrant les interactions entre modèles mécaniques, il constate que son impact est meilleur sur les étudiants « formels » qui voient de suite la forme de logique qui est impliquée, que sur les autres qui ne savent pas l'extraire et l'appliquer au-delà de l'expérience sensible.

J'ai moi-même constaté ce type d'échec en utilisant l'analogie (que je trouve pour ma part géniale !) que fait Kauzmann entre les modes normaux de vibration qui s'instaurent à l'intérieur d'un gaz contenu dans une cavité sphérique et les orbitales d'un système

hydrogénoïde, analogie qui est illustrée par des figures simples et suggestives (20). La plupart des étudiants de licence sont visiblement gênés par une telle promiscuité imposée à l'entité quantique ψ ! Il en est de même pour les belles images photographiques représentant ces orbitales et obtenues par White à partir d'un modèle mécanique (21). Elles ont été reproduites dans les premiers livres de base (22) mais n'ont pas été reprises par les ouvrages récents.

C'est dans l'article qui suit immédiatement celui de Herron qu'est rapporté le résultat le plus spectaculaire et le plus tangible dans cet ordre d'idées (11). Il est tiré d'une série d'expériences conduites méthodiquement sur des étudiants d'un cours d'initiation à la chimie dans une « high school » du Connecticut. Le thème retenu était l'acquisition de la notion de stœchiométrie qui, pour deux sections (groupe témoin), était enseignée selon le mode magistral, et pour deux autres sections (groupe expérimental) à l'aide d'exemples concrets et de modèles atomiques et moléculaires. En analysant les réponses aux deux questions suivantes, nouvelles

pour les deux groupes :

1. Qu'est-ce qui contient le plus d'atomes : 30 g d'oxygène ou 30 g de chlore ? (justifiez votre réponse);

2. 35 g de chlore réagissent avec 35 g de sodium. Y a-t-il tout juste assez de chaque réactif ou bien y a-t-il excès de sodium ou excès de chlore ? (justifiez);

les auteurs ont constaté que l'utilisation des modèles concrets profitait beaucoup plus aux étudiants qui avaient déjà un bon niveau de raisonnement formel qu'à ceux qui raisonnaient au stade des opérations concrètes, de sorte que le fossé entre « concrets » et « formels » s'en trouvait nettement élargi.

Si on ajoute à ce dilemme l'argument suivant lequel le retard des « concrets » pourrait être en partie d'origine génétique, argument basé sur le fait que les garçons sont un peu plus nombreux que les filles à atteindre le quatrième stade (5), on réalise combien il peut être dangereux d'avancer des conclusions trop hâtives dans ce domaine. On risquerait, pour le moins, d'alimenter la controverse stérile qui oppose actuellement les « innéistes » aux « environnementalistes ».

Conclusion

La théorie et les expériences de Piaget ne résolvent pas directement tous les problèmes pédagogiques. Mais elles offrent des données fondamentales remarquablement structurées qui nous permettent de mieux saisir les processus essentiels du développement intellectuel de l'être humain et, donc, d'éviter les erreurs majeures dont certaines peuvent provoquer de véritables régressions dans le fonctionnement de la pensée (15). Il serait biologiquement absurde de demander à des individus de procréer alors qu'ils ne sont pas encore nubiles ! Nous pouvons, à l'aide des analyses de Piaget, nous garder de telles absurdités dans l'élaboration de nos programmes et la conception de nos méthodes d'enseignement.

Il y a justement un point qui n'est pas abordé dans la longue série d'articles du *Journal of Chemical Education* : quel rôle spécifique l'enseignant peut-il jouer ? Bien que Piaget soit résolument partisan d'une pédagogie « active », l'enseignant n'est pas chassé du scénario, il doit être aussi actif que l'étudiant (2), son rôle sera celui d'un mentor qui

stimule l'initiative et la recherche (15). La belle formule qui cristallise la pensée de Piaget est : « comprendre, c'est inventer ! ». De ce point de vue, elle est donc beaucoup moins négative que celle de l'Américain Rogers, apôtre de la non-directivité : « Learning is beautiful, teaching is ridiculous ». Simplement, l'enseignant doit se garder d'imposer son schéma d'assimilation tant que celui-ci est trop différent de celui de l'étudiant. L'équilibre entre les schémas est essentiel pour préserver l'efficacité du dialogue, donc de l'action, entre les deux partenaires (2).

Enfin, Piaget pense que les rapports de la psychologie et de la pédagogie sont comparables à ceux qui unissent la physiologie ou la biologie générale à la médecine. C'est à la pédagogie expérimentale de déterminer par des comparaisons très méthodiques et très systématiques entre diverses méthodes et diverses populations (3) quel est le meilleur projet éducatif. Durant ces dernières années, nos collègues américains ont entrepris une telle expérimentation dans l'enseignement de

la chimie. Il nous faut reconnaître que, pour une fois, nous serions mieux placés qu'eux, car l'œuvre fondamentale de Piaget, dont certaines parties sont jugées d'interprétation délicate, est entièrement conçue et publiée dans notre langue. C'est d'ailleurs à une batterie de tests du Français F. Longeot, publiée en 1962 et 1964 dans le *Bulletin de l'Institut National d'Étude du Travail et d'Orientation professionnelle*, que se réfèrent Herron (10) et les auteurs de l'IPDT (14).

Mettant en application la méthode qui consiste à partir de l'expérience concrète (celle des lecteurs enseignant la chimie...) pour aborder ensuite les opérations formelles, c'est dans un prochain article que mon collègue J. Dousset fera une mise au point sur les grands principes qui se dégagent des analyses et des ouvrages de Jean Piaget.

Je remercie par ailleurs le Professeur Maurice Gomel qui a suggéré la rédaction de cet article et m'y a très vivement encouragé.

Bibliographie

La presque totalité des articles analysés étant tirés du *Journal of Chemical Education*, cette revue sera désignée par le sigle *J.C.E.*, mais le titre de chaque article sera entièrement énoncé.

(1) H. Gardner (Harvard Univ.), *New York Times*, 1979 (3 janvier), p. C 1-9.

(2) F. Kubli, *European J. Sci. Educat.*, 1979, 1, 21.

(3) J. Piaget, allocution prononcée lors de la remise du Prix de l'Éducation (Fondation MGEN), *Bull. MGEN*, 1973, n° 19, p. 12.

(4) *Le Monde de l'éducation*, octobre 1979 : L'enseignement des mathématiques, p. 15 et 20.

(5) J. D. Herron, *J.C.E.*, 1975, 52, 146 : Piaget for chemists.

(6) D. N. Beistel, *J.C.E.*, 1975, 52, 151 : A Piagetian approach to general chemistry.

(7) D. W. Brooks, H. F. Holtzclaw, J. D. Lewis, *J.C.E.*, 1975, 52, 581 : Perspectives on curricula.

(8) M. Albanese, D. W. Brooks, V. W. Day, R. A. Koehler, J. D. Lewis, R. S. Marianelli,

E. P. Rack et C. Tomlinson-Keasey, *J.C.E.*, 1976, 53, 571 : Piagetian criteria as predictors of success in first year courses.

(9) W. T. Lippincott, *J.C.E.*, 1978, 55, 139 : Piaget : How best to use his findings ?

(10) J. D. Herron, *J.C.E.*, 1978, 55, 165 : Piaget in the classroom : guide lines for applications.

(11) M. P. Goldstein et A. C. Howe, *J.C.E.*, 1978, 55, 171 : Application of piagetian theory to introductory chemistry instruction.

- (12) D. W. Brooks, J. J. Scholz et T. J. Tipton, *J.C.E.*, 1978, **55**, 173 : Concrete illustrations of formal concepts.
- (13) R. Good, E. K. Mellon et R. A. Kromhout, *J.C.E.*, 1978, **55**, 688 : The work of Jean Piaget.
- (14) L. Milakofsky et H. O. Patterson, *J.C.E.*, 1979, **56**, 87 : Chemical education and Piaget.
- (15) R. Good, R. A. Kromhout et E. K. Mellon, *J.C.E.*, 1979, **56**, 426 : Piaget's work and chemical education.
- (16) H. Williams, C. W. Turner, L. Debreuil, J. Fast et J. Berestiansky, *J.C.E.*, 1979, **56**, 599 : Formal Operational reasoning by chemistry students.
- (17) P. Laszlo, *L'actualité chimique*, 1974, 2 (février), 21.
- (18) L. Morin, *L'actualité chimique*, 1974, 7 (octobre), 3.
- (19) A. Kornhauser, *L'actualité chimique*, 1978, 7 (octobre), 36.
- (20) W. Kauzmann, *Quantum Chemistry*, Academic press, New York, 1957, p. 107 et B. V. I. Blokhintsev, *Mécanique quantique*, Masson, 1967, p. 197.
- (21) H. E. White, *Physical Rev.*, 1931, 37, 1416.
- (22) G. Herzberg, *Atomic Spectra and Atomic Structure*, Dover, New York, 1944, p. 44 et W. J. Moore, *Chimie Physique*, Dunod, Paris, 1965, p. 594.
- (23) G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, J. Vrin, Paris, 1975.



**SÉPARATIONS •
PURIFICATIONS
SÉLECTIVES**
des produits organiques fins par
**CHROMATOGRAPHIE GAZEUSE
PRÉPARATIVE INDUSTRIELLE**

Traitements à façon
Etudes d'optimisation

ELF-SRTI

Direction commerciale :
Tour Aquitaine
Cedex 4
92080 PARIS LA DEFENSE
Téléphone : 778.14.15
Télex : ELFAN 203607 F

Département technique :
C.R.E.S.
BP 22
69360 SOLAIZE
(St Symphorien d'Ozon)
Téléphone : (78) 89.81.68
Télex : 300591

Édition française des règles de nomenclature pour la chimie inorganique

Un numéro spécial de 64 pages du « Bulletin », édité par la Société Chimique de France, présentant les règles formulées, en 1970, par la Commission de nomenclature en chimie inorganique de l'I.U.P.A.C.

Prix : 50 F.

Une commande, pour être agréée, devra être accompagnée du règlement correspondant, sous forme de chèque bancaire ou de chèque postal (280-28 Paris), à l'ordre de la Société Chimique de France.

Il ne sera pas délivré de facture.