

L'enseignement des sciences exactes

Méthode naturelle de calcul

Mon article (Educateur Culturel 10/20 février) permet de se poser plusieurs questions auxquelles je me propose de répondre afin d'apporter une méthode naturelle pour enseigner le calcul et les autres sciences exactes.

Coupures - Langage mathématique Scolastique et formes axiomatiques des connaissances scientifiques

En fait, les coupures, les hiatus dont je parlais dans mon précédent article, sont dus pour une bonne part à un enseignement scolastique de l'arithmétique, de l'algèbre et de la géométrie, sciences qui permettent d'accéder rapidement au langage mathématique. Dans ce dernier domaine, plus encore que dans celui de la langue maternelle avant l'invention de la technique du texte libre, dès le cours préparatoire, on s'emploie à enseigner « à marcher sur les mains », à « initier aux lois de l'équilibre avant de confier à l'élève une bicyclette pour qu'il apprenne à s'en servir ». Cette évocation des critiques imagées de Freinet me vient naturellement à l'esprit, quand je veux rendre compte de la profondeur de l'empreinte scolastique dans les techniques courantes de l'enseignement des sciences exactes où le calcul joue un rôle prépondérant.

La malfaisance de ces techniques risque encore, au moins au second degré, d'être aggravée par la « scolarisation » de la forme la plus récente du langage mathématique des spécialistes : la forme axiomatique.

Je reviendrai sur cette importante question. Cependant, avant d'aller plus avant dans l'analyse des coupures, en vue de définir une technique susceptible de les colmater, si elles sont déjà formées, ou d'en empêcher la formation, si elles n'existent pas encore, je trouve utile de faire une remarque.

La première axiomatique des sciences exactes a été construite en Grèce par Euclide (—323 ; —283). Elle concerne le déplacement des corps indéformables et ne marque nullement le début de l'étude de ces déplacements, mais la constitution en science rationnelle, des connaissances déjà acquises, sur cette question, par la voie expérimentale. On sait que la géométrie grecque commença par poser des définitions, des postulats et des axiomes ; puis, par déduction, il tira de ces trois groupes de vérités toutes les propriétés des figures géométriques. Or, ces dernières étant constituées par les trajectoires de points, de droites et de plans indéformables qui, eux, sont tirés des solides, il s'en suit donc qu'en définitive, la géométrie d'Euclide est une connaissance dite axiomatique, des déplacements des corps solides.

Il est facile de se convaincre que, mal enseignée, l'axiomatique des déplacements des corps solides tend à produire une coupure entre la réalité sensible et sa théorie axiomatique.

Si l'on pose la question : « Quels sont les faits ou événements naturels auxquels se rapporte la géométrie ? », la plupart des personnes interrogées se

trouvent embarrassées même et surtout si elles ont leur baccalauréat de mathématiques. A certaines même, la question paraît procéder d'une incompetence absolue. La géométrie, pour à peu près toutes, commence non dans l'observation des déplacements des corps, mais par des axiomes et des principes, se continue par des définitions, puis par l'énoncé des propositions suivies de démonstrations ; c'est-à-dire par une série de phénomènes verbaux ayant pris leur source dans l'esprit des mathématiciens. Quant à cet esprit, tous les élèves, ou peu s'en faut, ne rêvent guère d'en avoir un semblable, car ils le jugent souvent tatillon, bizarre et même biscornu.

Il y a donc bien là une coupure. Pourtant, elle n'est pas complète, car elle n'empêche pas l'utilisation des propriétés géométriques. Mais elle introduit une solution de continuité entre la réalité sensible et les connaissances géométriques. En cela, elle a des conséquences graves pour la compréhension de la méthode scientifique qui a pour objet de décrire comment on passe du domaine du concret à la connaissance.

L'erreur de la pédagogie scolastique a été de négliger l'origine expérimentale de concepts géométriques et de croire au pouvoir quasi-magique de ces définitions et de ces axiomes et d'en faire des points de départ de la connaissance des déplacements des corps indéformables, alors qu'ils marquent le terme d'une longue expérimentation portant sur ces déplacements.

C'est une telle pédagogie, à peine amendée par un timide appel au concret, qui règne à peu près en maîtresse dans l'enseignement de toutes les disciplines. Elle est devenue une composante subconsciente de la mentalité des éducateurs. Il est nécessaire de s'en débarrasser complètement pour pouvoir édifier une méthode naturelle d'enseignement des sciences dont fait partie le calcul. Les techniques Freinet nous y aideront beaucoup, car elles ont déblayé le terrain pour ce qui concerne la langue maternelle. Au surplus, le « calcul vivant » nous engage sur la voie à suivre, mais il ne marque qu'une première étape, importante certes, mais qui doit être suivie de beaucoup d'autres. On verra que le chemin qui reste à parcourir est long.

Conséquences pratiques des hiatus

Je rappelle comment se présente la question des hiatus dans l'enseignement des sciences exactes et, par conséquent, dans celui du calcul qui en est l'une des phases.

L'enseignement actuel des sciences exactes : mathématiques, physique, chimie, aboutit trop fréquemment à doter les élèves d'enchaînements ver-

baux et de formules numériques isolés, coupés des faits et événements qu'ils représentent. Ces enchaînements et ces formules inutilisables dans la vie pratique, s'accompagnent parfois d'une inhibition des réflexes innés de recherches par tâtonnements. Par surcroît, ils se trouvent souvent associés à des affects de répugnance, de dégoût, et parfois, de mépris qui tendent à bloquer toute activité scientifique.

C'est un échec lourd de conséquences pour les élèves, comme pour les cellules sociales où ils déploieront plus tard leur activité pratique. Je montrerai qu'il se prépare dès le cours préparatoire, s'annonce nettement vers la fin du cours élémentaire, pour devenir à peu près total vers la troisième ou la deuxième du second degré.

A quoi est-il dû ? Doit-on vraiment incriminer les techniques d'enseignement ? Faut-il l'attribuer, comme on le fait parfois, à une inaptitude foncière de certains élèves ? Peut-on l'éviter ? Dans quelle mesure ? Et de quelle manière ?

Ce sont là les principales questions que je me suis posées depuis les temps déjà lointains, où j'eus la possibilité d'observer dans une usine de tréfilage le comportement scientifique d'ingénieurs et de techniciens de tous rangs. Chargé d'organiser, puis de diriger un service de recherches sur le tréfilage et le contrôle des fabrications, j'eus l'occasion de constater les conséquences graves de l'insuffisance de l'enseignement scientifique d'alors.

Le comportement scientifique des techniciens

Chez certains, parmi les dirigeants techniques, les connaissances acquises à l'école, trop livresques, restaient inopérantes, car elles ne surgissaient pas dans leur esprit, lorsque se présentaient les circonstances auxquelles elles se rapportaient ; parfois elles formaient écran et leur empêchaient de voir la réalité sensible. Quant à la méthode scientifique, elle était à peu près inconnue de tous. Malheureusement, l'usine où je travaillais n'était pas un cas isolé. Le savant Henri Le Chatelier (1), qui avait une large expérience des milieux industriels, affirme :

« L'ignorance actuelle de nos ingénieurs sur les possibilités et sur l'utilisation des mesures est invraisemblable. Un trop grand nombre pense que tous les problèmes pratiques peuvent se trancher par des raisonnements a priori, par des calculs mathématiques. Si la réforme de l'enseignement secondaire pouvait modifier cette mentalité, il en résulterait un accroissement de la richesse du pays que bien peu de personnes soupçonnent. C'est, en tous cas, là, un des points sur lesquels il faut faire converger les efforts les plus énergiques. »

Problèmes pratiques et expériences tâtonnées

En somme, les ingénieurs dont parle H. Le Chatelier, avaient perdu l'usage de la recherche par tâtonnements. Cependant, beaucoup de problèmes pratiques de l'Industrie, tous ceux vraiment nouveaux, doivent être abordés par la méthode des tâtonnements méthodiques issue de la pratique des expériences tâtonnées signalées par Freinet (2).

Echelle des valeurs sociales et Echelle des valeurs universitaires

Je m'excuse de la longueur des considérations précédentes ; mais elles constituent une critique de l'enseignement scientifique d'après ses conséquences sociales. Elles permettent de mesurer la gravité de l'échec de l'enseignement des sciences mieux que des tests ou des enquêtes sur les résultats obtenus

aux examens et concours qui dégagent mal la valeur pratique des techniques pédagogiques. L'échelle des valeurs universitaires ne coïncide pas, en effet, avec celle des valeurs sociales.

Valeur actuelle des critiques précédentes

Les choses ont-elles changé depuis l'époque où H. Le Chatelier a énoncé ses sévères critiques ? Oui, certainement. Des laboratoires industriels ont été organisés. L'enseignement de la physique, de la chimie et de la mécanique s'est complété par des manipulations. Le mouvement pour la recherche scientifique s'est affirmé, puis amplifié. Les critiques de certains savants ont été entendues. Mais le comportement scientifique des cadres moyens de l'industrie, de l'agriculture et du commerce, celui d'une partie importante des universitaires reste toujours caractérisé par l'ignorance de la valeur pratique et théorique de la méthode scientifique. Cette ignorance se double souvent d'une méfiance tenace et parfois d'un mépris pour tout ce qui est « chiffré, mesuré, raisonné » (3).

Donc, malgré les progrès réalisés, les critiques d'Henri Le Chatelier restent d'actualité.

But des études entreprises

L'échec de l'enseignement des sciences exactes, tenu par moi pour certain, depuis mon passage dans l'industrie, j'entrepris, vers 1925, des études pour y remédier, dans la mesure du possible. Dès 1930, j'avais fixé les grandes lignes d'une psychopédagogie (4) susceptible de s'opposer à la création dans le comportement des élèves de hiatus, de solutions de continuité entre leurs connaissances scientifiques et les signaux sensoriels par lesquels se révèle en eux le déroulement de la vie.

Depuis, j'ai rencontré une difficulté devant laquelle j'ai longtemps buté. Voici en quoi elle consiste. Certains élèves, ayant acquis la technique des quatre opérations, se trouvent arrêtés comme devant un obstacle infranchissable placé sur leur route ; ils ne parviennent pas à déterminer la suite et la nature des opérations à effectuer pour résoudre leurs problèmes quand ils portent sur des faits nouveaux, ou sont énoncés en termes inaccoutumés. La liaison qui doit joindre les événements décrits par les énoncés à leur expression par une série d'opérations arithmétiques, ne se fait pas en eux. Il y a là une coupure, un hiatus qui pose l'un des problèmes majeurs de l'enseignement du calcul à l'école primaire. S'il est mal résolu, les élèves en souffriront le reste de leur scolarité, leur formation scientifique en sera fâcheusement affectée. Or, il semble bien que ce problème de pédagogie pratique reste mal résolu à l'heure actuelle.

J'exposerai la solution à laquelle je me suis arrêté. Mais auparavant, il est nécessaire de préciser le problème de base de l'enseignement du calcul. C'est celui qui consiste à remplacer les opérations sur les grandeurs (addition ou soustraction d'objets distincts, de longueurs, de charges, de tensions ou d'énergie électrique) par d'autres sur ce que les mathématiciens appellent des ensembles de constituants (ensemble des doigts de la main, des cm d'une longueur, des coulombs d'une charge électrique, des

(1) Cf. « Science et Industrie » — H. Le Chatelier — (Flammarion).

(2) « Essai de Psychologie sensible » (Freinet).

(3) « Ecole Libératrice » 6 novembre 1953.

(4) « Pédagogie par évolution », chez l'auteur.

volts d'une tension, etc...). C'est au niveau de ce remplacement des grandeurs par des ensembles de constituants que se situe l'un des points de départ de la formation des coupures dont j'ai dénoncé les méfaits.

Genèse du calcul numérique

En outre, ce remplacement rend possible le langage numérique ; car, celui-ci exprime les résultats d'expériences tâtonnées, puis méthodiques, effectuées non sur les grandeurs elles-mêmes (groupe d'objets ou de personnes, longueurs, durées, charges et tensions électriques) mais sur les ensembles de constituants (doigts, cailloux, jetons, graphies) qui en tiennent lieu parce qu'ils ont été mis en correspondance avec eux.

Construction des ensembles de constituants

Elle ne présente aucune difficulté lorsqu'il s'agit de remplacer les opérations d'addition, de soustraction, de multiplication, de fragmentation en parties égales ou inégales de grandeurs discontinues (groupes d'objets, de personnes, etc...) par des opérations sur des ensembles de constituants concrets (doigts de la main, cailloux, billes, jetons, graphies diverses telles que des traits, des points, des petits cercles).

Un jeune élève saura bientôt lever 5 doigts en voyant 5 autos et en abaisser 2 si deux d'entre elles s'en vont. Il saura également que ses 3 doigts restés levés correspondent aux trois autos restées en place. Dites à un élève qui peut compter au moins jusqu'à 20 qu'un troupeau de 20 bêtes a été répartie en 3 lots. Si vous ajoutez que le deuxième lot comprend 3 bêtes de plus que le premier et le troisième 2 de plus que le second ; après un court apprentissage, il pourra se munir de 20 billes et les disposer après tâtonnements de la façon indiquée par la figure suivante :

o o o o	1 ^{re} part : 4 bêtes
o o o o o o o	2 ^e part : 7 "
o o o o o o o o o o	3 ^e part : 9 "

Il aura donc appris en peu de temps à remplacer des opérations sur les grandeurs discontinues par d'autres effectuées sur un ensemble de constituants concrets. Sans doute, les opérations qu'il a effectuées sur l'ensemble de ses billes ne reproduisent pas celles qui ont été effectuées sur le groupe de bêtes, mais cela n'influe pas sur le résultat final. Le jeune élève faisant le remplacement inverse pourra dire après dénombrement de chacun des trois ensembles de boules qu'il vient de construire par expériences tâtonnées : « Le premier lot comprend 4 bêtes ; le deuxième en comprend 7 et le troisième 9. »

Construction des ensembles de constituants correspondant aux grandeurs continues

Le problème du remplacement des grandeurs par des ensembles de constituants malheureusement se complique beaucoup.

Il se résout encore facilement pour les longueurs, les surfaces, les volumes, les capacités, les masses, les durées et les rotations. Par des mesures faciles à effectuer, les élèves parviennent, en effet, sans peine, à remplacer les opérations sur ces grandeurs par d'autres sur des ensembles de constituants tels que des jetons qui, étant maniables, pourront permettre des calculs analogues à celui opéré sur des billes. Mais ici, il faut en général faire un double remplacement. C'est le cas où une longueur donne

lieu à un ensemble de plusieurs hectomètres, par exemple.

Mais jusque là, le remplacement des opérations qui s'effectuent sur les grandeurs par d'autres sur des ensembles de constituants suffisamment maniables pour se prêter au calcul concret (5) reste, s'il a été précédé de mesures vécues par les élèves, presque immédiat. Il le devient de moins en moins à mesure que l'on considère la suite des phénomènes que la science est parvenue à nous faire connaître comme complexes de grandeurs.

Ainsi, avant de pouvoir remplacer le passage d'un courant électrique dans un radiateur, par l'accroissement de l'émission d'un ensemble de calories exprimé par :

$$C = \frac{1}{4,18} R I^2 t$$

cal.gr. ohms amp. sec.

Il a fallu :

1° Inventer les quatre grandeurs C, R, I, t (6) et les ensembles de constituants leur correspondant.

2° Reconnaître expérimentalement qu'elles suffisaient pour rendre compte de l'émission de chaleur par un radiateur ; en d'autres termes, vérifier par l'expérience que chaque fois que R, I et t prenaient des valeurs déterminées : x, y et z, C prenait aussi une valeur déterminée : U. Cette vérification indispensable est beaucoup plus compliquée que l'opération analogue lorsqu'elle porte sur la surface d'un rectangle par exemple. Dans ce cas, on vérifie sans peine que chaque fois que la base et la hauteur prennent une valeur déterminée, par exemple 4 et 5 cm, la surface en prend aussi une déterminée, soit 20 cm² pour l'exemple choisi.

3° Calculer la formule :

$$C = \frac{1}{4,18} R I^2 t$$

Construction des connaissances scientifiques La phase calcul

La connaissance scientifique que constitue la formule ci-dessus citée, est le résultat d'un travail scientifique bien modeste, si on le place dans l'ensemble de ceux nécessaires pour l'acquisition des connaissances inscrites aux programmes du premier et du deuxième degrés. Cependant, il permet de situer le calcul comme une phase de l'effort déployé pour aboutir à la construction des connaissances scientifiques stables et solidement liées aux réalités sensibles.

Les considérations précédentes permettent aussi de dire que cette phase de calcul ne peut se développer que lorsqu'étant parvenu à construire des grandeurs puisées dans le concret, on a pu les remplacer par des ensembles de constituants. En effet, c'est sur ces ensembles que portent les manipulations du calcul concret (7) symbolisées par le calcul numérique.

Ainsi, à la mise bout à bout de deux barres mesurant 24 et 38 cm, correspond l'addition des deux ensembles 24 et 38. Lorsque l'on a reconnu par des manipulations tâtonnées, qu'il est possible de former

(5) Je montrerai comment le calcul concret peut, à son tour, être remplacé par le calcul numérique.

(6) C : Chaleur dispersée.
R : Résistance du radiateur.
I : Intensité du courant.
t : Durée de l'émission de chaleur.

(7) Calculer (lat. *calcularé de calculus*, caillou) c'est compter au moyen de cailloux.

un troisième ensemble 62 cm correspondant à la longueur formée par la mise bout à bout des deux premières barres, on fait un choix parmi les manipulations d'addition des deux ensembles 24 et 38. Ce choix est dicté par la considération des possibilités humaines et de leur rendement maximum. C'est en raison de cela que, pour former le troisième constituant, on additionne les unités du premier avec les unités du second, puis les dizaines avec les dizaines. De cette façon, on se trouvera dispensé de mémoriser $24 + 38 = 62$; la seule mémorisation de la table d'addition suffira dans ce cas, comme pour tous les autres analogues. Faute de cette intervention des ensembles de constituants, l'effort de mémorisation des résultats expérimentaux formant l'assise concrète des sciences ne pourrait donner que de piètres résultats. Nous serions réduits à l'utilisation de la seule fonction de globalisation. Les connaissances humaines ne pourraient que dépasser de peu celles des animaux supérieurs.

A propos du passage d'un courant d'un fil dans une dérivation formée par deux autres dont les

conductances correspondent aux ensembles 2 et 3, on pourrait faire une remarque analogue à celle qui concerne la mise bout à bout de deux barres. La connaissance précise de cet événement électrique n'est possible que lorsque cet événement a pu être remplacé par un autre consistant dans la fragmentation d'un ensemble d'ampères correspondant eux-mêmes aux deux courants parcourant chacun l'un des deux fils de dérivation. C'est une fragmentation dans le rapport 2/3.

Ce sera dans le cadre de l'acquisition des connaissances scientifiques construites par les élèves eux-mêmes et de telle façon qu'étant sans hiatus, elles surgissent en eux pour régler leur comportement toutes les fois qu'ils seront placés dans les circonstances de la vie où elles ont été puisées, que j'exposerai la technique d'enseignement du calcul à laquelle m'ont conduit mes études.

(à suivre.)

Ph. ROGERIE

Châteauneuf-La-Forêt (Haute-Vienne).

POUR MIEUX FAIRE CONNAITRE LES PAYS ÉTRANGERS

Nous préparons une série de BT sur les divers pays étrangers et faisons appel aux camarades qui pourraient nous envoyer des projets.

Nous avons déjà :

— un très grand projet actuellement au contrôle sur le Canada, de Lebreton et Tétrot.

Tétrot prépare, d'autre part, une BT sur New-York.

Nos amis suisses nous préparent une BT sur l'Histoire suisse. Nous leur demandons de nous présenter la vie et l'économie de leur pays en une BT dont la diversité donnera justement une idée de la Suisse.

Nous voudrions que les camarades italiens, en accord peut-être avec quelques camarades connaissant leur langue, s'attaquent à une BT sur l'Italie. Qui voudrait y travailler ?

Je demande aux camarades du Haut-Rhin et du Bas-Rhin de se mettre à l'étude d'une ou plusieurs BT sur l'Allemagne.

Que Lallemant pense, au cours du prochain voyage à Vienne, à des BT sur l'Autriche et, si possible, l'URSS et les Démocraties Populaires.

Les camarades du Haut-Rhin qui préparent un voyage dans les pays nordiques, nous annoncent leur désir de préparer une ou deux BT.

Mais n'y aurait-il aucun camarade connaissant l'Anglais ou allant en vacances en Angleterre, qui serait susceptible de mieux nous

faire connaître ce pays, si proche de nous et pourtant, pour nous, si impénétrable ?

J'ai déjà écrit à notre camarade Gauriaud, C.C. de Marans (Chte-Mme) qui correspond avec des écoles anglaises.

Qui s'offre ?

Et la Belgique ?

Et tant d'autres pays du monde ?

Nos BT, bientôt vendues aussi sous forme d'albums, sont désormais d'une richesse incomparable.

Faites les connaître autour de vous

LES VOYAGES-ÉCHANGES

A Aix, la Commission des V.E. n'a pas chômé. Bon nombre de camarades ont assisté aux travaux entrant souvent en contact avec la Commission Tourisme Scolaire.

Ainsi, il nous a été permis de constater que cet été verra les villes et villages retentir de l'enthousiasme des enfants qui auront été mis en relation par les Voyages-Echanges.

Nous voudrions que les maîtres nous envoient des comptes rendus de ces expériences qui ont pris corps dans les Techniques de l'Ecole Moderne. Nous serions heureux de connaître leurs joies et leurs déceptions, afin que, dès la rentrée, nous puissions brosser un tableau des réalisations et établir une méthode de travail pour 1956.

A Aix, nous avons décidé de redonner au Bureau National son indépendance quant aux « mariages » en début d'année pour une correspondance fructueuse en vue d'un voyage-échange.

Au cours des deux années passées, des écoles étaient mises en correspondance par Alziary et... avec quel mal ! Les lettres et journaux s'échangeaient

et on faisait des projets de V.E. pour la fin de l'année. Et puis, vers le mois de mars... crac ! une école faisait savoir qu'elle ne pourrait effectuer le V.E. Manque d'argent. Distance trop grande, etc... Vous jugez de la déception des autres, ceux qui comptaient tant partir à la conquête des joies pures de l'aventure.

Il faut donc remédier à cela.

Dès à présent, il s'agit de s'organiser pour 1956. Que les camarades qui désirent avoir un correspondant régulier en vue de conclure un V.E. — et ceux-là seulement — remplissent la fiche parue dans « l'Educateur » n° 20-21, page 23 offset et l'envoient immédiatement, en mentionnant surtout le rayon kilométrique permis.

R. DENJEAN (Hte-Loire).

LE LIMOGRAPHE AUTOMATIQUE CEL Une opinion autorisée

A. Bœkholt dirige une « association pour le développement du travail manuel dans l'enseignement » et publie une revue, *Vie Active*, que nous recommandons à nouveau à l'attention de nos lecteurs (20, rue Guersant, Paris-17°).

Dans son dernier n°, la revue publie la note suivante :

« Notre ami Freinet vient de nous envoyer pour démonstrations au Centre de V.A., son dernier modèle de limographe.

Nous le recommandons sans réserve, ayant eu l'occasion d'effectuer déjà plusieurs travaux de présentation par-faite.

Idéal pour journal scolaire, bulletin de colonies de vacances, convocations, programmes, etc... »