

Le concept de mesure

par J.-C. MESSENGER,

E.U.R.E.S.P. Université de Rennes I.

« Un cycle de formation continuée s'est mis en place à l'Université de Rennes I, au niveau du premier cycle, et fonctionne pour la troisième année consécutive de façon fort satisfaisante.

Le texte qui va suivre est une illustration de la coopération entre tous les ordres d'enseignement et je remercie très sincèrement tous les Professeurs qui ont participé à cette réflexion et sans qui cette rédaction n'aurait pu avoir lieu ».

1. DES MESURES, POUR QUOI FAIRE ?

Dès que quelque chose devient perceptible à nos sens, dans le temps et dans l'espace, nous avons toujours essayé d'en faire un objet d'expérience. Si cet objet acquiert une apparence bien définie, répétitive et suffisamment précise, il devient justiciable d'une certaine quantification et on essaie de lui associer une grandeur qui peut prendre différentes valeurs suivant les conditions de l'expérience. Ce qui nous amène à la définition d'une grandeur :

« Toute entité comportant une mesure » (Larousse).

Ainsi la mise en évidence et l'étude d'un phénomène nous amènent inéluctablement à la réalisation et à l'utilisation d'appareils de mesure, lesquels, bien entendu nous aident, en retour, à la compréhension du phénomène. L'appareil de mesure sert d'intermédiaire entre le phénomène lui-même et l'utilisateur. La mesure n'est donc pas une fin en soi. Il y a presque toujours retour au phénomène et nous pouvons alors imaginer la chaîne de transmission suivante (fig. 1) :

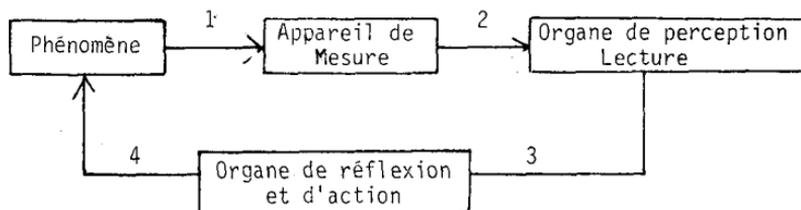


Fig. 1

Au fur et à mesure que cette boucle sera décrite (plusieurs fois s'il le faut), l'appareil de mesure nous donnera la possibilité de caractériser l'état du phénomène (ou son intensité) par un nombre ou une valeur qui nous permettra d'élever celui-ci au-dessus de la perception qualitative. C'est ainsi que, grâce à des mesures de plus en plus précises, nous sommes amenés à améliorer les modèles utilisés en physique ou à en vérifier des conséquences de plus en plus fines ; prenons par exemple le modèle atomique... et là nous raisonnons en Physiciens, avec un grand P. Il ne faut cependant pas perdre de vue qu'il n'existe pas d'appareil universel. Très souvent, nos appareils de mesure ne seront en fait que des appareils de contrôle : une lampe témoin suffira pour nous indiquer si la tension est établie... Tout dépend de l'information dont on a besoin... et cet exemple va nous permettre de poser une question très importante :

Veut-on une information sur le phénomène lui-même?... ou une information sur l'utilisation technologique d'une de ses conséquences ?

Une des grandes difficultés pour les professeurs consistera, au niveau du premier cycle, à lever cette ambiguïté, le phénomène lui-même étant très souvent perçu à travers l'appareil de mesure utilisé.

2. LE CONCEPT DE MESURE.

Nous pouvons résumer la démarche exposée précédemment en essayant de discerner les différentes étapes que nous pouvons attacher à la connaissance d'un phénomène donné, grâce à l'utilisation des mesures.

— *1^{er} niveau* : C'est le dénombrement appliqué à un groupe donné :

Exemples :

- C'est le nombre d'ampoules que nous pouvons allumer avec une pile,
- Le nombre de jours écoulés depuis les vacances et comptés sur un calendrier,
- Le nombre de gouttes d'eau pour remplir un récipient.

A ce premier niveau, on associe presque toujours un nombre entier au phénomène étudié. La grandeur considérée prend des valeurs discrètes et la variable est discontinue, au sens mathématique.

— *2^e niveau* : On définit l'égalité ou l'inégalité ordonnée de deux grandeurs de même espèce. On peut choisir une valeur stable comme référence. Ce sont des grandeurs repérables.

Exemple :

- La température d'un corps par rapport à la glace fondante.

Cette étape est très importante car elle bouscule la notion de grandeur à valeurs entières. On entrevoit la possibilité de variable continue.

Nous ne profiterons pas de l'exemple précédent de la température pour préconiser l'utilisation des mots « repère » ou « mesure » qui ne traduisent en fait que deux aspects d'un même concept, comme on pourra le voir par la suite.

— 3^e niveau : On doit savoir définir la somme de deux grandeurs de même espèce ou de deux valeurs d'une même grandeur. Les exemples sont nombreux, temps, masse, intensité de courant...

Nous pouvons remarquer tout de suite les difficultés que nous aurons à étudier les forces car nous devons faire des sommes vectorielles.

Conséquence de ce 3^e : il nous faudra définir des unités et aborder le problème de l'étalonnage.

— 4^e niveau : Les enregistreurs introduisent la possibilité de relever une grandeur en fonction d'une autre.

Exemple :

- L'oscilloscope qui nous permet de visualiser un phénomène en fonction du temps.

Il paraît inutile d'ajouter ici que l'acquisition de la notion de continuité de la fonction ou de la variable est sous-jacente et indispensable.

3. OU SITUER LES ELEVES ?

En lisant le programme officiel (*), on s'aperçoit que, dans les classes de 6^e et 5^e, on doit procéder à un « débroussaillage » intellectuel et on doit surtout s'attacher aux objectifs de méthode et de savoir-faire. Tous les phénomènes physiques abordés sont observés qualitativement et c'est seulement au niveau de la classe de 4^e qu'on va procéder à des vérifications quantitatives.

D'après l'expérience de nombreux collègues qui enseignaient déjà la TECHNOLOGIE dans le premier cycle, les adolescents qui fréquentent les classes de 3^e ont beaucoup de difficultés à aborder le 4^e niveau exposé précédemment.

(*) N.D.L.R. : Cette réflexion a été effectuée avant l'année scolaire 1986-1987, donc en fonction des anciens programmes.

Quant à ceux qui sont en 4^e, beaucoup font encore des graphiques tels que la fig. 2.

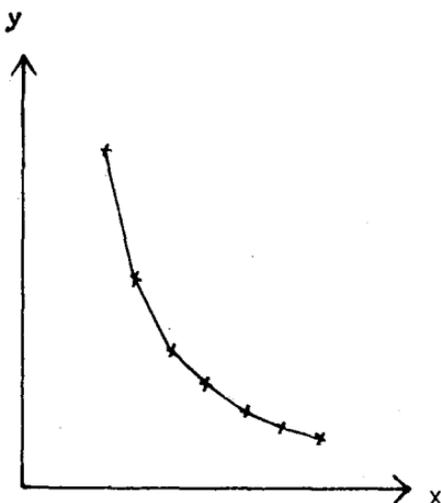


Fig. 2

D'autre part, les enfants qui entrent en 6^e commencent seulement à utiliser « *les nombres à virgule* » et n'ont pratiquement jamais fait de Sciences physiques. Il suffit de se rappeler la concrétisation indispensable du remplissage de 1 dm³ avec des cm³ pour voir qu'ils se situent sensiblement au premier niveau, ou légèrement au-dessus (car ils ont abordé ce problème dans les Cours Moyens).

Nous pouvons résumer tout ceci dans la fig. 3.

Il est toujours très délicat de faire des schémas avec des échelons représentant apparemment des certitudes. En fait, la question reste ouverte et il faut bien se fixer les idées.

Nous allons illustrer ce tableau par un autre exemple tiré du programme de 6^e et qui concerne les propriétés de la matière.

Comment classer le sable ? Parmi les solides ou parmi les liquides ? Les enfants ayant une perception qualitative des choses grâce à leurs sens (et uniquement grâce à eux pour l'instant), et voyant que l'objet étudié est très difficilement dénombrable, ils franchiront aisément le pas qui sépare le continu et le discontinu.

Il suffira de leur proposer une loupe comme moyen d'investigation pour les en dissuader.

Il nous faut alors remarquer que, au fur et à mesure de la scolarité au moins dans le premier cycle, et ce sera une difficulté supplémentaire, nous allons assister au développement d'un

Classe	La Mesure	Les Grandeurs
6ème	1er niveau ----- Dénombrement	Grandeurs à valeurs discrètes 
5ème	2ème niveau ----- <, =, >	
4ème	3ème niveau ----- Opérations, unités	
3ème	4ème niveau ----- Enregistrement	

Fig. 3

paradoxe extraordinaire, du moins en apparence. En effet, au fur et à mesure que nous développerons nos moyens d'investigations, on s'apercevra que la matière est discontinue alors que l'abstraction des concepts nous fera utiliser les mathématiques et des fonctions continues.

4. LA BALANCE.

Une application concrète des fig. 1 et 3 va concerner l'utilisation de la balance Roberval qui figure en effet au programme de 6^e et qui présente beaucoup de difficultés. Essayons d'en analyser les raisons.

a) Les enfants sont souvent extérieurs à la décision qui a « parachuté » l'appareil et le phénomène lui-même (ici la notion de masse et de quantité de matière) est perçu au travers de celui-ci. Le mécanisme du raisonnement de la fig. 1 se trouve bousculé, car la liaison numérotée 1 n'est pas assurée, au moins dans un premier temps, les enfants n'ayant pas senti la nécessité de réaliser un appareil de mesure.

b) On sort en général la boîte de masses marquées qui l'accompagne, c'est-à-dire qu'au plan du concept, on aborde directement le 3^e niveau, avec la possibilité d'effectuer des opérations sur les grandeurs mesurées. Autrement dit, le savoir-faire qui peut sembler être acquis à la fin de la 6^e risque de masquer des déficiences certaines au niveau du concept. Pour les combler, on peut exploiter un certain nombre de situations aussi bien en 6^e qu'en 5^e, où l'utilisation de la boîte de masses marquées n'est pas indispensable. Citons quelques expériences où on utilise les possibilités du 2^e niveau de la fig. 3, c'est-à-dire que le raisonnement est bâti à partir de l'équilibre (souvent difficile à réaliser par certains élèves d'ailleurs) ou de la rupture d'équilibre. Par exemple :

- lors d'une déformation,
- lors d'une dilatation,
- lors d'un changement d'état,
- lors d'une réaction chimique,
- l'étude de la poussée d'Archimède (on peut utiliser un dynamomètre mais on abordera le 3^e niveau avec précaution en 5^e),
- montrer la consommation de combustible lors d'une combustion,
- montrer que l'air est pesant,
etc.

c) Les unités posent beaucoup de problèmes. On peut comprendre en effet, d'après la fig. 3, que leur utilisation ne deviendra claire et ne s'imposera d'elle-même que lorsque les enfants seront capables d'aborder le 3^e niveau du concept. En attendant, elles restent du domaine de la mémorisation et du savoir-faire, les nombres gardant pour eux leur pouvoir magique et hypnotisant.

d) Nombreux sont les enfants pour qui il est indispensable que l'aiguille soit « au milieu », rigoureusement : ceci prouve qu'ils ne sont pas encore aptes à traduire la rupture d'équilibre en « *plus petit que* » ou « *plus grand que* » et n'ont pas acquis la notion de continuité de la grandeur considérée. On remarque très souvent aussi qu'une fois l'observation faite, il n'y a pas retour au phénomène qui disparaît derrière son application technologique.

5. L'AMPEREMETRE.

Le problème devient plus complexe car ce n'est pas un appareil de la vie courante et on ne peut en parler sans reprendre la boucle de la fig. 1 et mettre en cause :

- La situation dans laquelle il se trouve placé,
- L'information qu'on désire obtenir,
- L'observateur,

et sans se poser la question :

« *Quel est le phénomène étudié ?* »

Essayons de répondre en notant quelques-unes des notions impliquées dans l'utilisation d'un tel appareil, sans préjuger de l'ordre dans lequel on peut les présenter.

- A) Circuit (série, parallèle, continuité,...),
- B) Courant électrique (continu, alternatif, intensité,...),
- C) Electromagnétisme (interaction bobine-aimant, polarité,...),
- D) Modèle atomique (impliqué avec B,...),
- E) Mesure (c'est un appareil qui nous permet de faire des mesures quantitatives, exploitation des résultats, qualités de l'appareil,...).

Nous allons nous placer dans l'hypothèse du courant continu.

On sait que les parties A, B, C sont du ressort des programmes de 6^e et 5^e et l'ampèremètre va permettre d'approfondir des notions présentées qualitativement jusqu'à présent.

Nous allons aborder le 3^e niveau du concept de mesure, mais contrairement à ce qui se passe généralement avec la balance de Roberval, il nous est possible de franchir une à une les différentes étapes qui nous y conduisent. Il suffit de reprendre les programmes antérieurs pour s'apercevoir qu'on affine petit à petit la notion de détecteur jusqu'à finalement pouvoir effectuer des opérations sur la grandeur considérée. L'ampèremètre offre la possibilité aux enfants de participer activement à la conception et l'utilisation d'un appareil de mesure suivant le schéma traditionnel de la fig. 1, la première liaison étant assurée en partie.

La boucle proposée sera décrite une première fois en 6^e en utilisant des ampoules :

elles brillent → le courant passe.

Nous avons répondu à la question :

« *Y a-t-il du courant ?* »

La réponse par « *oui ou non* » nous situe au premier niveau de la fig. 3.

La boucle sera ensuite décrite une deuxième fois en 5^e, grâce à l'étude de l'interaction entre une bobine alimentée par un courant et une aiguille aimantée :

l'aiguille dévie → il y a un courant,
elle dévie dans l'autre sens → le courant a changé de sens.

Nous avons répondu aux deux questions :

— Y a-t-il un courant ?

— Quel est son sens ?

Nous pouvons aller plus loin. En effet, il est très facile de repérer la position de l'aiguille aimantée (constituant la boussole par exemple) et de « promener » notre détecteur dans un circuit série ou parallèle.

Nous pouvons affirmer alors si le courant détecté dans telle ou telle partie du circuit étudié est identique, supérieur ou inférieur à celui détecté précédemment. Là, nous abordons le 2^e niveau, c'est-à-dire l'égalité ou l'inégalité ordonnée de deux valeurs d'une même grandeur.

Les difficultés à discerner deux états voisins nous emmènent tout naturellement vers un appareil plus sophistiqué et nous décrirons la boucle de la fig. 1 pour la troisième fois, avec l'ampèremètre cette fois ; nous nous situons alors au 3^e niveau de la fig. 3. Bien entendu, l'utilisation d'un tel appareil s'accompagne d'un savoir-faire évident et le choix d'un calibre pose encore bien des problèmes. Mais ceux-ci s'estomperont d'autant plus vite que le concept a été bien assimilé.

On en profitera pour faire l'étude de quelques circuits utilisés dans la vie courante et qui sortent du cycle Pile-Ampoule.

Nous nous apercevons, arrivés à ce stade, que le phénomène lui-même se trouve étrangement dissous à la fois derrière l'abstraction mathématique vers laquelle nous voulons tendre et derrière cet appareil de mesure qui va nous servir maintenant à obtenir des informations sur l'utilisation technologique des conséquences de ce même phénomène. Nous ne parlerons plus que de l'événement qui se déroule lorsqu'il y a action réciproque entre le phénomène et l'instrument de mesure.
