

Note 25 : Invariance de la vitesse de la lumière

VIENNOT L. (1996) *Raisonnement en Physique*, De Boeck, Bruxelles, p 172-173.

[Voir le document ci-après.](#)

Les approches numériques et fonctionnelles sont très inégalement pratiquées dans l'enseignement secondaire. Les élèves ont l'occasion de manipuler, en mathématiques, les fonctions d'une seule variable et, en physique, des relations impliquant deux grandeurs ou plus, mais essentiellement comme moyen de calcul. L'idée de dépendance fonctionnelle à plusieurs variables est peu travaillée.

Déjà les enfants ont une grande inclination vers une pratique réductrice de ce point de vue. Ainsi une relation telle que celle qui lie distance parcourue, vitesse et durée de parcours donne fréquemment lieu à ces énoncés: «plus vite, donc plus loin», «plus vite, donc moins de temps», qui figent, ou plutôt ignorent, la troisième variable (Bovet et al. 1967, Crépault 1981).

La première partie de cet ouvrage le montre amplement, les pratiques communes des étudiants en matière d'analyse fonctionnelle sont, elles aussi, réductrices. Les enquêtes résumées dans ce chapitre éclairent les modalités particulières de cette réduction sur un thème qui peut sembler bien paradoxal ici: celui de l'"indépendance».

DES CONSTANTES «NUMÉRIQUES» OU «FONCTIONNELLES» ?

Les «constantes» constituent apparemment une notion sans mystère. Pourtant ce terme peut renvoyer à deux significations extrêmes:

- l'une, **numérique**, où le mot «constante» prend le statut d'un nom commun pratiquement synonyme de nombre plus ou moins utile à connaître, depuis une simple caractéristique d'objet telle que la masse de la Terre, jusqu'aux constantes dites universelles, telles que la constante de Planck, h , ou la vitesse de la lumière dans le vide, c .
- l'autre, **«fonctionnelle»**, où il s'agit d'un adjectif qui a perdu le nom qu'il qualifie: *fonction* constante de telles ou telles variables. **Tout l'intérêt étant cette fois dans la liste de ces variables** dont on aurait pu croire a priori qu'elles affectaient la «constante».

Lorsqu'on s'efforce de spécifier ces variables qui sont, en bref, sans effet sur la grandeur considérée, on s'aperçoit en général que cette grandeur dépend d'autres variables. Une explicitation fonctionnelle un peu complète comprend dès lors deux volets, celui des «indépendances intéressantes» et celui des dépendances. L'encadré 1 donne une idée de la façon dont une telle explicitation précise et complète des énoncés d'usage tout à fait courant dans la pratique physicienne.

La question posée est maintenant celle-ci: comment les étudiants se situent-ils devant ces énoncés lourdement chargés d'implicite. Dans l'éventail des significations possibles, où vont leurs préférences, quelles sont leurs questions ?

ENCADRÉ 1

Deux énoncés d'usage courant explicités et complétés

ÉNONCÉ PROPOSÉ	
La vitesse de la lumière est une constante	
Énoncé explicité et complété	
La vitesse de la lumière dans le vide ne dépend pas ... de la fréquence du référentiel	La vitesse de la lumière dépend ... de la nature du conducteur de la fréquence (sauf dans le vide)
ÉNONCÉ PROPOSÉ	
Loi d'Ohm : À température constante, la résistance d'un conducteur métallique est une constante	
Énoncé explicité et complété	
La nature, les dimensions, la température du conducteur étant fixés, sa résistance ne dépend pas ... de la tension U appliquée à ses bornes du courant I qui la traverse	La résistance d'un tel conducteur dépend ... de la nature du conducteur de ses dimensions de sa température

L'enquête menée à ce propos (Viennot 1982) auprès d'étudiants en sciences de première et seconde années universitaires utilise les énoncés cités en encadré 1.

Les questions posées sont du type:

- Cet énoncé vous paraît-il clair et sans ambiguïté ?
- Vous semble-t-il incomplet ? Si oui, quelles précisions vous semblent indispensables, simplement utiles ?
- Aimeriez-vous le reformuler ? Si oui, comment ?

Les aspects les plus frappants des résultats sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

On y apprend essentiellement que les constantes en question, la vitesse de la lumière comme la résistance du conducteur ohmique, ne se réduisent pas, au premier abord, à un nombre pur et simple, $c=300\ 000$ km/s par exemple. L'aspect fonctionnel est envisagé mais,

paradoxalement, sous l'angle des dépendances beaucoup plus volontiers que sous celui des indépendances. Que la vitesse de la lumière dépende du milieu est largement souligné. De quoi, dès lors, cette grandeur pourrait-elle ne pas dépendre, c'est à dire en quoi est-elle plus « constante » que n'importe quelle grandeur physique ? Bien peu le savent, **aucun** ne s'inquiète de l'ignorer. Mêmes constatations pour la résistance d'un conducteur ohmique, dont un étudiant seulement sur les 41 interrogés a précisé spontanément la propriété essentielle d'invariance, à température fixée, par rapport à la tension appliquée et au courant qui la traverse, alors que deux autres mentionnaient une invariance dans le temps, tandis qu'abondaient les précisions sur les facteurs dont dépendait la « constante ».

TABEAU 1

La vitesse de la lumière est une constante

La grandeur considérée	Gembloux 1 ^{re} année Faculté N= 32	Gembloux 2 ^e année Faculté N = 35	Paris 7 1 ^{re} année Univ. N= 35	École Ingénieurs 1 ^{re} année N = 100
ne dépend pas (1)	28 %	6 %	18 %	9 %
du référentiel (2)	0 %	6 %	15 %	3 %
dépend (1)	50 %	74 %	85 %	77 %
du milieu (3)	50 %	68 %	78 %	77 %

(1) Pourcentages de réponses mentionnant une non-dépendance ou une dépendance quel qu'en soit l'argument.

(2) Pourcentages de réponses mentionnant la non-dépendance vis à vis du référentiel.

(3) Pourcentages de réponses mentionnant la dépendance vis à vis du milieu.

Gembloux : faculté des Sciences agronomiques (Belgique).

École d'Ingénieurs : École Supérieure d'Informatique, d'Électronique et d'Automatique (Paris).

TABEAU 2

À température constante, la résistance d'un conducteur métallique est une constante

La grandeur considérée	Gembloux 1 ^{re} année Faculté N= 32
ne dépend pas de ... (1)	6 %
dépend de ... (1)	47 %

(1) Pourcentages de réponses mentionnant une non-dépendance ou une dépendance quel qu'en soit l'ar-

gument.

Gembloux : faculté des Sciences agronomiques (Belgique)

On retrouve cette réticence à expliciter les non-dépendances dans les manuels et chez les enseignants. Qui pense, par exemple, à bien spécifier que la vitesse d'un ébranlement mécanique sur une corde ne dépend pas de la violence de la secousse initiale ? L'étude de Maurines sur ce point (Maurines, 1986; Maurines et Saltiel, 1988a. Voir aussi le chapitre 4) montre pourtant que ce serait bien utile. On pense avoir tout dit lorsqu'on a dit qu'une grandeur était constante, et les seuls soucis portent sur ce dont la constante pourrait bien dépendre.

Si l'on s'interroge maintenant, à un niveau plus fin et sans doute plus conjectural de l'analyse, sur la manière dont sont perçues et exprimées ces dépendances, d'autres remarques se présentent.

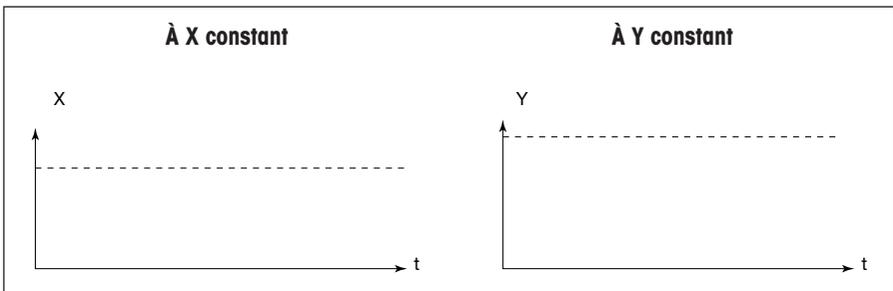
L'expression qui semblerait la plus naturelle est du type: «telle grandeur dépend de telle autre». Or on observe extrêmement fréquemment la forme qui est d'ailleurs celle de l'énoncé 2:

«à telle grandeur donnée...telle autre est une constante»;

«pour un milieu donné....la vitesse de la lumière est une constante»;

«à température donnée...la résistance...est constante».

Ce fait n'est sans doute pas neutre, pas plus que ne l'est le faible taux (17%) de retraduction de l'énoncé 2 sous la forme «la résistance....dépend de la température». Ces deux formes d'expression ne sont pas équivalentes. Très probablement, la faveur dont jouit la forme «à $X = C^{te}$, $Y = C^{te}$ » tient au rôle privilégié du temps comme variable implicite des fonctions dites constantes, ce qui conduit à l'interprétation résumée dans le schéma suivant:



Cette interprétation rapproche la notion de constante de celle de caractéristique d'objet, l'objet étant lui-même défini par sa permanence dans le temps. Elle éclaire a posteriori les soucis concernant d'éventuelles dépendances, dont témoignent par exemple ces deux commentaires:

«Si les conditions physiques, climatiques, chimiques, sont constantes, la résistance d'un conducteur ohmique est constante.»

«On n'a pas facilement un conducteur ohmique. Il faut tenir compte des variations externes autres que la température. A température constante, et à un instant donné, sous des conditions extérieures données, la résistance d'un conducteur métallique est une constante.»

A leur lecture vient l'envie de les résumer ainsi: si **tout** est constant, la résistance est constante. Bien entendu, ce résumé lapidaire vide l'énoncé initial de la signification qu'il était censé véhiculer (une non-dépendance), mais il en exprime bien une autre, celle que l'étudiant lui donne: il s'agit de spécifier complètement un objet, afin que ses caractéristiques soient bien définies. La constante n'est plus qu'un nombre sur une étiquette qu'on colle sur l'objet.

Sans doute est-ce pour cela qu'on parle si facilement de constante pour des caractéristiques très particulières d'objets très particuliers, telles la masse de la Terre ou celle de la Lune. Cette vision des grandeurs constantes favorise, bien sûr, le point de vue numérique aux dépens du point de vue fonctionnel. Elle rejoint de façon manifeste la tendance décrite au chapitre 2, qui consiste à ancrer le raisonnement sur la matérialité d'un objet.

LA DIFFICULTÉ D'EXPRIMER LES NON-DÉPENDANCES

Un premier constat est donc que les non-dépendances ne sont pas volontiers exprimées comme telles. Pour toute grandeur physique, la liste des «non-dépendances» est illimitée. S'agissant d'une constante, tout l'intérêt, et toute la difficulté parfois, est de spécifier celles qui sont intéressantes à connaître.

Mais l'expression même d'une non-dépendance se heurte parfois à une difficulté supplémentaire, qui est associée au fait que certaines variables du problème considéré peuvent être liées, c'est à dire contraintes par une relation.

Dans la formulation courante «telle grandeur, G , ne dépend pas de telle autre, X », l'idée la plus immédiate est celle d'une liaison quasiment mécanique entre G et X : on tire sur un levier X , et G «bouge», ou bien «ne bouge pas». L'idée de ne pas toucher à tous les leviers en même temps semble de simple bon sens, sans plus. Or, bien entendu, si les variables décrivant l'état du système sont mutuellement dépendantes, c'est à dire si les leviers sont connectés les uns aux autres, les choses se compliquent. Il faut savoir définir parmi ces «variables d'état» un ensemble de variables indépendantes, qui définissent complètement le système sans se heurter à des incompatibilités provenant des contraintes