

Obstacles au sens en physique

Georges Gidrol

Professeur de physique, formateur en gestion mentale.

Argument: *Que peuvent être les obstacles à la compréhension du cours de physique, de chimie et des exercices. Quelles compétences doivent être mises en œuvre par les élèves? Comment animer un cours et que proposer pour résoudre un exercice: des actes mentaux et des actions extérieures.*

1- La physique: qu'est-ce?

C'est l'observation du réel, de ce qui est, de ce qui se passe. C'est la création de modèle qui rend compte de l'observation. Le modèle se traduit en loi qui établit un rapport entre grandeurs physiques.

Ce modèle doit être validé. Il l'est tant qu'aucune expérience ne le met en défaut.

En math, on joue avec le modèle sans souci de validité. On crée même de nouveaux êtres.

À l'école, en physique, on court-circuite l'étape "recherche du modèle et sa validation". Ceci est réservé à la recherche.

En TP, on a une démarche

* inductive: expérience puis cours qui s'appuie sur le souvenir de l'expérience

* déductive: d'abord cours puis expérience pour vérifier.
(ceci ressemble à la validation du modèle)

En SVT, on met en œuvre presque uniquement la démarche inductive (95 %)

En physique, c'est plus varié, et la démarche déductive est plus fréquente. (60 %)

Les constituants de la physique sont:

- Du réel, visible ou invisible. On voit la lumière, on sent la masse, la force, mais parfois on ne perçoit rien, ex: les coulombs, l'électron, le champ magnétique...
- Des phénomènes où intervient ce réel. La lampe qui s'éclaire, le stylo qui tombe, l'attraction universelle, la force de Laplace... Comment comprendre sans imaginer ce réel et sans admettre que dans ce phénomène des choses ne s'expliquent pas: pourquoi les astres s'attirent? Pourquoi le courant apparaît dans cette bobine?

- Des lois qui décrivent ces phénomènes et en précisent des valeurs numériques. (P2 - P3) En gros, ce sont les formules. Elles peuvent rester des relations entre nombres ou raconter un phénomène. Et l'important est d'aller jusque là. Comment? Voir plus loin.
- Des unités (P1- P2) L'unité, écrite sous forme de code, relie le réel à une quantité à partir de laquelle on mesurera toutes les autres. Un gramme, c'est le nom de l'étalon, c'est une masse à partir de laquelle on va évaluer toute masse. Le gramme contient bien le réel de la masse de la matière, et ce mot est associé à une quantité arbitrairement utilisée pour mesurer toutes les autres. Comment s'approprier une nouvelle unité?
- Le symbole de l'unité (P2) C'est l'écriture schématisée. A-t-elle un sens? Que signifie m? Comment exprimer la même chose à partir des m ou km? La conversion a-t-elle du sens? Comment la maîtriser?

Que faire pour répondre à ces questions?

2 - Or chacun a acquis ou s'est donné des représentations du monde. Si les mots employés n'ont pas le même contenu, on ne se comprendra pas. Il est donc indispensable de faire émerger ces représentations pour une prise de conscience de l'enfant et pour que l'enseignant ne se fasse pas illusion sur ce qui va être entendu. Il pourra s'appuyer ou non sur ces représentations. Si un conflit cognitif surgit dans la tête de l'élève, celui-ci corrigera peut-être. L'enseignant n'y a pas accès.

Exemples: à votre avis pourquoi un objet est-il vert?
qu'y a-t-il derrière le mot "poids"?
que nous arrive-t-il si on est dans un endroit où règne le vide?

Tenir compte aussi que certains mots ont un sens dans la vie courante et un autre en physique.

Exemples: corps, rayon, réfléchir ...

3 - La première réponse est qu'il faut donner un contenu à toute grandeur physique.

Rien n'est faisable sans cette étape fondamentale.
Pour vous, lecteur, qu'y a-t-il derrière les mots suivants: force, lumière blanche, précipité, puissance.
Notre rôle est d'abord de rechercher ce qui est **incontournable** pour définir chaque grandeur physique.

Exemples:

La tension:

- **bien distinguer** le potentiel et la différence de potentiel (seul mesurable)

- repérer quand le potentiel est le même (le long d'un fil), quand il change (si traverse un dipôle)
- tension = différence; tension = force
- se mesure en volt.
- potentiel = état, ne bouge pas.
- différence de potentiel = cause du courant
- (courant = cause de la ddp se verra plus tard avec les 2 lois d'Ohm)

Le poids:

- c'est une force,
- c'est orienté,
- ça dépend de l'environnement et
- ça dépend de la masse de l'objet lui-même.
- On peut le sentir.

Bien faire exister dans la tête de nos élèves la réalité de ces concepts.

- La puissance: ce n'est pas P, ce n'est pas $P = UI$ ni $P = W / t$, c'est un débit d'énergie, un débit de Joule. Comment chacun va-t-il se représenter ceci? Voilà notre obsession. Quelle forme mentale chacun pourra-t-il donner à la puissance?
- Comment vont-ils se représenter un coulomb? Parfois, on ne voit pas la grandeur, mais on peut la sentir. Mettez votre trousse dans la main, sentez son poids, quel est son sens? Maintenant imaginez la force que vous exercez pour maintenir cette trousse immobile. Quel est le sens de cette force? Ces forces invisibles, on peut donc les imaginer.

Exemples du courant:

a- Intensité

Analogie des chapeaux - (le courant, c'est comme une ronde où chacun a ses habits, dont un chapeau. Quand le meneur de jeu siffle, chacun prend son chapeau et le met sur le tête de son voisin de droite. Quand le courant s'arrête, chacun se retrouve avec son chapeau. De même, les atomes du métal constituant le fil prêtent chacun un électron qui circule et constitue le courant électrique.)

Pas de création de courant par la pile: elle met en circulation et son énergie s'use... Le courant court.

Montrer un circuit série avec 4 lampes et 4 ampèremètres à aiguille. On voit les aiguilles bouger ensemble quand le générateur impose une autre tension. Demander de faire varier mentalement la couleur du circuit lorsque l'intensité change

Circuit dérivation. Règle: l'intensité du courant change si on arrive à un nœud.

Ajouter sur le schéma une couleur par intensité. On constate qu'on a une couleur par branche.

Par exemple:

- Pour reprendre le cas de gravitation universelle, on se demande ce que devient la force entre la terre et la lune si celle-ci est placée deux fois plus près de la terre? On imagine ces astres et la nouvelle force. Puis on imagine que la lune est remplacée par un astre 5 fois plus massique, etc.
- A propos de $PV = nRT$, faire trouver une situation concrète où c'est la pression P qui varie quand la température T augmente: le volume V qui varie quand la quantité de matière n augmente; V qui diminue quand on fait varier P etc. (avec des seringues, des cocottes minutes, des ballons de baudruche ou des boîtes fermées sur le feu).
- A l'occasion de la rotation, faire imaginer une situation concrète où la vitesse v est constante, où le rayon R diminue et faire deviner comment varie la vitesse angulaire, etc.

On devrait faire la même chose avec $E_c = 1/2 mV^2$; $x = v.t$; $U = R I ...$

→ Entraîner les élèves à ces activités les aide à comprendre la loi.

Cette gymnastique doit leur permettre aussi d'anticiper l'avenir, de faire le lien entre le cours et les situations concrètes qu'ils rencontreront en exercices ou en problème.

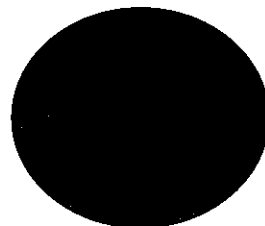
5 - Autres pratiques pour amplifier ceci:

Faire faire des liens.

Exemples: on donne un tableau des masses et charges des particules de l'atome. Demander à chacun de se préparer à établir des comparaisons, des ressemblances ou des différences entre particules. Etablir des comparaisons entre deux formules: celle du titre d'une solution et celle de la masse volumique, établir des liens de sériation temporelle lors de la préparation d'une solution, des liens d'appartenance pour relier la définition de l'ampère aux autres grandeurs qui ramènent aussi à l'unité (comme la puissance, la vitesse, la masse volumique, le débit etc)

Autre exemple:

demander, à partir de la figure ci-contre d'un objet en rotation autour de O, de lister:



a) ce qui est commun:

- la vitesse angulaire ω
- la distance AB
- l'axe de rotation
- la distance à O pour les points du cercle
- l'origine des dates,
- l'angle balayé
- la période et la fréquence

b) ce qui est différent:

- V_A et V_B
- R_A et R_B
- le vecteur vitesse des points du cercle
- l'abscisse curviligne s de A et de B

- Faire faire éventuellement un schéma qui manifeste ces différences, ces suites d'opération etc
- Lors d'une expérience, demander de décrire ce qu'on voit, sans aucune interprétation, puis faire exprimer des hypothèses d'interprétation. Ex: combustion du carbone, électrolyse de l'acide sulfurique, déplacement d'un mobile sur coussin d'air...
- Donner et faire construire un regard global, des fiches de synthèse, schémas heuristiques ou organigrammes.
- Ne pas se contenter d'une seule représentation mentale. (ex. de la mole) mais élaborer le plus d'infos différentes sur un sujet et se faire une toile d'araignée qui les relie toutes. (organigramme).
- Demander comment les élèves pensent le nouveau concept étudié (+DP) Que l'évoqué soit fiable, stable, complet après un travail.
- Développer les évocations:
- Faire vivre les situations en 1^{er} personne: pour s'habituer à changer de point de vue
Ex: vous êtes une poutre, quelle action devez-vous exercer pour...
⌘ vous êtes un électron,
⌘ vous êtes une aiguille aimantée, un ion etc.
- Accompagner l'évocation du phénomène, de ce qui se passe. Il s'agit ici de ne pas en rester au code mais de penser un phénomène, tous ensemble, guidé par l'enseignant, en faisant en sorte que les contenus importants sont bien dans la tête de chacun.
- Ex de qui se passe dans la cheminée et la flamme du bec Bunsen lors de la combustion du méthane: penser l'air qui entre par la virole, les molécules de méthane, leur mélange dans la cheminée, puis dans la flamme

les molécules qui s'agitent, se rencontrent, se cassent, les atomes qui se réorganisent, les nouvelles molécules qui sortent de la flamme, se refroidissent, on imagine de quoi elles sont faites etc...

- Lorsque les élèves ont noté le contenu d'une notion (dans la tête ou par écrit), énoncer ce qui est important pour que chacun vérifie que c'est bien là ou ajoute ce qui manque. Si l'un d'eux ne sait pas comment faire, il le dit et les autres l'aident.
- Renseigner sur le piège de comprendre sans apprendre. (ex. de celui qui regarde un film dans une autre langue qu'il connaît assez bien. Il repère des expressions dont il devine bien le sens, mais saura-t-il les retrouver plus tard?)
- Donner à l'erreur un statut positif. En cas d'échec à un exercice ou lorsqu'on corrige un devoir, ne pas chercher à corriger pour écrire la bonne réponse mais repérer comment je ferai juste la prochaine fois (avec des indices pertinents).

6 - Pratiques utiles mais non spécifiques à la physique:

- Réactivation en début et fin de cours.
- Des temps d'évocation en silence.
- Présentations les plus diverses possible (schéma, texte, exemples, justifications, applications etc...)
- Prise de notes en différé. (à condition qu'il y ait un livre) Bien respecter le silence de ce temps de prise de notes car dans ce silence, certains se posent des questions et il ne faut surtout pas leur répondre. Attendre que tous aient fini d'écrire.
- Des interrogations formatives, sur brouillon, corrigées dans la foulée.
- Une partie de l'interrogation sera constituée de questions que l'élève posera lui-même. (jusqu'à 10 / 20)
- *Faire faire* des synthèses écrites globales.
- Conseiller de faire une **fiche en 6** (feuille séparée en 6 zones, une par cours de la journée.) où l'élève note un contenu de chaque matière rencontrée, sans confondre étiquette et contenu. (sorte de réactivation)
- Faire des **fiches**, mais seulement quand le cours est appris et compris, sans document, pour qu'il soit ma propre mise en forme. (Ne pas confondre fiche résumé, fiche pour apprendre et fiche de synthèse), etc...
- Faire un Dialogue Pédagogique pour chaque notion importante, mais aussi au rendu d'une interrogation: comment savoir sans cela pourquoi Elise pense que l'objet jaune en lumière blanche paraît bleu lorsqu'on

l'éclairer avec de la lumière magenta? Elle a mis en tête que c'est la lumière qui pénètre dans l'objet, qui est absorbée, qui donne sa couleur à l'objet! Pas bête, c'est comme la peinture qui entre dans le bois. Sans DP, on en conclut qu'elle n'a rien compris et on la laisse avec son image négative d'elle-même.

7 - Pour réussir les exercices

Comment résoudre les exercices selon le paramètre dominant?

Exemple 1: Une solution sucrée contient 3 moles de sucre. dans 0,5 litre. Quelle est sa concentration?

P3 / P1 → J'imagine la donnée réelle; donc le 1/2 litre et les 3 moles qui sont dissoutes à l'intérieur.
J'imagine le volume qu'on me propose: 1 L et cherche combien il contient de moles de sucre:
je trouve 6 moles donc $C = 6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

P3 / P2 → J'utilise la formule $C = \frac{n}{V}$ qui devient $C = \frac{3}{0,5}$ et je calcule avec la machine:
 $C = 6 \text{ moles} \cdot \text{L}^{-1}$

Autre méthode: les **dimensions**: on cherche un volume à partir de l'unité du résultat: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

C'est-à-dire $\frac{\text{mol}}{\text{L}}$ donc il faut diviser 3 moles par 0,5 litre.

Exemple 2: Quelle est le coût de l'utilisation d'un moteur consommant 50 kW pendant 20 h si le kWh vaut 0,12 euros

- Soit $E = P \cdot t = 50 \times 20 = 1000 \text{ kWh}$, d'où le coût...
- soit 1 kWh, c'est 1 kW pendant une heure.
Or on a consommé 20 fois 50 kW soit $20 \times 50 = 1000 \text{ kWh}$
- Soit $\text{kWh} = \text{kW} \cdot \text{h}$ donc $E = 50 \times 20 \text{ kWh}$

En classe: lors d'exercices simples:

- **Faire traduire** l'énoncé de texte à texte, de texte à schéma, de schéma à texte et faire vérifier par le voisin que tout l'énoncé est bien dans le schéma. (Ils pensent que le schéma est dans la tête, donc ça suffit. Ils ne croient pas que c'est dur d'avoir tout devant soi en tête et en plus de trouver des relations nouvelles entre ces données)... Donner des exercices où la seule question est: traduire l'énoncé.

- **Traduction d'une carte** ou une courbe: raconter en perception, ne plus regarder, raconter la même chose et chercher le sens de ce qu'on vient de se dire.
- En cas d'échec dans un exercice, faire évoquer:
 - faire redire la question,
 - demander de penser à la question.
 - demander quel mot n'évoque rien et faire installer un contenu à ce mot en faisant faire des hypothèses à partir de ce qui est compris de l'énoncé,
 - ou faire apporter des infos par un voisin, ou par moi en dernier ressort.
 - cacher les informations situées au tableau ou écrites sur le papier.
 - chercher quels éléments du cours peuvent être utiles.

Autre exemple d'accompagnement: Chercher la vitesse angulaire de ...

- je ne comprends pas
- qu'est-ce qu'une vitesse angulaire?
 - je ne sais pas
 - ça a quelles unités?
- des radians par seconde
 - qu'est-ce qu'un radian pour toi?
 - qu'est-ce qu'une seconde?
 - quel lien existe entre cet angle et cette durée?
 - alors finalement comment penses-tu à cette vitesse angulaire? ...
- donc, que te demande-t-on?
- ça y est, je comprends!

Je n'invente rien en disant cela, mais je constate qu'il suffit le plus souvent de faire évoquer la réalité de la question et surtout la **réalité des grandeurs physiques** pour que la situation se débloque.

Autre exemple: Quelle est la durée d'utilisation d'une bouteille de 13 kg de butane si le débit du brûleur est de 280 glh? Comment aider celui qui n'y arrive pas?

- Faire évoquer le réel de la bouteille, du gaz, du débit.
- Faire rechercher si le résultat sera plus grand ou plus petit que 1.
- Faire trouver le bon calcul en remplaçant les valeurs de l'énoncé par des nombres simples, (ici 13 kg et 2 kg pour le débit).
- Demander de faire le même calcul avec les nombres de l'énoncé.

Lorsque les élèves cherchent un exercice long, écrire les calculs et les réponses au tableau, en silence, après que tous ont cherché → ceux qui réussissent en ont la confirmation, ceux qui sont bloqués peuvent continuer sans perdre leur temps.

Quand les élèves cherchent un exercice court, les habituer à faire signe de la main quand ils ont fini. Je compte ceux qui sont arrivés au bout et quand le nombre est suffisant, on parle, on répond aux questions. (ceci pour maintenir le silence propice à la réflexion).

En interrogation, ne pas hésiter à faire écrire ou dire en français la définition du volume molaire, de la vitesse, de la conductivité etc. (interdiction de répondre par une formule). On demandera dans d'autres questions une formule reliant conductance et conductivité, force et intensité du courant etc. (interdiction ici de répondre par une phrase).

Ne pas confondre ces deux types de connaissances indispensables l'une et l'autre.

8 - Les obstacles à la réussite dans les exercices de physique:

- Le premier obstacle est la croyance que la physique, c'est toujours des formules et qu'avec cela on peut tout faire.

Ex: la masse molaire de la soude (c'est-à-dire la masse d'une mole) est 40 g . L-1

Question: quelle est la masse d'une mole de soude?

Réponse: $n = \frac{m}{M}$ donc $m = n \cdot M$ soit $m = 1 \times 40 = 40$ g.

Ex: On sait que chaque mole de gaz a un volume $V_M = 22,4$ L.

Question: quel est le volume de $n = 3$ moles de gaz?

Réponse: $n = \frac{V}{V_M}$ donc $V = n \cdot V_M$ $V = 3 \times 22,4 = 67,2$ L !!!

je ne l'invente pas!

Ils vont chercher une formule pour dire que 5 vaches coûtent 5 fois plus qu'une vache. Et quand ils n'y arrivent pas, il suffit de leur demander d'imaginer la vache, et le prix d'une vache pour qu'ils trouvent.

Ne pas refuser cette approche (on fait de la GM! ...) mais

- conduire les élèves à évoquer les **grandeurs physiques simples et la réalité** présentée (la solution, le gaz, l'angle, la force),
- les **grandeurs physiques composées** (vitesse angulaire, concentration, accélération).
- Faire évoquer ensuite la **loi et les formules** qui la décrivent.

Les calculs viennent ensuite, si besoin est.

- Le manque de traduction
- Le manque de connaissance par défaut de mémorisation.
- Obstacles liés aux **mathématiques**:
 - Incapacité à faire un calcul mental simple.
 - Incapacité à transformer en d'autres unités. (voir cinq moyens pour changer d'unité)
 - Absence du sens de l'écriture d'un nombre décimal.
 - Absence du sens des opérations, notamment de la division (la division partage est acquise, mais pas la division regroupement, celle qui est utile en physique).
 - Réticence à écrire $15 / 7,5$ car une fraction doit avoir un dénominateur entier!
- Plus certaines croyances issues du primaire:
 - On divise toujours un grand nombre par un plus petit,
 - Si on multiplie, ça devient plus grand.
 - Si on a l'intuition que le résultat doit être plus petit, alors il faut diviser.
- Un imaginaire bloqué, par l'éducation des parents, la pratique ou une remarque d'un professeur, une angoisse...
- Des faux projets dont vous avez certains spécimens dans la feuille donnée en annexe.

Pour conclure, il me semble aujourd'hui et de plus en plus que le sens de la physique passe d'abord par la **grandeur physique** et non par la loi ou son expression mathématique.

Vérifions si les mots pour décrire cette grandeur physique sont précis, car ce sont eux qui nous disent si la pensée est correcte, si le lien entre signifiant et signifié est juste.

Vous aurez compris que mon projet permanent est de trouver des situations où placer les élèves afin qu'ils comprennent comment s'approprier ce monde physique. Non seulement les plonger dans le réel, mais leur donner les moyens de se l'approprier.

Autrement dit leur permettre d'accéder au *savoir du connaître*.

Là est l'objet de notre recherche en pédagogie et en physique.