Dans la suite, nous croiserons et recroiserons cette complicité entre des explications critiquables du point de vue de la physique et le raisonnement commun dans ce domaine (c'est par exemple le cas des explications en forme de récit discutées plus loin dans ce chapitre, notamment celle du siphon ou de l'effet Hall). Ce n'est pas une hypothèse bien risquée que d'y voir une cause de renforcement mutuel[4].

Les simplifications

Un facteur de risque évident est la simplification de l'explication ou un usage abusif de raccourcis[5]. Il n'est pas besoin de savantes études pour suspecter qu'à trop vouloir simplifier une explication, on risque d'en entamer la cohérence même. Mais il est intéressant d'en distinguer les différents aspects.

La désignation des entités en cause : pas toujours très académique

Devant un texte explicatif ou prédictif, la première question critique pourrait être : « De quoi parle-t-on ? » Les concepts intervenant dans un texte n'y sont pas toujours désignés dans la plus parfaite rigueur académique. Plusieurs types de transgression s'observent.

Un des problèmes est que les concepts prennent facilement un statut d'entité presque matérielle ; par exemple, à propos de l'arc-en-ciel, on rencontre cette phrase : « À partir d'une goutte donnée, une seule longueur d'onde atteint l'œil de l'observateur » (Benson, 2009, p. 136). Bien sûr, dans un environnement scientifique, on peut attendre des lecteurs qu'ils retraduisent « longueur d'onde » par « radiation de longueur d'onde donnée ». Pour ceux-là, le raccourci est sans conséquence[6].

---

4. Notons pourtant que ce que l'on nomme souvent les « conceptions » n'intervient pas toujours de façon manifeste et directe dans les raisonnements que nous proposons à la critique. Ainsi, déclarer une montgolfière isobare ne répond pas manifestement à une « conception » initiale. D'autres raisons peuvent être avancées pour expliquer ce rituel d'enseignement : au premier chef, cette simplification permet d'accéder à une valeur tout à fait convenable de la température interne recherchée.

5. Cécile Michaut (2014, p. 92) classe à juste titre les raccourcis parmi les « pièges à éviter » en vulgarisation.

6. Noter que l'œil n'est pas sensible aux longueurs d'onde mais bien aux fréquences ; c'est là le concept de base pour l'analyse de ce qui sera vu dans tel milieu (sous l'eau) ou tel référentiel (effet Doppler). Ce sont les milieux traversés qui feront correspondre à ladite fréquence telle ou telle longueur d'onde. Dire qu'il « reçoit une longueur d'onde » n'est donc pas seulement désinvolte, mais cela suggère une approche qui n'est pas la plus pertinente.

Les phrases télescopant plusieurs notions sans bien préciser leurs liens sont également fréquemment utilisées pour définir ou désigner des concepts sans trop s'encombrer de rigueur. Ainsi, dans l'expression « l'accélération de la période orbitale du système » (en l'occurrence un pulsar binaire)[7], la plupart des gens comprennent que la période orbitale diminue et donc que la fréquence augmente. Mais c'est parfois moins sûr : dans la phrase « Une pression est une force répartie sur une surface »[8], les principaux protagonistes sont bien là – pression, force, surface –, mais dans le désordre, et en tout cas sans aucun respect pour les dimensions respectives d'une pression et d'une force.

Un autre exemple classique est celui de l'identification un peu rapide par certains auteurs de la masse et de l'énergie par l'intermédiaire de la très fameuse formule $E = mc^2$ [9]. On voit aisément les problèmes que cette identification rapide peut poser aux élèves de première S, qui étudient les réactions nucléaires au cours desquelles l'énergie se conserve malgré le fameux *défaut de masse*, sans parler du cas de particules comme le photon, dont on admet qu'elles sont de masse nulle alors qu'elles possèdent de l'énergie (Bächtold, 2014).

On fait aussi intervenir volontiers des métaphores, que ce soit comme raccourci ou comme recours devant une notion décidément trop complexe. Dans tous les cas, un regard averti sur ce qui est en cause peut aider à localiser des sources potentielles d'incompréhension.

Le tout ou rien

Le désir d'expliquer amène à catégoriser. Dans l'enseignement, on explique aux enfants qu'il y a des solides, des liquides et des gaz, des miroirs qui réfléchissent la lumière tandis que d'autres objets la diffusent ou la laissent passer ; on leur dit qu'il y a des conducteurs et des isolants électriques, etc. Il n'est pas question de s'insurger contre ces catégorisations qui permettent de débroussailler le réel. Il faut pourtant garder ce processus sous contrôle. On sait bien, du moins l'apprend-on un jour ou l'autre, que les choses ne sont pas toujours aussi tranchées. Une vitre peut à la fois réfléchir et transmettre la lumière, comme le constate le voyageur d'un train lorsqu'il passe d'un tunnel à une voie à l'air libre. Et ces pigments dont on nous dit qu'ils absorbent ou non telle

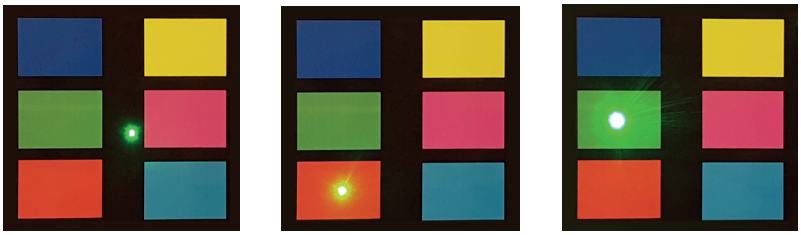
---

7. Ouvrage de vulgarisation récent.

8. Ouvrage de vulgarisation.

9. Formule à laquelle il faudrait préférer $E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$ (p est le moment cinétique).

ou telle bande spectrale (quand ce n'est pas : « Le rouge absorbe le vert »), il suffit de les impacter par un faisceau laser pour mesurer qu'ils ne l'absorbent pas totalement (fig. 3.3)[10].



(a) Faisceau de lumière verte sur un pigment noir

(b) Faisceau de lumière verte sur un pigment rouge

(c) Faisceau de lumière verte sur un pigment vert

Fig. 3.3 *– Un faisceau laser vert (λ = 532 nanomètres) est dirigé sur des pigments de diverses couleurs. Contrairement à ce que prédisent les règles en tout ou rien (cas a, b : un pigment noir ou rouge absorberait totalement une lumière verte ; cas c : un pigment vert diffuserait totalement une lumière verte), la lumière incidente est plus ou moins absorbée/diffusée selon la couleur du pigment impacté. Noter que, par un effet de saturation, la lumière verte intense apparait blanche sur les photos.*

Cette distinction est à la fois impérative pour respecter la cohérence entre explication et observation expérimentale, et d'un pouvoir explicatif considérable. En effet, contrairement à ce que suggère l'expression « synthèse soustractive des couleurs », l'effet d'un objet absorbant (par exemple un filtre ou un pigment) sur une lumière consiste à en *multiplier* l'intensité (respectivement transmise ou diffusée) par un facteur inférieur à 1. Une absorption totale correspond au cas où ce facteur vaudrait zéro, ce qui n'est actuellement le cas pour aucun pigment noir. Le pouvoir absorbant de tout pigment, fût-il noir, est toujours limité. Illuminé par un faisceau très intense, un objet noir diffuse alors toujours suffisamment de lumière pour rendre l'impact visible, alors qu'un raisonnement par tout ou rien prédit le contraire. D'ailleurs, même en éclairage ordinaire, on distingue couramment la forme tridimensionnelle des objets noirs. C'est donc bien qu'ils nous envoient de la lumière. Le peintre Pierre Soulages est particulièrement connu pour cet usage du noir.

10. Voir deux études sur les réactions d'enseignants en fin de formation sur ce thème : Viennot et de Hosson (2012, 2015).

Il arrive qu'une explication impliquant une seule cause ne soit qu'un simple raccourci. L'émission matinale de France Inter du 24 janvier 2017, à 7 h 20, évoquait les éoliennes flottantes. Comment leur plateforme en béton pouvait-elle flotter ? Le journaliste a alors expliqué que le béton a été évidé et que « cela crée une poussée d'Archimède ». Certes, la flottaison implique la poussée d'Archimède, mais l'inverse n'est pas vrai. En effet, la poussée d'Archimède est à l'œuvre dès qu'il y a immersion dans un fluide en présence de gravité. Pour une valeur donnée de la gravité et un fluide donné, elle ne dépend que du volume occupé par l'objet dans ce fluide. Pour une plateforme flottante, le volume occupé dans l'eau est moindre que pour la même plateforme entièrement immergée. Quant à l'autre force à l'œuvre, le poids de la plateforme, l'évidement crée un allègement, donc le poids diminue également. Ce que *crée* l'évidement, c'est la possibilité d'égalité entre ces deux forces (fig. 3.4). Au contraire, le raccourci radiophonique prend la forme d'un enchaînement causal du type :

évidement → poussée d'Archimède → flottaison

En tant qu'évocation suggestive d'une situation, le raccourci fait l'affaire. Mais en tant qu'explication, c'est une autre histoire !

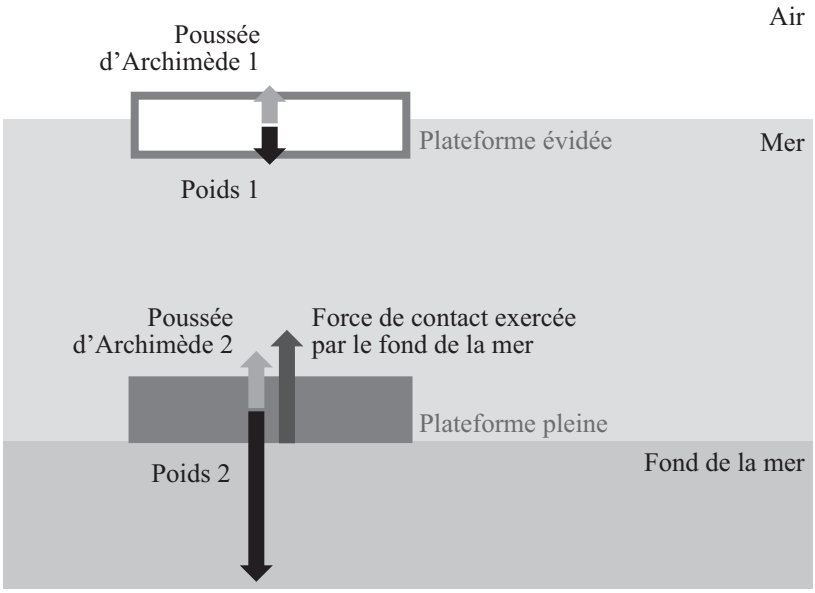


Fig. 3.4 *– Une plateforme en béton flotte du fait qu'elle est évidée (cas 1) : la poussée d'Archimède est alors plus faible qu'avec une plateforme de même volume extérieur non évidée et reposant au fond de la mer (cas 2).*

Tab. 4.2 – Récapitulatif des principaux types de facteurs de risque en matière d'analyse critique de texte.

Facteurs de risque	Description dans ce livre
Exactitude de la conclusion	p. 37
Explication-écho	p. 40
Désignation non standard des entités	p. 41
Tout ou rien	p. 42
Petit assimilé à nul	p. 44
Une seule cause prise en compte	p. 45
Un seul lieu pris en compte	p. 48
Explication-récit explicite	p. 50
Explication-récit suggérée	p. 54
Image : réalisme et symbolisme	p. 63
Image : similarité de symboles	p. 65
Image : hypersélectivité	p. 66
Image : structure et échelles	p. 67
Analogie/métaphore	p. 69

Un document sur l'osmose : un cas où la critique est relativement aisée

Imaginons maintenant un document que l'on soumet à l'analyse, par exemple l'ensemble d'un dessin (fig. 4.1)[1] et d'un texte à propos de l'osmose.

Le texte pourrait être le suivant (Bouissy, Davier & Gaty, 1987, p. 110)[2] :

> Puisque tout se passe comme si la membrane n'existait pas pour le solvant, une situation de déséquilibre va se créer […] le passage du solvant ayant lieu jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre s'instaure (énergie libre minimum), donc lorsque les concentrations en A et B [les deux compartiments séparés par la membrane] deviendront égales. Il y aura ainsi une différence de niveau entre les compartiments […], donc une différence de pression $\Delta p = p_A - p_B$, […] que l'on appelle la pression osmotique.

1. On trouve une figure analogue sur Wikipedia.
2. Il est accompagné d'une figure analogue à la figure 4.1.

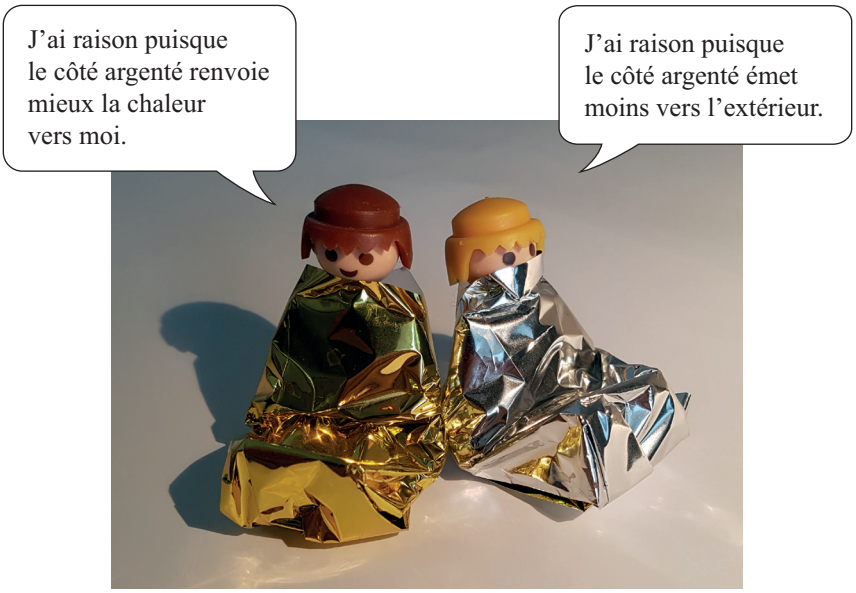


Fig. 6.1 *– De quel côté doit-on mettre la couverture de survie pour se protéger du froid ? Dilemme !*

Une idée très commune est qu'il faut mettre l'argent à l'intérieur pour renvoyer la *chaleur* vers soi (en formulation académique : limiter les pertes d'énergie par transfert thermique entre le corps humain et la couverture). Les notices d'emploi répercutent sans réserve cette idée reçue (Viennot & Décamp, 2016a)[1]. Mais gagner ainsi en *renvoi de chaleur* vers l'intérieur, c'est aussi mettre le côté doré à l'extérieur et donc perdre de la chaleur par émission d'énergie vers l'air environnant. Sauf à posséder une couverture argentée sur les deux faces, il y a dilemme. Pour parvenir à cet état de doute, il faut pouvoir remettre en question l'idée reçue si largement répandue. Comme attendu, les participants à l'étude, enseignants en fin de formation, ont été longs à mettre en cause les notices d'emploi reflétant l'idée reçue, d'autant que celle-ci coïncidait avec leur intime conviction[2]. En début d'entretien, leur mémoire avait

1. Mode d'emploi pour la couverture de survie Croix rouge : « Placer la surface dorée à l'extérieur pour isoler de l'humidité, du froid et de la pluie. Placer la surface dorée à l'intérieur pour isoler de la chaleur. » Ces instructions sont confirmées notamment par Wikipedia : « Du fait de sa température, un corps humain est émetteur de rayonnement thermique dans le domaine de l'infrarouge (proche de 10 micromètres). Pour lutter contre l'hypothermie, la surface dorée doit être à l'extérieur. Ainsi, le rayonnement infrarouge intérieur est conservé […] » (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Couverture_de_survie>, consulté le 23 mars 2019). On voit que le cas d'une protection contre l'hypothermie par temps sec et calme (sans soleil) n'est pas envisagé. Or il faut alors mettre la couverture dans l'autre sens.

2. On est tout à fait dans la situation d'une explication-écho.

Chapitre 8

LA CRITIQUE : VERS PLUS DE COMPRÉHENSION

« Pourquoi est-il si difficile d'enseigner la pensée critique ? » Cette interrogation de Willingham (2007) semble inspirer la pratique ambiante. On parle beaucoup de former l'esprit critique dans l'éducation scientifique, mais on le fait encore bien trop peu : ce sont de futurs professeurs qui le disent, eux qui font partie des bons élèves.

La question de Willingham est certes utile, mais peut-on sérieusement décider de négliger la pensée critique, quand on est enseignant ou formateur ?

Il y a sans doute un important préalable au développement de l'analyse critique, c'est d'envisager l'apprentissage scientifique comme une randonnée dont on est coresponsable. Apprendre n'est alors pas (seulement) *suivre*, ce n'est pas (seulement) pouvoir répéter, comme on montrerait au retour d'un voyage les photos que tout le monde prend. C'est bien regarder où l'on met les pieds, les yeux et les oreilles pour permettre d'avancer. Dans cette attitude, l'analyse critique assure les pas, elle permet de savoir sur quoi compter, de tirer le meilleur de l'information consultée. Cela ne vaut pas que pour les autodidactes, car heureusement, des maîtres sont là, dont il serait bien stupide de ne pas profiter.

Pour rester dans un registre métaphorique, lorsqu'un alpiniste veut vérifier une prise, il tire ou pousse dessus tout en maintenant ses autres appuis. C'est ce que l'on fait quand on met en cause un texte. La question n'est pas de dénigrer mais de voir si, et jusqu'où, *ça tient*. Avec un peu de chance, on trouvera un bon appui pour élargir la conclusion du texte, ou se poser une bonne

Tab. C.1 *– Éléments de questionnement et de connaissance à propos de la datation au carbone 14 et niveau académique nécessaire a priori pour les exprimer, voire pour y répondre.*

Questions à se poser	Éléments de connaissance requis* et accessibles avant le baccalauréat	Éléments de connaissance supplémentaires requis* ou simplement utiles, et accessibles avant la fin de la licence
Comment trouve-t-on la concentration relative [$^{14}C/^{12}C$] de l'organisme étudié au moment de la mort ?	• Isotopes du carbone ^{12}C, ^{14}C. • Principe des chaînes alimentaires des organismes vivants, échanges entre les plantes et l'atmosphère. • Au moment de sa mort, un organisme présente le même rapport [$^{14}C/^{12}C$] que celui trouvé dans l'atmosphère à cette date.	
Quelle était la composition de l'atmosphère [$^{14}C/^{12}C$] au moment de la mort de l'organisme ?	• La composition de l'atmosphère à la date de la mort de l'organisme était la même qu'actuellement.	
Si l'on admet la stabilité au cours du temps de la concentration relative [$^{14}C/^{12}C$] dans l'atmosphère, comment justifier cette assertion ?	• Composition du noyau de l'atome d'azote. • La désintégration d'un atome de ^{14}C produit un atome ^{14}N et la réaction nucléaire d'un atome ^{14}N avec un neutron produit un atome de ^{14}C. • Le taux temporel de chacune de ces transformations est proportionnel à la population concernée existante. • Le nombre total d'atomes ^{14}N + ^{14}C reste constant au cours du temps. • Voir le texte pour l'analogie avec les déménagements.	• Désintégration radioactive : le nombre $N(t)$ d'atomes de ^{14}C d'une population initiale N_0 restant après une durée t est : $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$. • Non strictement nécessaire : neutron + $^{14}N \rightarrow {}^{14}C$ + proton $^{14}C \rightarrow {}^{14}N$ + électron + antineutrino

**Requis pour au moins poser la question, et éventuellement y répondre.*

Tab. J.1(a) *– Banque de textes utilisables en formation.*

Thème et éventuellement « texte » discuté ***Type de document***	**Références dans le livre**	**Type de faille** ***Type de facteur de risque***
« En planifiant une observation stellaire à deux dates différentes, on double ses chances qu'il fasse beau au moins un des deux jours. » *Une bande dessinée scientifique.*	p. 13 (note 7)	Contradiction indirecte d'une loi, compte tenu d'une valeur interdite : si la probabilité qu'il fasse beau un jour était plus grande que 0,5, celle qu'il fasse beau au moins un des deux jours serait supérieure 1, ce qui est impossible.
Deux énoncés successifs, validés par l'ensemble d'une classe : 1 – « On peut se protéger du froid avec une couverture de survie » (débats et manipulations sur la conduction de la chaleur amènent à conclure). 2 – « Avec l'aluminium, on ne peut pas se protéger du froid. » *Séance de classe au collège, DVD à visée formatrice.*	p. 17, annexe B	Contradiction interne explicite associée à une généralisation abusive : dans l'énoncé 2, une propriété radiative de l'aluminium passée sous silence. *Une seule variable envisagée et testée expérimentalement : la conduction thermique.*
« L'ascension capillaire et la différence de pression à l'interface air-eau […] la pression immédiatement sous le ménisque possède une valeur plus élevée que celle de l'atmosphère juste au-dessus. C'est ce déséquilibre qui explique l'ascension […] » Plus loin : « […] la courbure du ménisque […] est d'autant plus grande que le tube est de petit diamètre : il en résulte, d'après la loi de Laplace-Young, une plus grande dépression de l'eau dans le tube. » *Texte de vulgarisation à visée formatrice.*	p. 18, annexe G	Contradiction interne explicite : la pression sous le ménisque est successivement déclarée « plus élevée » et moins élevée (« plus grande dépression de l'eau ») que celle de l'atmosphère. *Deux explications linéaires causales (une cause, un effet) : dans le premier cas, ce serait une poussée qui expliquerait l'ascension ; dans le second, ce serait le ménisque qui aurait tiré l'eau (d'autant plus qu'il est plus courbé), créant ainsi une plus grande dépression.*