



Haute école pédagogique  
Avenue de Cour 33 — CH 1014 Lausanne  
www.hepl.ch

Master of Advanced Studies et Diplôme d'enseignement pour le degré secondaire II

# **L'enseignement de la Physique au secondaire II : Approche pédagogique pour des étudiants non scientifiques**

---

Mémoire professionnel

<b>Travail de</b>	<b>Cédric Pahud</b>
Sous la direction de	Sveva Grigioni Baur
Membre du jury	Pierre Cambrosio
Lausanne,	le 28 juin 2011

# Table des Matières

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Motivation générale.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Modélisation.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Simplification des mathématiques / La méthode KPK.....</b>	<b>8</b>
3.1. Les grandeurs extensives.....	8
3.2. Les avantages de la méthode KPK.....	9
3.3. Exemple en thermodynamique.....	11
<b>Conclusion.....</b>	<b>13</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>14</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>15</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>22</b>

## Introduction

Le but de ce travail de mémoire est de présenter une approche pédagogique pour l'enseignement de la physique au secondaire II, destinée principalement à des étudiants non scientifiques.

Avant d'arriver au secondaire II, les nouveaux étudiants orientés dans une filiale non scientifique ont souvent un préavis négatif vis-à-vis de la physique. Ces préconceptions peuvent facilement se comprendre, car elles viennent la plus part du temps de discussions avec d'anciens étudiants étant passés par le même chemin. Souvent ces personnes gardent une image négative de la physique, comme cours très difficile voire inaccessible, sans utilité ni sens, nécessitant beaucoup de mathématiques, ...

Il est temps que cette mauvaise réputation de la physique change, et en tant que physicien de formation, je souhaite y apporter ma contribution !

Selon mon expérience et des discussions avec mes collègues physiciens, le professeur enseignant la physique à des étudiants non scientifiques devrait faire particulièrement attention à mettre l'accent sur trois points fondamentaux dans son cours, développés ci-dessous.

Tout d'abord, il est nécessaire que l'étudiant trouve un sens au cours qu'il suit. Il faut pour cela motiver l'intérêt de l'étude de théories physiques par des cas concrets. Cas concrets qu'il est susceptible de rencontrer dans la vie de tous les jours, afin qu'il ne soit pas amené à se poser la question « Mais enfin, à quoi tout cela sert ? ».

Ensuite, il est important d'illustrer le cours avec des expériences représentatives de la réalité. Il est à noter ici, qu'il ne faut pas tomber dans le piège d'expériences de laboratoires standards, où le matériel utilisé ne se verrait qu'au cours de physique. L'étudiant doit comprendre que la physique est avant tout une science qui peut être utile dans notre quotidien, qu'elle nous permet de comprendre les phénomènes qui nous entourent et que l'on peut y tirer des avantages pratiques. Cette approche expérimentale, qui devrait précéder toute théorie, offrira à l'étudiant une meilleure représentation du sujet.

Finalement, il faut mettre l'accent sur une simplification notable de l'utilisation des mathématiques, ce qui est probablement le plus grand défi du professeur de physique. Du reste, comme le souligne Paul G. Hewitt dans ses cours « Conceptual Physics » [1], les

concepts physiques peuvent se comprendre sans équations. Certes, si l'on veut faire de la physique au-delà du secondaire II, les mathématiques sont un outil nécessaire, et même indispensable. Néanmoins, l'enseignement de la physique en discipline fondamentale représente une certaine culture générale de l'étudiant non scientifique, qui doit faire partie de son cursus. Pour cela, la compréhension des concepts et de leurs utilités dans la vie pratique est suffisante.

Afin de simplifier l'aspect mathématique, je propose donc de considérer un nouveau cours de physique « Der Karlsruher Physikkurs », ou plus simplement le KPK [2]. Ce cours, développé à l'Université de Karlsruhe en Allemagne et destiné à des étudiants du secondaire II, a déjà fait ses preuves depuis plus de 15 ans. Il a déjà été traduit dans de nombreuses langues [3, 4].

Bien évidemment, ces trois démarches sont également importantes et utiles à appliquer pour des étudiants scientifiques. Néanmoins, en cas de négligence, les implications seront moindres. Entre autres, l'étudiant scientifique aura déjà un intérêt prédisposé pour les sciences en général, et aura plus d'aisance en mathématiques.

## 1. Motivation générale

Motiver l'intérêt pour un cours est selon moi un objectif essentiel à atteindre au début d'un nouveau sujet. Cela permettra à l'élève de se sentir plus concerné par le contenu, et il s'investira alors d'avantage.

Afin d'illustrer cette première phase, prenons comme sujet le transfert d'énergie. Dans le cadre de ce sujet, il conviendra d'aborder des notions telles que l'énergie fournie et utile, ainsi que le rendement. Mais de telles notions ne sont à priori pas intuitives à comprendre pour l'étudiant.

Partons donc d'un cas concret pour illustrer la théorie : comment être le plus rapide pour faire bouillir de l'eau ?

Tout étudiant a déjà été confronté à ce problème, sans forcément s'en rendre compte. Il a chauffé de l'eau dans une casserole pour cuire des pâtes ou encore dans une bouilloire pour se faire un thé. Cette approche permet donc de créer une attache entre ce que l'étudiant a déjà vécu avec le contenu du cours. A partir de ce point, il est alors plus aisé d'aborder, par exemple, la notion de transfert d'énergie électrique en énergie thermique, de constater après quelques expériences simples que certains appareils, comme la bouilloire, sont plus efficaces que d'autres. La notion de rendement vient ainsi plus naturellement.

A partir de cette accroche, il est également possible d'aborder d'autres notions en rapport avec le sujet du cours. Certes, certains appareils sont plus rapides que d'autres, mais qu'en est-il du coût électrique total, par exemple ? Cela nous permet alors de sensibiliser l'étudiant avec les problèmes de ressources énergétiques que les scientifiques se posent actuellement.

Globalement, une motivation concrète par des exemples rencontrés dans le quotidien nous permet d'évoquer un grand nombre de sujets divers, qui restent néanmoins liés par un thème. Dans notre exemple, il s'agit du chauffage de l'eau.

## 2. Modélisation

A la différence des mathématiques, la physique a le grand avantage de pouvoir être illustrée par des expériences simples. Les sujets abordés dans cette dernière discipline sont souvent complexes, et un complément visuel ne peut être que des plus avantageux. Nous devrions donc, dans la mesure du possible, illustrer tout sujet par des expériences.

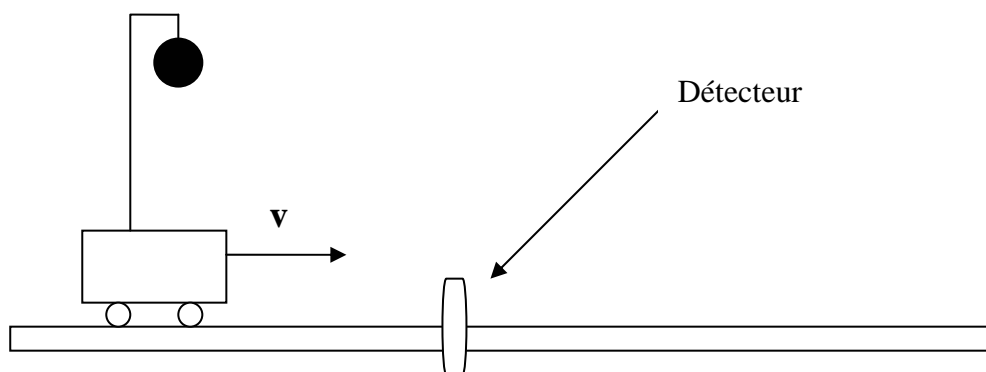
Considérons comme exemple l'étude des mouvements rectilignes, uniformes et accélérés.

Partons alors d'une situation concrète : Vous êtes assis dans un train dans le sens de la marche. Vous lancez votre natel au-dessus de votre tête. Tout étudiant aura au moins expérimenté une variante de cela, et aura constaté que le natel retombe dans ses mains. Mais pourquoi le natel ne retombe-t-il pas derrière lui ? En effet, une fois le natel lancé à la verticale, le train continue d'avancer, et nous avec. Dans la même situation, l'étudiant pourrait également constater que le natel atterrit sur le siège en face de lui. Mais comment est-ce possible ?

Ces différentes affirmations, parfois à l'encontre de la logique ou de situations vécues, devraient alors susciter chez l'étudiant diverses interrogations.

Afin d'illustrer à présent cette situation concrète, nous pouvons reproduire une expérience de Galilée. Historiquement, Galilée se demandait ce qu'il se passerait si un observateur placé en haut d'un mât sur un bateau en mouvement rectiligne uniforme lâchait ses longues-vues. Allaient-elles tomber en avant, au pied, ou bien en arrière du mât ?

Une expérience très simple peut alors être mise sur pied pour reproduire cette situation, qui est similaire à celle du train.



L'image ci-dessus illustre un chariot qui peut se déplacer en mouvement rectiligne sur un rail. Sur ce chariot est fixé un mât, en haut duquel une bille peut être accrochée. Lorsque le chariot passe par un détecteur fixé au rail, la bille est lâchée.

A ce stade, et avant de réaliser l'expérience, il convient de demander aux étudiants de faire une prédiction sur ce qu'il va se passer. Ceci permettra une nouvelle fois à l'étudiant de mieux pouvoir s'appropriier le sujet du cours, en le faisant participer. Nous pouvons ensuite faire l'expérience afin de valider ou non les différentes propositions, ce qui nous permettra d'aborder les premières notions de théories sur notre sujet.

Nous pouvons ensuite également étudier les mouvements rectilignes accélérés par la même expérience. L'accélération peut être alors créée en accrochant le chariot à un ressort, par exemple.

### 3. Simplification des mathématiques / La méthode KPK

La méthode KPK [4] est un cours de physique basé sur des analogies. Il permet de regrouper de nombreux domaines en physique et en chimie sous la même formulation. Cette formulation se base sur les diverses grandeurs extensives rencontrées dans ces derniers domaines. Cela permet alors non seulement de créer des liens entre deux disciplines, mais essentiellement de simplifier l'approche théorique. Cette approche sera toujours la même, quelque soit le sujet.

Dans un premier temps, j'exposerai le principe de base de cette méthode, centré sur les grandeurs extensives. Puis, je soulèverai les avantages d'une telle approche. Finalement, je terminerai par un exemple en thermodynamique.

#### 3.1. Les grandeurs extensives

L'idée centrale de la méthode est de débiter tout nouveau sujet de physique par une discussion autour d'une grandeur extensive.

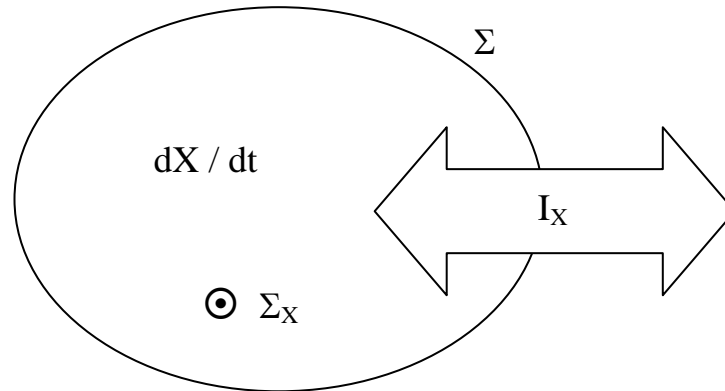
Une grandeur est extensive si la valeur de cette grandeur pour un système formé de deux sous-systèmes est égale à la somme des valeurs pour chacun des deux sous-systèmes [5]. Par exemple, la masse, l'énergie, ou encore la quantité de mouvement sont des grandeurs extensives. A l'inverse, nous trouvons les grandeurs intensives, telles que la température et la pression.

L'un des avantages de considérer une grandeur extensive est que l'on peut en parler comme d'une substance X, c'est-à-dire une certaine quantité que l'on est à même de se représenter. Cela nous permet alors d'exprimer la variation de cette substance au cours du temps dans une région donnée  $\Sigma$ . Cette variation est exprimée par l'équation de continuité de X, qui est au cœur de la méthode. Pour chaque grandeur extensive, nous pouvons l'exprimer sous la forme :

$$dX / dt = I_X + \Sigma_X, \text{ où}$$

$I_X$  représente la variation entre l'intérieur et l'extérieur de la région, c'est-à-dire un flux, et  $\Sigma_X$  la création ou l'annihilation de X à l'intérieur de la région. Cette équation de continuité peut être représentée de la manière suivante :





A noter finalement que pour certaines grandeurs extensives,  $\Sigma_X$  est toujours nul, si bien que  $X$  ne peut varier que par un flux entrant ou sortant.

Terminons par un exemple de mécanique illustrant cette équation de continuité. La grandeur extensive considérée est la quantité de mouvement totale  $\mathbf{p}$  d'un système. Dans ce cas de figure, nous retrouvons la 2e loi de Newton qui dit que la variation de quantité de mouvement totale d'un système équivaut à la force extérieure résultante  $\mathbf{F}$  agissant sur ce système

$$d\mathbf{p} / dt = \mathbf{F}.$$

Dans ce cas de figure, le correspondant de  $\Sigma_X$  est nul, car on considère un système fermé où rien n'entre ni ne sort.

### 3.2. Les avantages de la méthode KPK

Il y a plusieurs avantages à considérer une grandeur extensive comme le pilier central d'un cours de physique. Nous en avons déjà parlé brièvement dans ce chapitre, et allons discuter deux d'entre eux plus en détails ci-dessous.

Le premier avantage est d'un aspect plutôt conceptuel. Il rejoint en ce sens notre discussion faite dans le chapitre I.

Nous venons de voir ci-dessus que l'on peut parler de grandeurs extensives comme de substances. Nous employons donc un modèle, qui permet à l'étudiant de mieux se représenter un nouveau concept physique. Il est important de préciser ici que les grandeurs extensives ne sont pas des substances, mais que l'on peut en parler comme si elles en étaient. Cela simplifie alors grandement l'approche didactique, car nous pouvons utiliser un vocabulaire bien connu des étudiants pour parler d'une nouvelle quantité physique.

Reprenons l'exemple de la quantité de mouvement, qui serait une grandeur extensive à considérer pour débiter un cours de mécanique. Nous pouvons dire d'un corps qu'il *possède* une certaine quantité de mouvement, qu'elle *passse* d'un corps à un autre, qu'elle *quitte* le premier pour *arriver* au second. Un corps peut *perdre* ou *retrouver* de la quantité de mouvement suite à un choc, par exemple, elle peut *s'accumuler*, *se concentrer* dans un corps. Nous voyons donc que nous pouvons alors très facilement en parler, avec un vocabulaire connu des étudiants, bien avant le premier cours de physique sur le sujet. Ceci facilite ainsi grandement l'approche d'un nouveau sujet, autour d'une discussion faisant participer et interagir les étudiants.

A la différence, si on commence par considérer la vitesse, ce qui est généralement le cas dans cours un de mécanique, on se retrouve très vite limité pour en parler. Rappelons que la vitesse est une grandeur intensive, et cela réduit grandement les dénominations que l'on peut lui attribuer. Nous pouvons dire que la vitesse d'un corps augmente ou diminue, qu'il gagne ou perd de la vitesse, mais nous avons rapidement usé les possibilités.

Quant au second avantage, il reflète notre volonté de simplifier l'aspect mathématique de la physique. Cela satisfait ainsi l'une des trois finalités de ce travail de mémoire. En ce sens, il s'agit donc de l'avantage principal justifiant la considération de cette méthode.

L'intérêt de considérer les grandeurs extensives à la base de chaque sujet en physique, mais également en chimie, est de pouvoir créer une analogie entre ces sujets. L'approche mathématique est ainsi toujours la même, ce qui en facilite grandement la compréhension.

Rappelons que chaque grandeur extensive est rattachée à une équation de continuité. Mais cela n'est pas tout, à chacune de ces grandeurs correspond une grandeur intensive, un courant et un flux d'énergie. Le tableau ci-dessous illustre l'analogie entre l'électricité, la mécanique, la thermodynamique et la chimie, en mettant en avant ces diverses quantités physiques.

Champ scientifique	Grandeur extensive	Grandeur intensive	Courant	Flux d'énergie
Electricité	Charge électrique (Q)	Potentiel électrique	Courant électrique	$P = U \cdot I$
Mécanique	Quantité de mouvement (p)	Vitesse	Courant mécanique (= force)	$P = v \cdot F$
Thermodynamique	Entropie (S)	Température absolue	Courant d'entropie	$P = T \cdot I_S$
Chimie	Quantité de matière (n)	Potentiel chimique	Courant de matière	$P = \mu \cdot I_n$

Tableau tel que présenté dans la méthode KPK [4].

Nous voyons donc que le formalisme physique, mais également mathématique, est le même pour ces quatre domaines. Cela nous permet ainsi d'aborder ces sujets avec les mêmes pistes intuitives et d'en parler de la même manière. Cela facilite alors grandement la capacité des étudiants à comprendre et intégrer ces nouveaux sujets.

De plus, à partir de ce tableau, il est alors facile de construire les équations de continuité correspondantes aux divers sujets. La grandeur extensive correspond à  $X$  et le courant à  $I_X$ .

### 3.3. Exemple en thermodynamique

Comme nous l'avons vu précédemment, mettre une grandeur extensive au centre d'un sujet permet de décrire cette grandeur avec un large éventail de vocabulaire, déjà connu de l'étudiant avant le cours de physique. La méthode KPK va encore plus loin, elle suggère de remplacer les noms scientifiques donnés aux grandeurs extensives par des noms du langage courant, pour un premier contact avec le sujet correspondant. Ceci afin de rendre ces grandeurs encore plus faciles à comprendre et à assimiler.

En thermodynamique la méthode propose de remplacer l'entropie, qui est la grandeur extensive correspondante, par un terme du langage quotidien comme la *chaleur*. En électricité, nous pourrions parler de la grandeur extensive en terme de *quantité de charges*, par exemple.

Afin de découvrir l'efficacité de cette astuce de vocabulaire et de la méthode en général, je vous laisse découvrir en annexe une esquisse des cinq premières leçons de thermodynamique, tirée de la méthode KPK [4].

Comme vous pouvez le constater, l'approche de la méthode est essentiellement inductive. Le professeur part d'exemples simples pour en faire des généralités. De plus, amorcer les discussions à partir de la notion de chaleur facilite grandement la compréhension des élèves, ainsi que leur participation. En effet en parlant de chaleur, ils se sentent bien plus concernés, car cette notion est liée à leur quotidien. Finalement, cette méthode d'enseignement permet au professeur d'aborder un grand nombre de concepts liés à la thermodynamique, et cela tout naturellement, d'où la force de cette démarche.

A ce point, il convient de faire une remarque importante. Du point de vue de la physique, il est évident que la chaleur ne correspond pas à l'entropie, ce sont deux quantités différentes. Néanmoins, nous pouvons nous permettre d'utiliser cette correspondance en discipline fondamentale, car le sens de ces deux quantités est proche. Pour l'étudiant non

scientifique, les concepts physiques liés au mot chaleur sont plus importants que la définition précise du mot lui-même.

A l'inverse pour des étudiants scientifiques, je pense qu'il vaut mieux éviter cette correspondance, et ceci pour des raisons évidentes.

## Conclusion

La physique est une science magnifique, et il est important de susciter l'intérêt des étudiants, même non scientifiques, pour cette discipline. Avant même d'être représentée par des équations, la physique est surtout un ensemble de concepts liés à notre quotidien. Il est donc utile de les assimiler pour comprendre le monde dans le lequel on vit, et en tirer des avantages pratiques.

Afin que ce but soit possible, il faut avant tout améliorer l'idée que les étudiants non scientifiques se font de cette discipline et développer leur motivation à l'étudier. Pour cela, il est donc essentiel de se concentrer sur les concepts, de les illustrer concrètement, et de simplifier l'approche mathématique. En effet, à la suite de ses études au secondaire II, l'étudiant non scientifique n'aura pas l'utilité des équations physiques, mais uniquement de ses implications dans son quotidien.

En ce sens, ce travail de mémoire suggère un certain nombre de pistes pour réaliser ce but.

## Bibliographie

- [1] P. G. Hewitt, *Conceptual Physics*, 9th ed, Addison Wesley (2001).
- [2] F. Herrmann, *Karlsruher Physikkurs S II*, Aulis Verlag (2010).
- [3] Site web: <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index.html>.
- [4] F. Herrmann, *Le KPK – un cours de physique basé sur des analogies*, Bulletin de l'Union des Physiciens N° 870, Janvier 2005, p. 43 – 58.
- [5] C. Gruber, W. Benoit, *Mécanique Générale*, PPUR (1998).

## Annexe

Esquisse des cinq premières leçons de thermodynamique du KPK :

Dans ce qui suit, nous allons esquisser les cinq premières leçons de thermodynamique du KPK. Nous avons choisi la forme d'un dialogue entre le professeur et « les » élèves. Ce cours a été donné un grand nombre de fois par beaucoup de professeurs et par l'auteur lui-même. Le dialogue que nous reproduisons doit être compris comme un dialogue moyen : des questions typiques et des réponses typiques. En plus, les réponses ou remarques de « l'élève » ne sont pas les mots d'un seul élève, mais ils viennent de plusieurs ou, dans le cas idéal, de tous les élèves de la classe. Il est évident aussi, que nous avons dû raccourcir ou comprimer cette discussion entre le professeur et la classe, le facteur de compression étant à peu près 4. Nous reproduisons aussi ce que le professeur pourrait écrire au tableau, mais non pas de manière complète.

### *Première leçon*

Professeur : Aujourd'hui, nous allons commencer un nouveau sujet : la thermodynamique. Elle traite de la chaleur, du chaud et froid d'un objet. Vous savez qu'en physique, on se sert des grandeurs physiques, c'est-à-dire qu'on décrit le monde quantitativement. Vous connaissez déjà une grandeur avec laquelle on peut décrire le chaud et le froid.

Élève : La température.

Professeur : Juste.

*On introduit le symbole et l'unité de mesure, pour le moment les degrés Celsius.*

Mais avec une seule grandeur on ne peut pas encore faire de la physique. La physique établit des relations entre les diverses grandeurs. Il nous faut donc une autre grandeur pour décrire le chaud et le froid. Et cette grandeur-là, vous la connaissez aussi. Elle nous dit, combien de chaleur est contenue dans un corps, c'est donc la quantité de chaleur. Une bouillotte par exemple, contient beaucoup de chaleur, pourvue que l'eau dans la bouillotte soit chaude. C'est ça notre deuxième grandeur.

Mais vous savez que les physiciens donnent souvent des noms particuliers à leurs grandeurs - pour qu'il n'y ait pas de confusion avec autre chose. La chaleur dont nous venons de parler s'appelle en physique *entropie*.

Nous l'abrégeons par le symbole «  $S$  », l'unité de mesure est le « Carnot », abrégé « Ct ». Pour se faire une idée de la valeur d'un Carnot, je vous dis déjà maintenant, que 1 cm<sup>3</sup> d'eau, à température normale contient à peu près 4 Ct.

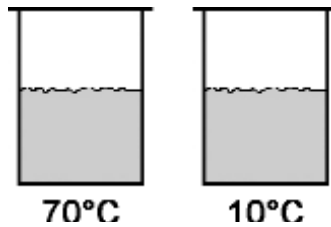
On va voir si vous avez compris. Je vais poser des questions, et dans toutes mes questions il y a le mot « entropie ». Chaque fois que je dis « entropie », vous pensez simplement : « chaleur ».

Alors, ici j'ai de l'eau froide (*cf.* figure 1), la température est de 10°, et ici j'ai de l'eau chaude, à 70°. La quantité d'eau est la même. Dans lequel des deux récipients y a-t-il plus d'entropie ?

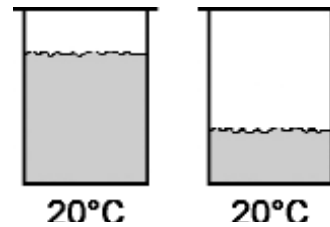
Élève : Dans celui de gauche, là où il y a l'eau chaude.

Professeur : Maintenant, on fait autre chose : il y a encore deux récipients, mais cette fois-ci, les températures sont les mêmes, mais il y a plus d'eau dans l'un des deux (cf. figure 2). Dans lequel il y a plus d'entropie ?

Élève : Dans celui de gauche, là où il y a plus d'eau.



**Figure 1** : Il y a plus d'entropie dans le récipient avec l'eau chaude.



**Figure 2** : Il y a plus d'entropie dans le récipient qui contient plus d'eau.

Professeur : Nous avons donc la règle :  
Un corps contient d'autant plus d'entropie :  
– que sa température est plus élevée ;  
– qu'il est plus « grand ».

Maintenant, imaginons que dans cette eau (il montre un verre plein d'eau) il y a 12 Ct. Je vais verser un tiers de cette eau dans un autre récipient. Combien de Carnot y a-t-il dans celui-ci ?

Élève : Quatre Carnot.

Professeur : Et où sont restés les huit autres ?

Élève : Dans l'autre récipient.

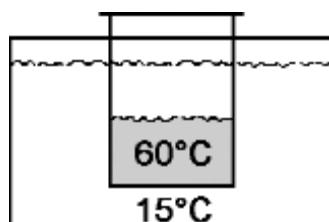
Professeur : Oui, juste.

(Ces exercices sont importants, pour mettre en évidence le caractère extensif de l'entropie, et la distinguer de la température.).

## Deuxième leçon

Professeur : Je plonge un verre avec de l'eau chaude dans de l'eau froide (cf. figure 3). Que se passe-t-il ?

Élève : La température de l'eau dans le récipient intérieur diminue, celle de l'eau à l'extérieur augmente.



**Figure 3** : L'entropie va spontanément de l'eau plus chaude vers l'eau plus froide.



Professeur : Vous pouvez m'expliquer pourquoi ? Je rappelle : quand je demande une explication, il faut me dire, ce qui se passe avec l'entropie.

Élève : L'entropie va de l'intérieur à l'extérieur.

Professeur : Nous avons donc la règle : « L'entropie va toujours de l'intérieur à l'extérieur » ?

Élève : Mais non ! Elle va du chaud au froid.

Professeur : Juste : l'entropie va toute seule ou spontanément du corps le plus chaud au corps le plus froid. Lors de ce processus, le corps le plus chaud se refroidit, et le plus froid se réchauffe. La différence de températures diminue. Quand elle a disparu totalement, le flux de l'entropie s'arrête. L'état que nous avons alors atteint, s'appelle équilibre thermique.

On peut aussi dire, qu'une différence de température est une espèce de « force motrice » pour un courant d'entropie.

(Au tableau : « L'entropie va spontanément d'un corps plus chaud à un corps plus froid ».).

### **Troisième leçon**

Professeur : On a vu que l'entropie va toute seule du chaud au froid. Elle descend la pente de la température. Alors, souvent, on voudrait que l'entropie aille dans le sens opposé, on veut qu'elle monte la pente, du froid au chaud. Comment on peut faire ? Vous n'avez pas l'air d'avoir une idée. Pourtant, c'est un problème pas tout à fait inconnu : vous savez que l'air va tout seul de la pression plus haute à une pression plus basse. L'air sort du pneu, s'il y a un trou, il n'entre pas. Qu'est-ce qu'on fait si on veut qu'il entre dans le pneu ?

Élève : On se sert d'une pompe.

Professeur : Juste, on le force, au moyen d'une pompe à air. La pompe le pousse vers l'intérieur, contre la tendance naturelle, qui va de l'intérieur à l'extérieur. Si on veut que l'entropie aille du froid au chaud, on doit également la forcer. Et même si vous ne savez pas comment on le fait, peut-être vous pouvez me dire comment devrait s'appeler l'engin avec lequel on le fait.

Élève : Il devrait s'appeler « pompe à entropie ».

Professeur : Vous savez, que vous avez tous une pompe à entropie dans votre maison ?  
(Après une discussion prolongée.).

Élève : Oui, dans le frigo.

Professeur : C'est ça. D'ailleurs, le nom technique de la pompe à entropie est « pompe à chaleur ».

(Le professeur traîne un frigo authentique de la salle de préparation à la salle de classe. Les élèves cherchent et trouvent l'entrée et la sortie pour l'entropie. On discute d'autres applications des pompes à chaleur.).

(Au tableau : « Une pompe à chaleur transfère l'entropie d'un endroit plus froid à un endroit plus chaud ».).

## ***Quatrième leçon***

Professeur : Ici, j'ai une brique. Combien d'entropie contient la brique ? Combien je peux en extraire ?

Élève : *(Pas de réponse).*

Professeur : Avez-vous remarqué au moins que je viens de poser deux questions ?

Élève : Eh bien non. Ce n'était pas qu'une seule ?

Professeur : Je répète : combien d'entropie contient la brique ? Combien je peux en extraire ?

Élève : Mais c'est la même chose. S'il y a une certaine quantité dedans, je peux extraire cette même quantité. Si une bouteille contient un litre d'eau-de-vie, je peux en boire un litre.

Professeur : Dans ce cas-là, tu as raison. Mais je connais des situations où je peux faire sortir plus d'un système que ce qu'il y a dedans.

Élève : Ah oui ! Mon compte en banque. Je viens de le mettre à découvert. Alors, j'ai touché plus d'argent que ce qu'il y avait sur le compte.

Professeur : Et voilà ! Sur ton compte, il y a maintenant de l'argent négatif. Mais peut-être pouvez-vous me donner des exemples qui viennent plus du domaine de la physique.

*(Les élèves proposent la charge électrique et la quantité de mouvement. On discute ces exemples.)*

Professeur : Revenons maintenant sur l'entropie. Vous voyez que c'était effectivement deux questions différentes, que j'avais posées. Mais quelles sont les réponses ?

*(Les élèves ne le savent pas.)*

Comment pourrait-on trouver la réponse ?

Élève : On devrait l'essayer.

Professeur : Et comment ?

Élève : On extrait de l'entropie avec une pompe à chaleur, et on verra.

Professeur : Très bien, c'est ce qu'il faudrait faire. Malheureusement, avec les moyens dont nous disposons, nous ne pouvons pas le faire ici dans la salle de classe. La pompe à chaleur dont on aurait besoin serait bien trop chère.

Mais je vais vous raconter comment les chercheurs physiciens ont trouvé la réponse dans le passé. Ils ont essayé avec tous les moyens d'atteindre des températures de plus en plus basses en construisant des pompes à chaleur toujours mieux, plus efficaces et plus chères que les précédentes. De cette manière, on atteignait des températures de plus en plus basses, jusqu'à arriver à liquéfier l'air, l'hydrogène et, finalement l'hélium. Mais les chercheurs ont dû se rendre compte, que bien que leurs pompes à chaleur étaient objectivement plus performantes que les précédentes, il devenait de plus en plus difficile d'atteindre des températures plus basses et on n'arrivait pas à des températures au-dessous de  $-273\text{ °C}$ . Vous pouvez m'expliquer la raison ?

Élève : Il n'y avait plus rien à pomper.

Professeur : Alors, si on avait employé la pompe pour sortir de l'entropie de notre brique ?

Élève : Il n'y aurait plus d'entropie dans la brique.

Professeur : Exact. Alors, on peut en déduire que, à  $-273\text{ °C}$ , un corps quelconque ne contient plus d'entropie. Et en plus : puisqu'on ne peut pas baisser la température au-dessous de moins  $273\text{ °C}$ , il ne peut pas exister de l'entropie négative.

*(On discute qu'il est logique de prendre cette température minimum comme nouvelle origine de l'échelle de la température et on introduit la température absolue.)*

*(Au tableau : « La température la plus basse qu'un corps peut atteindre est de  $-273,15\text{ °C}$ . À cette température il ne contient plus d'entropie ».)*

## **Cinquième leçon**

Professeur : On veut chauffer une pièce. Nous savons, ce que ça signifie : on doit s'efforcer d'augmenter le contenu d'entropie de la pièce. Comment peut-on faire ?

Élève : Allumer le chauffage.

Professeur : Et comment fonctionne le chauffage ?

*(On discute le fonctionnement du chauffage central.)*

D'où vient donc l'entropie qui sort des radiateurs ?

Élève : De l'eau qui passe par le radiateur.

Professeur : Et comment est-elle arrivée à l'eau ?

Élève : Dans la chaudière.

Professeur : Et d'où vient-elle dans la chaudière ?

Élève : De la flamme.

Professeur : Et comment est-elle entrée dans la flamme ?

Élève : Elle n'est pas entrée dans la flamme, elle y a été produite.

*(Dans cette partie du dialogue, on se rend compte que les élèves ont la préconception correcte, que l'entropie - la « chaleur » du langage courant - est créée dans une flamme.)*

Professeur : Juste. Alors, on aurait pu chauffer la pièce d'une autre manière, avec un chauffage électrique par exemple.

*(On trouve que, dans ce cas, l'entropie vient de la résistante chauffante dans le radiateur électrique. Finalement, on discute de la création d'entropie par frottement mécanique.)*

Professeur : Maintenant un autre problème : on ne veut pas chauffer quelque chose, mais refroidir. Par exemple, j'ai un verre de thé et il est trop chaud, il contient trop d'entropie. Je veux qu'il soit plus froid. Qu'est-ce que je peux faire ?

Élève : Il faut attendre.

Professeur : Oui. Et que se passe-t-il alors avec l'entropie ?

Élève : Elle va dans les environs, dans la pièce.

Professeur : Mais la pièce ne devient pas plus chaude.

Élève : Si, elle devient plus chaude. Mais on ne s'en rend pas compte, parce qu'elle est si grande et le verre avec le thé est si petit.

Professeur : Peut-on refroidir le thé encore d'une autre manière ?

Élève : On pourrait le mettre au frigo.

Professeur : Et dans ce cas-là, où va l'entropie ?

Élève : Elle sort par derrière.

*(Le professeur a essayé d'amener les élèves sur une fausse piste, mais il n'y est pas arrivé. Il devient donc plus direct.)*

Professeur : Vous m'avez dit, qu'on peut produire de l'entropie. C'est-à-dire, il y a de l'entropie qui est générée et qui ne vient pas d'un autre endroit. Ne pourrions-nous pas nous débarrasser de l'entropie de manière analogue : la faire disparaître pour de bon. Avec les deux possibilités pour refroidir le thé, que vous avez proposées, l'entropie qu'on enlève du thé apparaît ensuite à un autre endroit.

Élève : Non, ça ne va pas.

Professeur : Et pourquoi ?

Élève : Parce que.

*(Dans cette partie du dialogue se manifeste que les élèves, comme d'ailleurs n'importe quelle personne sans instruction scientifique, ont une idée assez claire du deuxième principe de la thermodynamique, et ceci dû à leurs expériences quotidiennes.)*

Professeur : Nous venons de découvrir une loi, qui est considérée comme une des lois les plus fondamentales de la science. Elle dit que l'entropie peut être produite, mais non pas anéantie.

*(Pour le moment, les élèves ne trouvent pas ce résultat très excitant.)*

Les chercheurs avaient trouvé cette loi tout à fait inouïe. Ils ont tout essayé pour montrer qu'elle n'est pas juste.

*(C'est seulement maintenant que les élèves commencent à réfléchir.)*

Élève : Ah oui, si c'est vrai, l'entropie de la terre devrait augmenter de plus en plus. C'est l'effet de serre !

*(On discute de l'effet de serre et on trouve qu'il n'a rien avoir avec la production de l'entropie. On se trouve plutôt devant un problème de la cosmologie moderne.)*

Professeur : La loi est aussi intéressante, parce qu'elle nous dit que le temps ne peut pas aller à l'envers. Si, dans un processus, de l'entropie est créée, ce processus ne peut pas aller à

l'envers, parce que cela signifierait que l'entropie est anéantie, ce qui n'est pas permis selon notre loi.

*(On donne des exemples de processus réversibles et de processus irréversibles.).*

*(Au tableau :*

*« De l'entropie se produit :*

*– lors d'une réaction chimique ;*

*– dans un fil qui est parcouru par un courant électrique ;*

*– par frottement mécanique ».*

*« L'entropie peut être produite, mais non pas anéantie ».*

*« Un processus dans lequel de l'entropie est produite, est irréversible ».).*

## Résumé

Ce mémoire présente une approche pédagogique pour l'enseignement de la physique au secondaire II, destinée principalement à des étudiants non scientifiques.

Avant d'arriver au secondaire II, les nouveaux étudiants orientés dans une filiale non scientifique ont souvent un préavis négatif vis-à-vis de la physique, comme cours très difficile voire inaccessible, sans utilité ni sens, nécessitant beaucoup de mathématiques. Il est temps que cette mauvaise réputation change. Selon mon expérience et des discussions avec mes collègues physiciens, le professeur enseignant la physique à des étudiants non scientifiques devrait faire particulièrement attention à mettre l'accent sur trois points fondamentaux dans son cours.

Tout d'abord, il est nécessaire que l'étudiant trouve un sens au cours qu'il suit. Il faut pour cela motiver l'intérêt de l'étude de théories physiques par des cas concrets. Cas concrets qu'il est susceptible de rencontrer dans la vie de tous les jours, afin qu'il ne soit pas amené à se poser la question « Mais enfin, à quoi tout cela sert ? ».

Ensuite, il est important d'illustrer le cours avec des expériences représentatives de la réalité. L'étudiant doit comprendre que la physique est avant tout une science qui peut être utile dans notre quotidien, qu'elle nous permet de comprendre les phénomènes qui nous entourent et que l'on peut y tirer des avantages pratiques. Cette approche expérimentale, qui devrait précéder toute théorie, offrira à l'étudiant une meilleure représentation du sujet.

Finalement, il faut mettre l'accent sur une simplification notable de l'utilisation des mathématiques, ce qui est probablement le plus grand défi du professeur de physique. Pour cela, je propose donc de considérer un nouveau cours de physique « Der Karlsruher Physikkurs ». Ce cours, développé à l'Université de Karlsruhe en Allemagne et destiné à des étudiants du secondaire II, a déjà fait ses preuves depuis plus de 15 ans.

**Enseignement – Pédagogie – Physique – Discipline fondamentale – Secondaire II – KPK**