



**I.R.E.M DE ROUEN**

*Institut de Recherche sur l'Enseignement  
des Mathématiques*

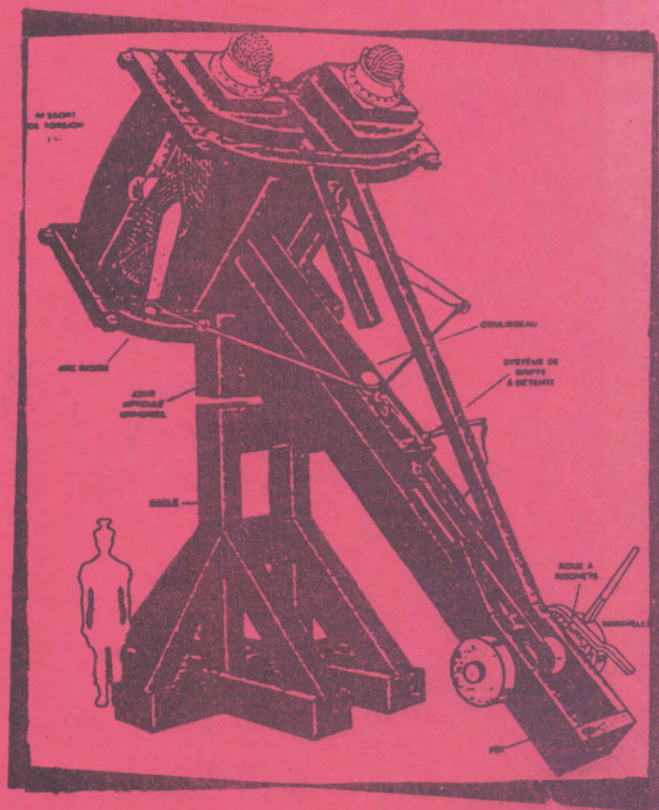
1, rue Thomas Becket  
76130 Mont Saint Aignan  
Tel : 35 70 42 73

*i.r.e.m.*

*i.n.r.p.*

**GROUPE PHYSIQUE**

RESOLUTION DE PROBLEMES  
INFORMATIQUE - ORDINATEUR OUTIL DE LABORATOIRE  
HISTOIRE DES SCIENCES  
COMPTE RENDU DE CONFERENCES



Année 85/86

Organisation : S.Provost

© IREM, 1987

I.S.B.N. 2-86239-004-6

Ce fascicule est disponible à l'I.R.E.M. moyennant la somme forfaitaire de 30F.

Ce groupe de recherche, maintenant autonome à l'intérieur de l'I.R.E.M., est ouvert à tout collègue intéressé à une réflexion sur l'enseignement de la physique et à son évolution. L'appui financier de l'I.R.E.M. permet la publication annuelle des travaux des collègues et permet aussi d'inviter des conférenciers du Supérieur, du C.N.A.M. ...et hors académie, rompant ainsi le cercle fermé des lycées et collèges.

Adresser toute demande de renseignements à I.R.E.M. groupe physique.

1 rue Thomas Becket  
76130 Mont Saint Aignan  
Tel : 35.70.42.73

## Contenu du fascicule

- I) Conférence de Mme Carré : - Résolution de problème - Affiche - Plan  
- Projet "Prophy". INRP - Compte rendu

Groupe I : Mme Chaumat . M. Levelut . Mme Rouleau  
Groupe II : Mme Schlienger . Mme Etasse . Mme Provost  
Groupe III : M. Espagnet . Mme Lecoq . Mme Guilloux

- II) Conférence de Bruxelles

Symposium International sur l'Enseignement de la Physique  
11-13 Nov 1985 à l'Université de Bruxelles

- III) Compte rendu de l'utilisation de l'informatique - Affiche : C.Rellier

- a) "Valise" du CNAM (Lycées J.D'Arc - Elbeuf - Les Bruyères - Vernon)  
b) Un exemple de travail en 2e - Option Informatique - : Mme Etasse

- IV) Histoire des sciences - Affiche : M.Buschinger

- a) Compte rendu de la conférence de M.Buschinger :  
La mécanique E.MACH (1883)  
b) Recueil de rapports sur les progrès des Lettres et des  
Sciences en France : exposé de la situation de la  
mécanique appliquée par MM COMBES, PHILLIPS et  
COLLIGNON (1867)  
c) Distribution aux collègues qui le désirent, une photo-  
copie du Traité de la Lumière de HUYGENS - Copie  
obtenue par M.Plane de l'I.R.E.M. de Dijon



Mercredi 2 octobre 1985

9h 12h I.R.E.M  
14h 17h

1 rue Thomas Becket  
76130 Mont Saint Aignan  
Tel : 35.70.42.73

Conférence **Mme A. CARRE**  
(L.I.R.E.S.P Paris VII Université)

**Le matin**

I - La résolution de problèmes

- Théorie de base
- Travaux des psychologues
- Travaux des physiciens
- Concepts généraux

II - Projet "Prophy"

Projet sur 4 ans avec l'INRP (travail depuis 2 ans).  
La résolution de problèmes en classe de 2e et 1ère  
(mise en place).

**L'après midi**

III - Relation entre résolution de problème et évaluation

Travaux du groupe chapham (1979)

IV - Discussion avec les collègues

## RESUME DE LA CONFERENCE DE Mme A. CARRE

---

### 1° La Résolution de problème

---

Le Laboratoire de G. Delacôte -IRESPT de Paris VII- a été chargé d'expérimenter le travail de la commission LAGARIGUE. Il en est resté un laboratoire universitaire de recherche en didactique de la physique.

Actuellement il existe deux voies de recherche : celle de la résolution de problème et celle du groupe CHAPHAM, chacune fonctionnant avec 2 chercheurs et des collègues de l'enseignement secondaire soit bénévolement, soit avec des heures supplémentaires.

#### a) Travaux des psychologues

Ils datent des années 1930. Seule l'action intellectuelle, sa reconstruction, sans faire appel aux contenus des matières, rendaient compte du modèle à cette époque, de l'intelligence humaine. Pour les Allemands, l'intelligence dépend de la théorie de la connaissance, alors que les Américains ont cru au behaviourisme (la récompense crée le renforcement, la sanction le recul). Le vocabulaire utilisé est semblable à celui de l'informatique, du traitement de l'information et rend compte du fonctionnement en surface du cerveau.

Transparent T<sub>1</sub> -> La mémoire à court terme a une capacité limitée (5 à 7 items d'information à un instant donné). Elle s'efface très vite, mais elle contrôle l'activité.

La mémoire à long terme aurait une capacité infinie, serait inéfaçable. Elle transforme l'information au moment du stockage contrairement à l'ordinateur, la récupération des informations, n'est pas immédiate car il peut y avoir des blocages.

La connaissance est organisée. Il faut un bon réseau, un bon rangement. Actuellement c'est la théorie du constructivisme qui a lieu. L'enseignant crée le contexte pour que la "bouteille" se remplisse elle-même. Il faut insister sur les relations entre les connaissances et donc savoir ce qu'ils ont dans la tête, quel est le réseau déjà existant (E. SALTIEL). Pour décrire cette organisation, on cherche des modèles avec des réseaux et schémas de connaissances pour la physique, des structures de données qui représentent des situations stéréotypées (caractères communs).

L'apprentissage consisterait à confronter les schémas nouveaux aux schémas de connaissances des élèves, mais de telle sorte que les différences entre ces schémas ne soient pas trop importantes.

Mais ceci c'est de la psychologie et non de la didactique de la physique. En physique c'est plus compliqué que ce que propose l'américain Norman dans le Transparent . T2

#### b) Travaux des physiciens

Il y a un problème de contenu -c'est donc plus complexe- il faut la compréhension des concepts avec en plus les procédures des psychologues.

L'analyse est moins fine car c'est plus difficile.

Les domaines de travail sont : - la mécanique (+ structuré)  
- l'électrocinétique (R.F.A., Libanais)  
- la thermodynamique (Hollande)

L'américain Rief depuis 10 ans, travaille sur la résolution de problème. Il a constitué 4 étapes : énoncé du problème, bases de connaissances pour se représenter le problème et en extraire les stratégies . L'expert construit tout globalement, l'élève construit partiellement. Pour avoir une représentation correcte du problème, il faut avoir bien maitrisé la phrase critique de la partie qualitative

T3 -> 4 phases

T4 -> Traduction - compréhension - Planification - exécution

Les élèves ne font que l'exécution .

Les hollandais sont plus pragmatiques : ils travaillent par les formules à partir de ce que font les élèves.

Equation clé du domaine, plan du chemin à suivre et pas de représentation.

2° Projet "prophy"

R-C-P- (Recherche Commune sur Programme) et INRP.

Il y a 7 groupes qui travaillent sur la résolution de problème en physique, en mathématique.

L'idée est de décrire ce qui se passe ; le postulat de base est qu'une bonne représentation globale qualitative, est indispensable pour planifier, avoir un guide pour la résolution.

T<sub>5</sub>, T<sub>5'</sub>, T<sub>5''</sub>, T<sub>5'''</sub> → consignes à donner aux élèves pour le théorème de l'énergie cinétique avec 3 niveaux I) Analyse de l'énoncé II) Analyse préliminaire III) Analyse du but IV) Evaluation de la solution. et un tableau "Actions mécaniques - Travaux"

Ils ont fait 4 guides -un en statistique- un sur la quantité de mouvement- un sur le théorème de l'énergie cinétique- un sur la conservation de l'énergie mécanique. Le guide pour les problèmes de statique n'est pas terminé les résultats sont les suivants:

Pas de différences pour les problèmes faciles, différences notables pour les problèmes difficiles.

T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub> → résultats.

### 3° Relation entre la résolution de problème et l'évaluation

---

L'évaluation donne un sens au travail -voir les grilles dans les fascicules vert, bleu.

Vocabulaire : Savoirs déclaratifs (concept, connaissance, formule...)

Savoirs procéduraux (actions intellectuelles)  
Savoir "faire" : algorithme.

Les grilles d'évaluation permettent de repérer précisément les erreurs et de catégorier ces erreurs.

SR : sans réponse ; F : faux ; J : juste

M.R.E. (questions sur les Méthodes et Raisonnements Expérimentaux).

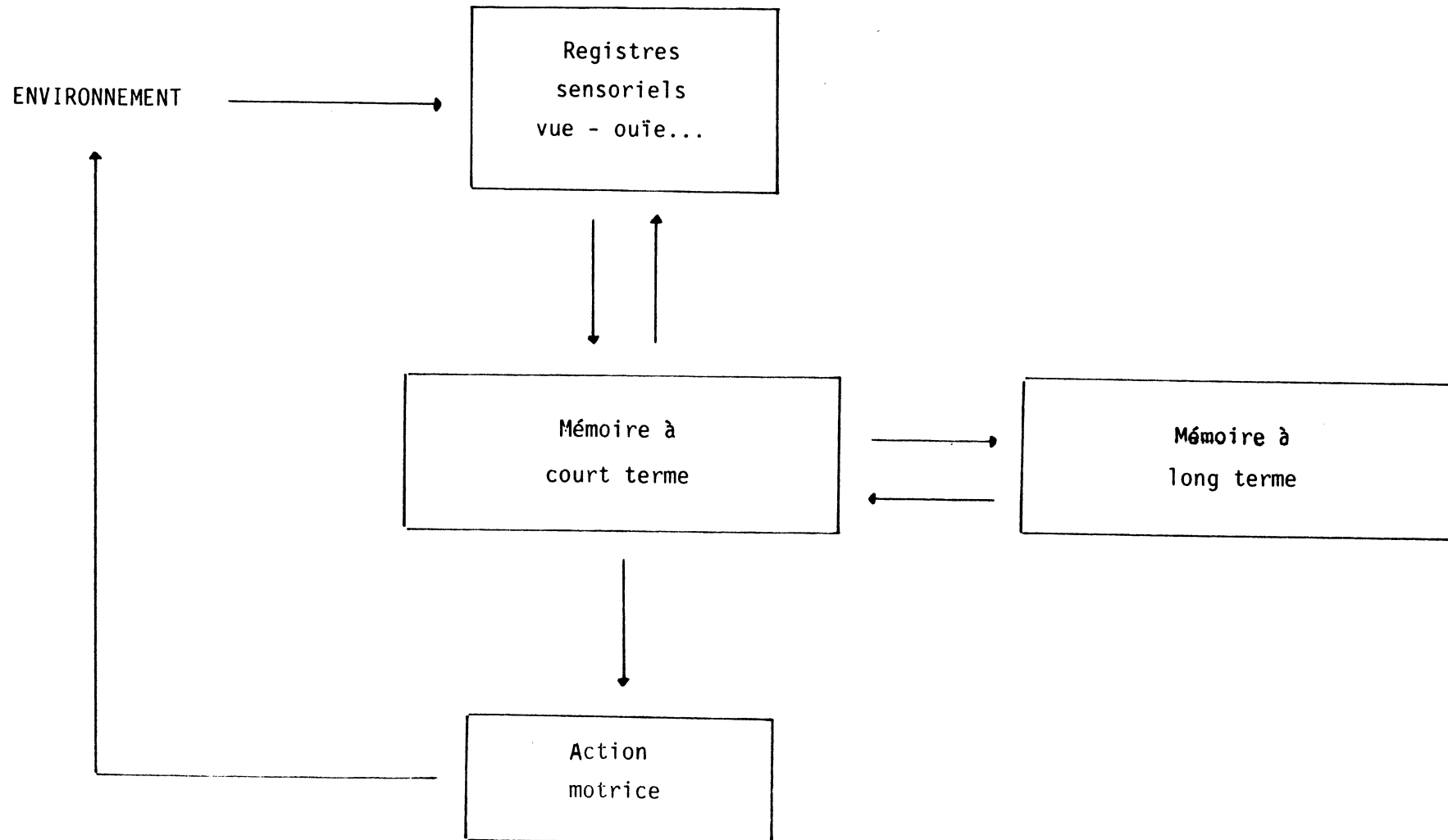
En physique, En chimie, fascicule vert - CHAPHAM 80-82 - 60F

Q.R.C. et L.C.T (Questions à Réponses Courtes) et (Lecture Critique de Texte) fascicule bleu CHAPHAM 82-84 50F à l'adresse :

LIRESP Université Paris VII Tours 23 5è étage  
2, Place Jusieu  
75251 Paris cedex 05

N.B "Les transparents" T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>5'</sub>, T<sub>5''</sub>, T<sub>5'''</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub> sont regroupés en annexes à la fin de ce compte rendu.



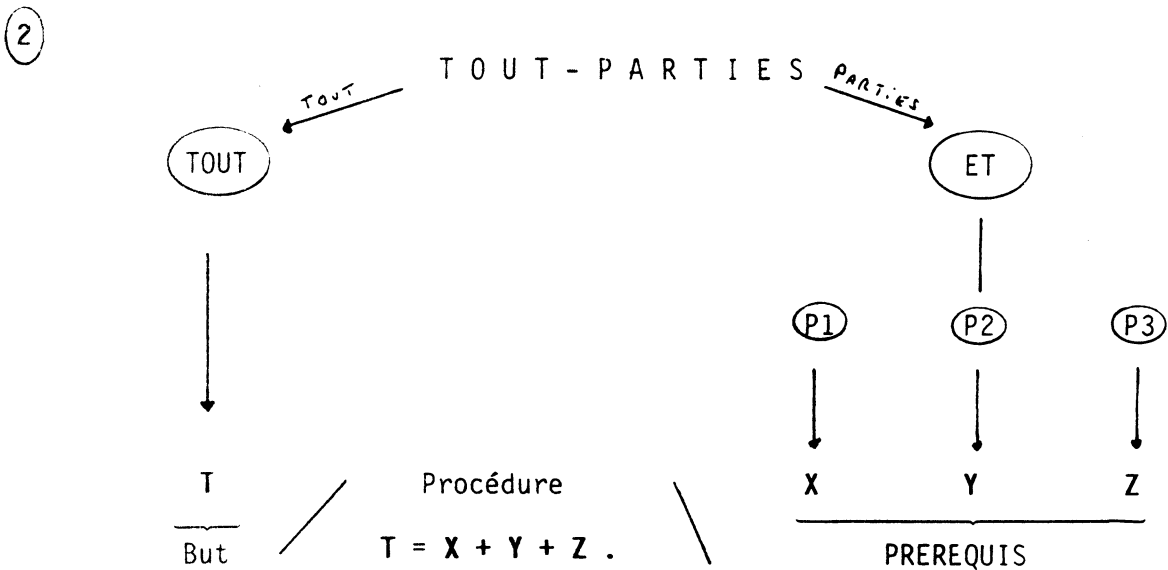
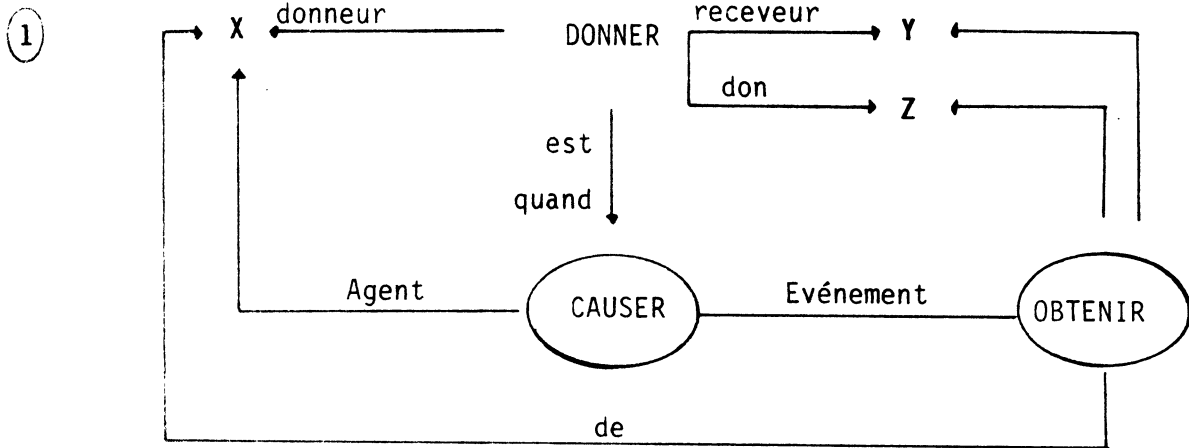


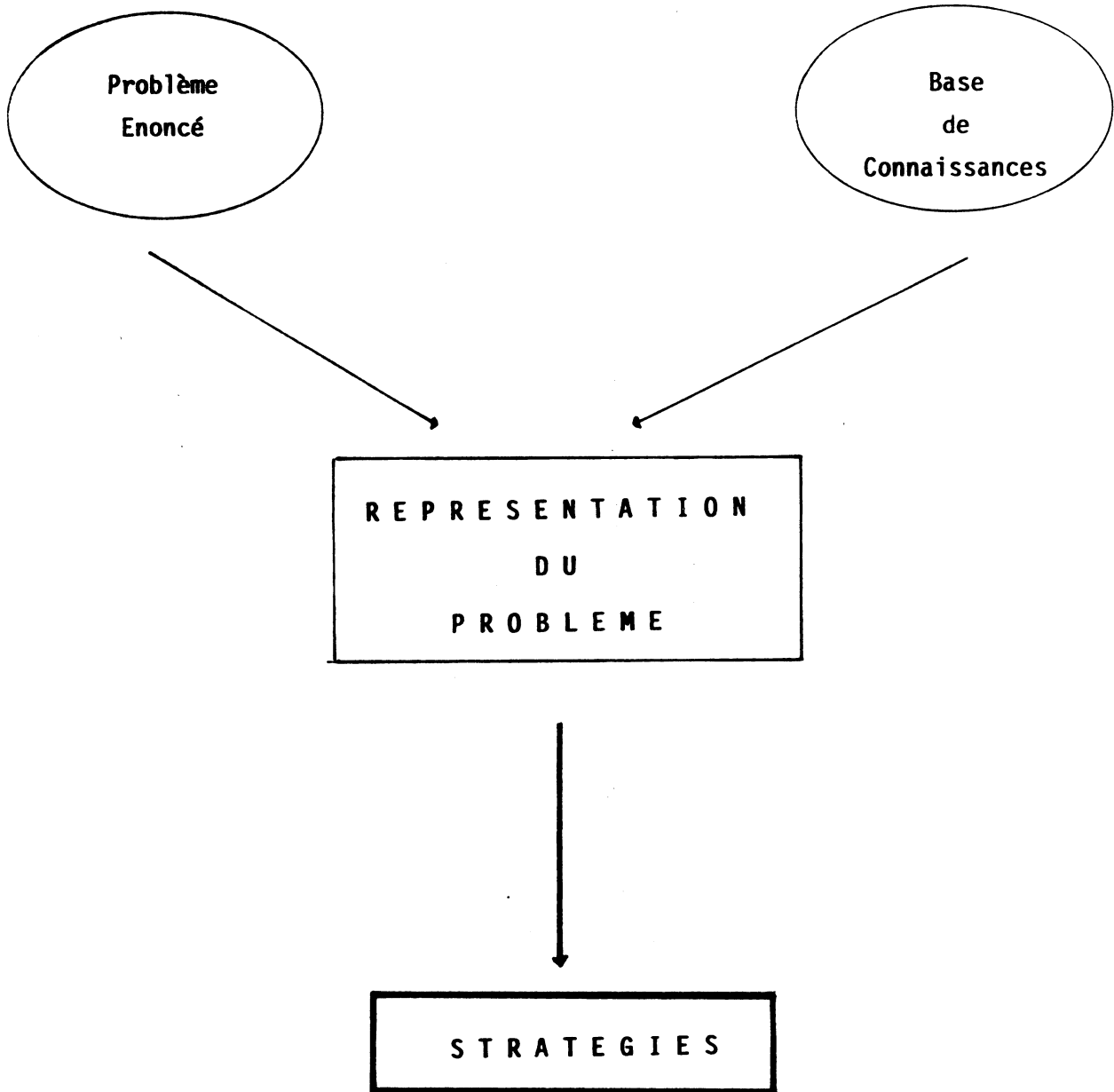
S C H E M A

Caractéristiques

- a des variables
- peut être emboîté dans un autre schéma (sous-schémas)
- représente le savoir à tous les niveaux d'abstraction

EXEMPLES









Cette analyse sert à :

- comprendre l'énoncé
- reconnaître la structure du problème (il y a, ou non, des questions indépendantes)
- reconnaître le type de problème (il y a éventuellement des questions portant sur des situations statiques).

Dans cette analyse, on s'intéresse à l'**ENSEMBLE DU DISPOSITIF**. Cette analyse a pour but :

- visualiser l'évolution
- analyser et représenter symboliquement les positions des différents objets et leurs liaisons
- organiser les données du problème
- préparer le choix du système étudié et l'analyse des actions qu'il subit.

Ce guide constitue une aide pour :

- \* Rechercher et organiser de façon structurée les informations nécessaires à la résolution du problème.
- \* Faire les choix nécessaires à la résolution

## I - ANALYSE DE L'ENONCE

I.1 - Lire l'énoncé en entier

I.2 - L'énoncé décrit :

- a) une seule évolution : faire l'analyse préliminaire de l'ensemble
- b) plusieurs évolutions totalement indépendantes les unes des autres : faire pour chacune une analyse préliminaire.

## II - ANALYSE PRELIMINAIRE

II.1- **FAIRE LA LISTE DES INSTANTS** caractéristiques ou particuliers  
**ATTRIBUER UN SYMBOLE** à chacun d'eux  
**IDENTIFIER** les différentes **PHASES** .

II.2- **FAIRE LE FILM DE L'EVOLUTION**

- \* Représenter les positions des objets sur un même schéma (ou sur plusieurs schémas différents si la clarté du dessin l'exige),
  - aux instants caractéristiques ou particuliers,
  - à des instants courants.
- \* Pour chaque image ainsi obtenue, **NOTER** en les **SYMBOLISANT** les **DONNEES** correspondantes et éventuellement la (les) **DEMANDE(s)** correspondante(s)

II.3- **ELIMINER LES IMAGES DU FILM NON INDISPENSABLES A LA RESOLUTION**

si à une image il ne correspond aucune donnée spécifique, ni aucune demande, elle est à éliminer.

II.4- Faire le **DIAGRAMME OBJET-INTERACTIONS** pour chaque phase retenue.

II.5- Noter la **NATURE DU MOUVEMENT** de chaque **SOLIDE** pour chaque **PHASE** retenue.

Cette analyse a pour but de :

- identifier les grandeurs cherchées ainsi que les objets et les instants concernés.
- recentrer la demande par rapport au théorème de l'énergie cinétique, de façon à faciliter les choix qui seront fait dans la suite.

Cette description a pour but de :

- faire les choix indispensables à l'application du théorème.
- réduire l'analyse, compte tenu de ces choix, au **SEUL SYSTEME ETUDIE**.
- compléter cette analyse, en termes d'actions mécaniques, qui sont les grandeurs physiques qui interviennent dans les calculs des travaux.

### III - ANALYSE DU BUT, QUESTION PAR QUESTION.

- III.1 - **NOMMER** la(les) **GRANDEUR(S) CHERCHEE(S)** ou les grandeurs que l'on doit relier entre elles.  
La (les) **SYMBOLISER**  
Noter à quel(s) instant(s) ou à quelle(s) phase(s), elle(s) se rapporte(nt).
- III.2 - **ENONCER LE THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE.**  
Si la (les) grandeur(s) cherchée(s) n'est (ne sont) pas un travail ou une énergie cinétique, **TRADUIRE LA DEMANDE**, à l'aide d'une grandeur intervenant dans le théorème de l'énergie cinétique.
- III.3 - **NOTER** (si possible) **L'OBJET** auquel se rapporte la demande après traduction.

### IV - DESCRIPTION PHYSIQUE

- IV.1 - **CHOISIR LE SYSTEME A ETUDIER.** Le **NOMMER** et **L'ENTOURER** sur les diagrammes **OBJET-INTERACTIONS**.  
Ce système doit être un solide auquel se rapporte la grandeur cherchée (après traduction de la demande). Il doit être en interaction avec au moins un autre système.
- IV.2 - **CHOISIR** et noter **LES DEUX INSTANTS** entre lesquels on appliquera le théorème de l'énergie cinétique.
- IV.3 - Pour chaque phase intervenant entre les deux instants choisir, faire le **BILAN DES ACTIONS MECANIQUES** agissant sur le système. On s'aidera du (des) diagramme(s) **OBJET-INTERACTIONS**.  
Ces actions sont représentées sur un **SCHEMA** du **SYSTEME** à un instant courant et leurs caractéristiques seront notées dans la première partie du tableau "actions mécaniques - travaux".

Tout au long de la résolution et plus particulièrement avant d'aborder la mise en équation, il convient de faire des **VERIFICATIONS**. Il faut, par exemple, comparer, en relisant l'énoncé, les informations de l'énoncé et celles utilisées au cours des différentes étapes, afin de s'assurer que l'on n'a rien oublié, ou inversement, rien ajouté.

Cette étape a pour but d'exprimer des grandeurs physiques, utiles à l'application du théorème, à partir des données du problème.

### V - MISE EN EQUATION - RESOLUTION

- V.1 - Exprimer le travail de chacune des actions en utilisant la seconde partie du tableau "actions mécaniques - travaux".

- Pour chaque action, en considérant le mouvement du système, chercher qualitativement si son travail est moteur, résistant ou nul. Le noter dans le tableau et vérifier la comptabilité avec l'expression de ce travail.

Exprimer la somme des travaux.

V.2 - Exprimer la variation de l'énergie cinétique du système entre les deux instants choisis.

V.3 - Exprimer le théorème de l'énergie cinétique.  
Noter d'éventuelles relations tirées de l'énoncé.

V.4 - Résoudre littéralement.

Remarque : S'il y a trop d'inconnues pour que l'on puisse immédiatement résoudre, il faut :

- utiliser des relations de définition,
- utiliser des relations traduisant certaines propriétés du dispositif,
- traiter un "sous-problème" qui permet de déterminer une des grandeurs inconnues (éventuellement avec un autre système et/ou un autre principe).

V.5 - Faire l'application numérique.

V.6 - **EXPRIMER LE(S) RESULTAT(S) TROUVE(S) SOUS FORME D'UNE PHRASE .**

cette dernière étape a pour but de porter un jugement sur les réponses données.

## VI - EVALUATION DE LA SOLUTION

VI.1 - Vérifier l'homogénéité des relations littérales.  
Vérifier que l'application de la solution aux cas limites ne heurte pas le bon sens.

VI.2 - Vérifier que les unités utilisées sont cohérentes.  
Vérifier que le résultat est exprimé avec une unité convenable.  
Vérifier que le nombre de chiffres significatifs du résultat est en accord avec la précision des données.  
Vérifier que l'ordre de grandeur du résultat est vraisemblable.

VI.3 - S'assurer que la traduction verbale (VI.5) est sans ambiguïté, c'est-à-dire :  
- une seule interprétation possible,  
- ou toutes les interprétations possibles ont été envisagées.

VI.4 - S'assurer que la solution est complète :  
- toutes les questions ont reçu une réponse.





Résultats exprimés en pourcentage du nombre d'élèves ayant traité la question.

CHOIX DU SYSTEME

Nombre de classes comparées

Problème	Système Pertinent	Classes Témoins	Classes Expérimentale	Témoins	Expérimentales
<b>Exercices simples</b>					
Skieur sur une pente	Skieur	100	100	1	1
Bille sur une demi sphère	Bille	92	100	1	1
Solide sur un plan incliné	Solide	41	91	1	4
<b>Exercices difficiles</b>					
Bille de flipper 1ere question	Bille	42	96	1	1
Bille de flipper 2e question	Bille	42	94	1	1
Disque ressort spiral	Disque	81	100	1	1

Erreurs commises = système + son support ou  
système + ressort ou  
système + ressort + support.

soit système comportant des actions intérieures (Tensions du ressort, réaction du support) considérées comme extérieures au système.

Résultats exprimés en pourcentage du nombre d'élèves ayant traité la question.

### ANALYSE DES ACTIONS

(nous avons noté la cohérence avec le système choisi)

Problème	Classes Témoins	Classes Expéri- mentale	Nombre de classes comparées	
			Témoins	Expérimentales
<b>Exercices simples</b>				
Skieur sur une pente	72	94	1	1
Bille sur une demi sphère	65	79	1	1
Solide sur un plan incliné	62	90	1	4
<b>Exercices difficiles</b>				
Bille de flipper	38	79	1	1
Ressort spiral/Disque	42	70	1	1

ERREURS = oubli de la réaction du support  
formes intérieures considérées comme extérieures.

au bout du problème et juste.

	Temoin	Expérimentale	Temoin	Expérimentale
Skieur sur une pente	60	85	1	1
Bille sur une demi sphère	23	58	1	1
Bille de flipper	5	26	1	1
Disque ressort spiral	39	57	1	1

**GROUPE I**

---

Enoncés amenant à une solution qualitative en  
classe de 2nde et terminale, (Mme CHAUMAT - M. LEVELUT  
- Mme LOBRY - Mme ROULEAU)





## La résolution de problèmes en physique

Devant les difficultés des élèves à résoudre un problème classique et la situation d'échec dans laquelle un trop grand nombre se trouvent, nous avons essayé une approche différente des exercices tout en respectant les impératifs de programme. L'aspect abordé a été le suivant :

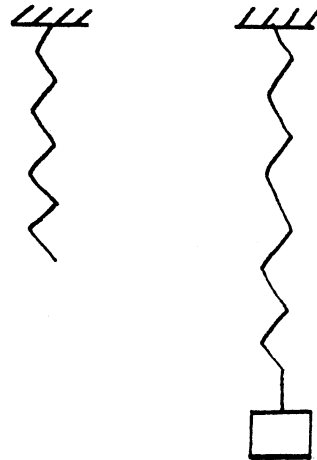
Est-il possible de réduire l'emprise du formalisme mathématique tout en gardant rigueur et précision ? formalisme mathématique qui mal maîtrisé et assimilé, paraissait être un des principaux obstacles rencontrés par nos élèves en classe de 2nde.

Notre groupe a donc travaillé sur des énoncés amenant à une solution "qualitative", sans calcul numérique, nécessitant une bonne compréhension des phénomènes physiques. Ce travail mené conjointement pour les 2nde et les terminales portait sur la partie "Mécanique".

\* \* \* \* \*

Classe de 2nde.

Enoncé I durée de l'exercice 1/2 heure.



I - On dispose d'un ressort de raideur  $K$  dont l'allongement est proportionnel à la tension: Sa longueur à vide est  $l_0$  ( $l_0 = 10$  cm).

La longueur est  $l_1$  ( $l_1 = 12$  cm) quand un corps de masse  $m$  ( $m = 100$  g) y est suspendu.

1) Sur le schéma indiquez  $l_0$ ,  $l_1$  et l'allongement  $a_1$  du ressort. Représentez le ressort quand un corps de masse  $2m$  y est suspendu.

2)



L'ensemble est ensuite posé sur un plan horizontal parfaitement lisse et reste en équilibre. Quelle est la longueur  $l_2$  du ressort ?

3)



Le plan est maintenant incliné d'un angle  $\alpha$  sur l'horizontale. Une extrémité du ressort est fixée. Le ressort prend une longueur  $l_3$ . Ordonnez les valeurs de  $l_0$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  et  $l_3$ . Justifiez en expliquant clairement. Comment varie  $l_3$  quand  $\alpha$  augmente ?

### Ce qui a été constaté

Des réponses intuitives correctes, une bonne perception du phénomène physique, par contre des difficultés au niveau de la justification, de l'expression écrite, de la rigueur du vocabulaire.

Par exemple :

- le mot "masse" est utilisé pour désigner l'objet ou son poids.
- pas de précision au niveau de l'action du rôle du plan en contact avec l'objet. " $l_3$  est plus petite parce que le plan agit sur la masse".
- une utilisation incomplète des informations contenues dans l'énoncé. Aucun élève n'a noté explicitement qu'il n'y avait pas de frottements. Certains, même, procèdent à une discussion (questions 2 et 3) à ce sujet et envisagent les 2 hypothèses:

- pas de frottements
- existence de frottements

### lère conclusion

Ce style d'exercice est intéressant car il permet aux élèves de prendre conscience de la nécessité d'exprimer clairement leur raisonnement .

\* \* \* \* \*

Classe de 2nde.

Enoncé II durée de l'exercice: 1/2 heure.



II - La figure schématise un hamac. Les cordes AB et CD sont inclinées d'un angle  $\alpha$  sur l'horizontale.

1) Faire le bilan des forces appliquées sur l'ensemble (utilisateur, hamac), (cordes exclues). Représentez les forces sur un schéma.

2) Si les cordes d'attaches sont usées et risquent de se casser, y-a-t-il intérêt à laisser pendre la hamac ou à le maintenir à l'horizontale ? Il pourra être utile d'examiner les cas extrêmes  $\alpha=0$  et  $\alpha=\frac{\pi}{2}$  et de trouver des exemples de la vie courante qui y correspondent.

### Les constatations

Bilan des forces correct dans 75% des cas avec quelques exceptions du genre

- tension toujours horizontale ou toujours verticale ou comme ce commentaire : "On a intérêt à prendre un angle de  $45^\circ$  car c'est la toile qui supporte le poids et pas les cordes".
- Parmi les réponses correctes seules 25% ont des réponses justifiées par une construction graphique. (Aucune tentative de calcul littéral).
- Mauvaise analyse de la situation cause-conséquence "Le poids varie car la tension est constante".
- Difficulté très grande du passage à la limite ( $\alpha=0$ ,  $\alpha=\frac{\pi}{2}$ ).
- Peu de réponses d'application de la vie courante et seulement pour  $\alpha=0$
- Quelques discussions correctes mais débouchant sur une conclusion fausse.

\* \* \* \* \*

Conclusion en forme de Mea Culpa.

\* Rédaction des énoncés à reprendre notamment

- les "cas extrêmes"
- expliciter les exigences ,

\* Le manque de réponses à la question des exemples de la vie courante montre le besoin d'insister plus systématiquement sur la volonté du physicien de faire comprendre l'environnement naturel et technique et la nécessité de partir de situations concrètes avant toute introduction d'un concept ou d'une grandeur physique.

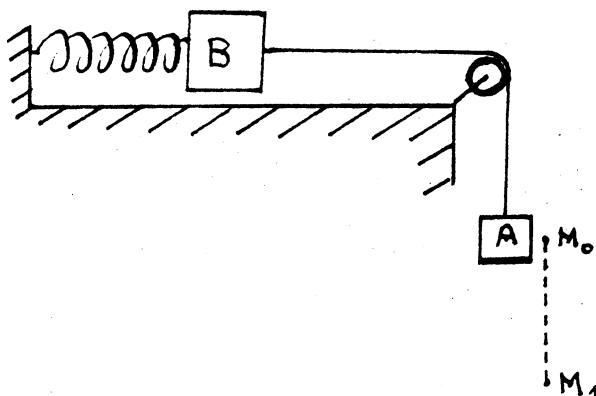
D'autres énoncés ont été testés avec les mêmes objectifs mais n'ont pas permis d'analyse particulière faute de réponses en nombre suffisant. Leurs résultats semblent confirmer les conclusions précédentes, du moins..

\* \* \* \* \*

Classe de Terminale C

-----

Enoncé

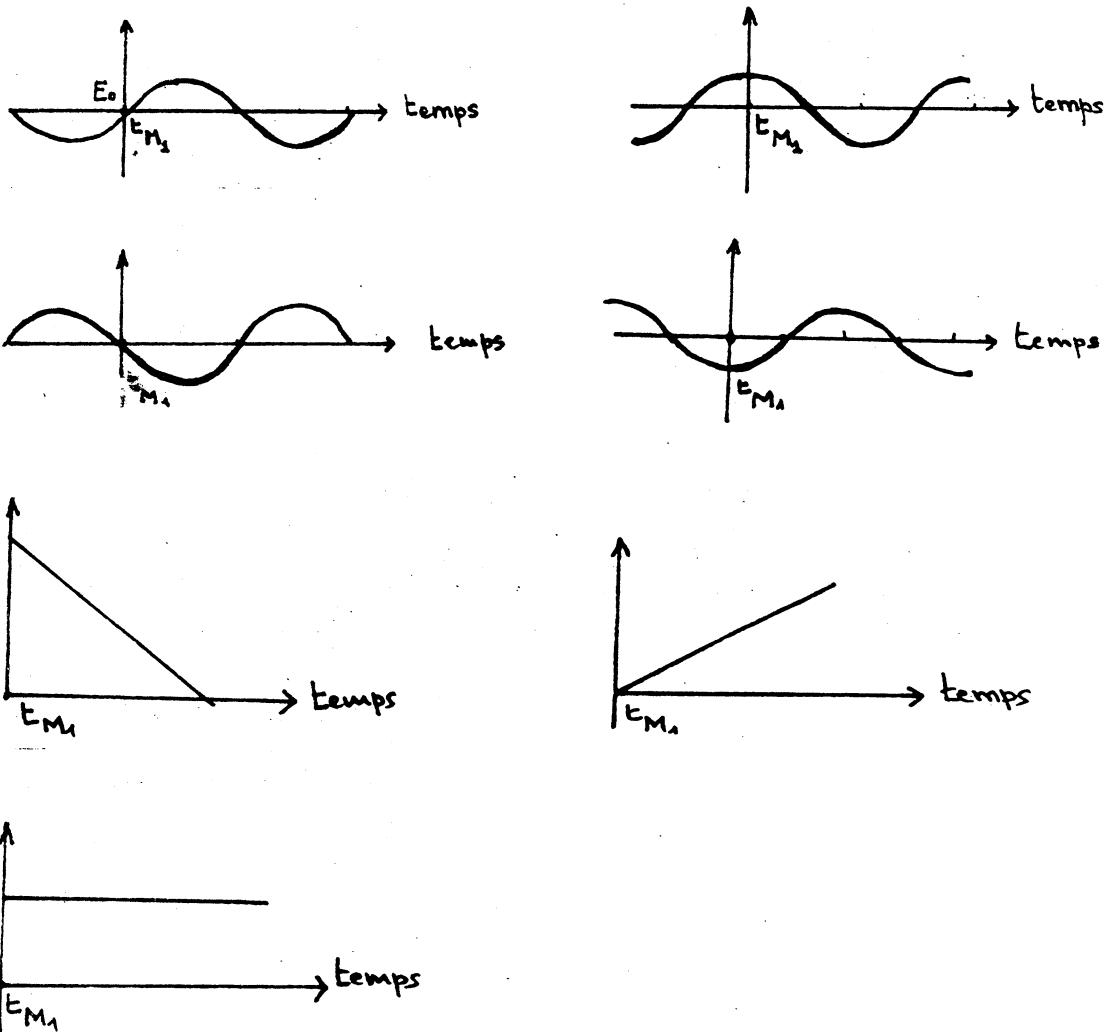


On réalise le dispositif ci contre : l'allongement du ressort est de 1cm pour une traction de 0,5 N. Le solide B se déplace horizontalement sans frottement. La poulie est de masse négligeable par rapport aux masses de A et B. A partir de la position d'équilibre  $M_0$  un opérateur abaisse A lentement et verticalement de 10 cm jusqu'en  $M_1$ . On lâche le corps A. Le système se met à osciller indéfiniment.

1) Explication des mots du texte

- a) quelle est la différence entre allongement et longueur?
- b) quel est l'intérêt de "se déplace sans frottement"  
"poulie de masse négligeable"
- c) Pourquoi l'opérateur abaisse-t-il A lentement ?
- d) Expliquez le sens du terme osciller

- 2) Quelle est l'influence du travail effectué par l'opérateur dans le bilan énergétique du système (ressort B-fil A)
- 3) Au cours des oscillations, diverses formes d'énergie mécanique sont mises en jeu. Quelles sont ces formes d'énergie ? On envisagera successivement les système (A) puis (B). Quel est le schéma le plus approprié à chacune. Précisez si besoin le ou les états de référence.



Quelle est l'influence de la valeur du déplacement  $\overline{M_0 M_1}$  sur le bilan énergétique ?  $\overline{M_0 M_1}$  ne peut varier qu'entre certaines limites. Lesquelles ?

\*\*\*\*\*

### Les constatations

- \* Ce ne sont pas les "bons élèves" habituels qui fournissent les réponses les plus astucieuses.
- \* Malgré une mise en garde orale pendant l'exercice, l'intersection des axes est presque toujours prise comme point (0, 0) et les axes sont rarement gradués d'où des énergies cinétiques négatives.
- \*  $\frac{1}{2} kx^2$  est utilisé avec n'importe quoi pour x, rarement la bonne définition, comme s'il n'y avait pas d'allongement au départ.
- \* Les élèves arrivent à construire les graphes mais ne savent pas les identifier lorsque ces derniers sont donnés.

\* \* \* \* \*

### Conclusion provisoire

Les élèves sont déroutés car ils ne peuvent pas "plaquer" des formules. La réflexion et le bon sens semblent exclus.

Est-ce que nous ne ferions pas perdre à nos élèves le sens physique en leur faisant acquérir un outil trop mathématique ?

Compte tenu de la multiplicité de situations identiques rencontrées dans d'autres tests, nous pouvons nous demander s'il ne faudrait pas une révision profonde des programmes, de leurs objectifs... et des épreuves d'examen. La situation actuelle conduit à privilégier les calculs et, de ce fait, pousse à une mémorisation de formules qui masquent les réalités physiques et finissent par faire perdre tout bon sens aux élèves.

Aucun physicien ne peut s'estimer satisfait de cette situation

...

## GROUPE II

---

(qualificatif-quantitatif)

### I - Comment présenter et résoudre un problème (S. PROVOST)

- A) Présentation d'un modèle de rédaction
- B) Méthodes à suivre:
  - théorème de l'énergie cinétique en 1ère
  - problèmes de statique en 2è
  - problèmes de chimie en 2è
  - conclusion

### II - Problèmes sur la catapulte

Théorème de l'énergie cinétique en 1ère : MJ. SCHLEINGER -  
C. ETASSE - J. DURAND - S. PROVOST.

- a) Enoncé du texte
- b) Corrigé
- c) Erreurs des élèves

### III) Problème sur les ondes

Propagation d'ondes sonores en 1ère : C. ETASSE -  
MJ. SCHLEINGER - J. DURAND.

- a) Enoncé du texte
- b) Corrigé
- c) Erreurs des élèves





---

I - MODELE DE PRESENTATION D'UN DEVOIR DE PHYSIQUE

---

A) PRESENTATION D'UN MODELE DE REDACTION

1 - Disposition des quatre parties

I	II	
III		
IV		
<table border="1"><tr><td>résultat</td></tr></table>		résultat
résultat		

2 - Contenu des quatre parties

## ANALYSE DU PROBLEME

-----

- Lire attentivement le texte entier.
- Relire lentement le texte en soulignant les groupes verbaux.
- Données du problème.
- Faire un schéma après chaque information nouvelle en y portant les données du texte.
- Transcrire mathématiquement les données du problème en utilisant les symboles conventionnels. Bien distinguer les grandeurs connues des grandeurs inconnues et des variables.
- Pour chaque question, distinguer les données fournies ou implicites de la conclusion recherchée.

## FORMULES CONNUES A UTILISER

-----

- Indiquer la loi ou le théorème utilisé et vérifier sa validité demandant ; "Ai-je le droit d'utiliser cette formule ?"

- 17 -

## CHEMIN A SUIVRE

-----

III

- Utiliser les formules littérales qui traduisent mathématiquement le théorème.
- Vérifier l'homogénéité de la solution obtenue.
- Remarque : Faire très attention aux conjonctions de coordination et à leur signification :

\* CAR : justifie un élément de raisonnement en donnant l'explication ou la cause de la proposition avancée.

\* DONC : indique la conséquence, la conclusion de ce qui précède.

## CALCULS NUMERIQUES

-----

IV

- Il arrive parfois que plusieurs solutions mathématiques existent. Eliminer, en le justifiant, celles qui ne correspondent pas à une solution physique réelle.
- Passer à l'application numérique. Attention aux unités.
- Vérifier par des considérations de bon sens, que la solution numérique obtenue a un ordre de grandeur convenable. Attention à la précision donnée par la machine.  
Posez-vous la question : "avec quel appareil puis-je faire la mesure? Quelle sera la précision ?"

## B) METHODES A SUIVRE

### COMMENT CHERCHER ET RESOUDRE UN PROBLEME

---

TYPE : Théorème de l'Energie Cinétique

#### I - ANALYSE DE L'ENONCE

---

- a) Lire l'énoncé en entier
- b) Ecrire la question sur votre feuille de copie, souligner les mots importants
- c) Si l'énoncé décrit une évolution, alors faire l'analyse préliminaire  
plusieurs évolutions alors faire pour chacune, une analyse préliminaire

#### II - ANALYSE PRELIMINAIRE

---

- a) Faire la liste des instants caractéristiques, particuliers de l'évolution, attribuer un symbole à chacun d'eux, identifier les différentes phases.
- b) Faire le film de l'évolution, par un dessin ou schéma. Noter les positions, les vitesses sur un même schéma, aux instants caractéristiques. Noter les données du texte, sur le schéma, les symboliser.
- c) Eliminer ce qui n'est pas nécessaire pour la résolution.
- d) Noter la nature des mouvements de chaque solide pour chaque phase.

#### III - DESCRIPTION PHYSIQUE (case 1 - modèle de rédaction)

---

- a) Choix du système (relire la question).
- b) Choix des deux instants, initial et final, entre lesquels on applique le théorème de l'Energie cinétique. Préciser les positions, les vitesses correspondantes.

- c) Faire le bilan des actions mécaniques, extérieures et intérieures du système. Les représenter sur un schéma, à un instant t quelconque, entre l'instant initial et final.

#### IV - ENONCER LE THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE

(Case II Modèle de Rédaction)

#### V - RESOLUTION

(Case III et IV Modèle de Rédaction)

- a) Exprimer les différents travaux résistants, ou moteurs (expression littérale).
- b) Exprimer la variation de l'Ec entre les 2 instants choisis (expression littérale).
- c) Traduire le théorème de l'Ec (1 relation).
- d) Reconnaitre les données, l'inconnue ou les inconnues

si vous avez 1 relation, 1 inconnue, le problème est terminé

si vous avez 1 relation, plusieurs inconnues, utiliser des relations de définition, ou certaines propriétés du dispositif.

- e) Orienter vos calculs littéraux, pour donner l'expression littérale de la question posée, en fonction des données du texte. Préciser les limites
- f) Encadrer cette expression littérale choix des unités sur l'expression.
- g) Faire l'application numérique.
- h) Encadrer le résultat avec les unités.
- i) Discuter, s'il y a lieu, sur l'ordre de grandeur de ce résultat.

Exemple : évaluation des forces de freinage

Les frottements interviennent dans les mouvements et compliquent leur étude. Sans frottement, le déplacement et l'équilibre seraient compromis.

Texte

A un instant donné, un conducteur de voiture freine pour s'immobiliser sur une route droite et horizontale.

Données

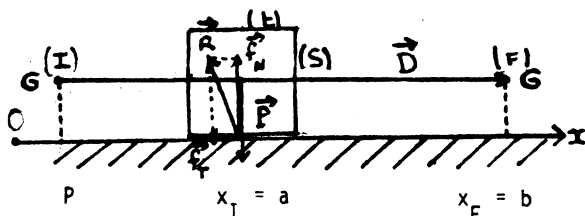
$$V_I = c$$

Positions du centre d'inertie de la voiture  $x_I = a$

$$x_F = b$$

On suppose la force globale de frottement, constante au cours du temps.

①-



- Le mouvement est rectiligne, uniformément décéléré  
Vecteur déplacement  $\|\vec{D}\| = x_F - x_I = b - a$

- $V_I = c$        $a, b, c$  données
- $V_F = 0$
- question :  $f_T$  ?

①I- La variation de l'énergie cinétique du solide entre l'instant initial et final, est égale à la somme algébrique des travaux de toutes les forces appliquées au solide entre ces deux instants :

$$\Delta E_c = E_{c(F)} - E_{c(I)} \stackrel{(1)}{=} W_{IF}(\vec{P}) + W_{IF}(\vec{R})$$

①II- La relation (1) se simplifie, jusqu'à obtenir 1 relation à 1 inconnue.

①IV

$$W_{\vec{P}} = 0 \text{ car } \vec{P} \perp \vec{D} \quad W_{\vec{R}} = \vec{R} \cdot \vec{D} = \|\vec{R}\| \cdot \|\vec{D}\| \cos(\vec{R}, \vec{D}) = (\|\vec{R}\| \cos(\vec{R}, \vec{D})) \cdot \|\vec{D}\| = -f_T \cdot D$$

$$\Delta E_c = 0 - E_{c(I)} = -\frac{1}{2} m v_I^2$$

La relation (1) s'écrit :  $-\frac{1}{2} m v_I^2 \stackrel{(1)}{=} -f_T \cdot D$  d'où  $f_T = \frac{\frac{1}{2} m v_I^2}{D}$

Une force dont le travail est résistant ( $<0$ ), tend à diminuer l'énergie cinétique du système sur lequel elle s'exerce ; principe du freinage des véhicules. Cette énergie cinétique est transformée en chaleur

## METHODES DE RESOLUTION DES PROBLEMES DE STATIQUE

---

### I - Délimiter le système (S)

### II - Faire le bilan des forces extérieures

- A distance
- De contact : pour ne pas oublier de forces de contact, il suffit de suivre les limites du système. A chaque point de contact avec le milieu extérieur (air, fil, support, autres solides), il existe certainement au moins une force.

### III - Dresser un tableau

Nom de la force	Point d'application	Direction	Sens	Norme

### IV - Conditions d'équilibre du système

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \vec{m} \vec{F}/_0 = 0 \quad (2)$$

### V - Résolution

#### A) Résolution par la somme vectorielle (1)

-----

- 1) Méthode graphique : applicable quand le système n'a pas plus de 3 forces ; on connaît 1 force et la direction des 2 autres.
- 2) Méthode géométrique : si le triangle des forces est particulier (rectangle, isocèle : 2 triangles rectangles, équilatéral), alors, connaissant 1 angle et l'intensité d'une force, les autres

intensités des forces sont connues par la trigonométrie.

- 3) Produit scalaire : méthode rapide si l'on connaît 2 intensités de forces et l'angle formé par ces 2 forces (poulie sans frottement).  
 $\vec{F}_3 = -(\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$

$$\vec{F}_3 \cdot \vec{F}_3 = F_3^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha$$

$$\alpha = (\vec{F}_1, \vec{F}_2)$$

et  $F_3 = \left[ F_1^2 + F_2^2 + F_1F_2 \cos \alpha \right]^{\frac{1}{2}}$

- 4) Méthode analytique : utilisée si le triangle des forces est quelconque. La relation vectorielle (1) par projection orthogonale sur 2 axes donne 2 relations à 2 inconnues. Reconnaître les données du texte, des questions posées. Choisir la méthode la plus simple (substitution, combinaison linéaire ou rapport membre à membre. Dresser un tableau donnant les projections de chaque force. (Mesures algébriques après avoir choisi un sens positif de translation).

Nom de la force	Projection suivant Ox	Projection suivant Oy
$\vec{F}_1$	$\overline{F_{1x}} =$	$\overline{F_{1y}} =$
$\vec{F}_2$	$\overline{F_{2x}} =$	$\overline{F_{2y}} =$
$\vec{F}_3$	$\overline{F_{3x}} =$	$\overline{F_{3y}} =$
$\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$	$\sum_i \overline{F_i}_x = 0$	$\sum_i \overline{F_i}_y = 0$

B) Résolution par la somme algébrique des moments (2)

---

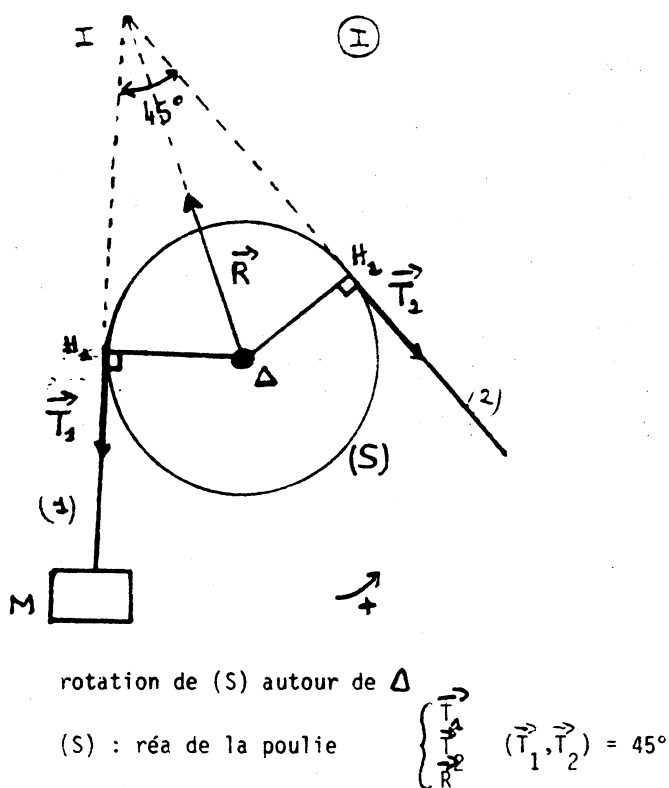
- Cette méthode convient si l'on connaît une intensité de force et les 2 distances à l'axe (géométrie de la figure).
- Choisir astucieusement l'axe de rotation pour éliminer le moment d'une force inconnue. (sa valeur est nulle).
- Choisir un sens positif de rotation et définir le moment de chaque force par rapport à ce sens positif.

C) Utilisation des 2 conditions d'équilibre (1) et (2)

---

TEXTE DE PROBLEME SUR LA POULIE.

L'extrémité de la flèche d'une grue est munie d'une poulie mobile autour d'un axe ; cette poulie modifie la direction du câble de 45°. le câble supporte une charge de masse  $M = 1700$  kg. Déterminer à l'équilibre la direction, le sens, le module de la réaction exercée par l'axe sur la poulie. On néglige les masses du câble et de la poulie.



II - A l'équilibre le système (S) est tel que

$$\begin{cases} (1) \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{R} = \vec{0} \\ (2) \overline{m}_{\Delta T_1} + \overline{m}_{\Delta T_2} + \overline{m}_{\Delta R} = 0 \end{cases}$$

Les trois forces sont coplanaires et concourent en I, d'où la direction de R appliquée en Δ.

$$T_1 = Mg = 1700 \times 9,81 \text{ (le fil (1) transmet les forces)} \\ \text{soit} \\ T_1 = 16\,677 \text{ N}$$

III - 1ère méthode : Produit scalaire

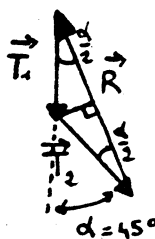
- Utilisation de la 1ère condition d'équilibre
- on suppose que la poulie transmet les forces sans changer leur intensité

$$(\vec{T}_1 + \vec{T}_2)^2 = (-\vec{R})^2$$

$$\vec{T}_1 \cdot \vec{T}_1 + \vec{T}_2 \cdot \vec{T}_2 + 2\vec{T}_1 \cdot \vec{T}_2 = \vec{R} \cdot \vec{R}$$

$$T_1^2 + T_2^2 + 2T_1T_2 \cos(45^\circ) = R^2$$

$$\sqrt{T_1^2 + T_2^2 + 2T_1T_2 \cos(45^\circ)} = R$$



2e Méthode : Trigonométrie et 2e condition d'équilibre.

-Utilisation des deux conditions d'équilibre

$$+T_1 \cdot \Delta H_1 - T_2 \cdot \Delta H_2 + 0 = 0$$

soit  $T_1 = T_2$  car  $\Delta H_1 = \Delta H_2 = \text{ray}$

-Utilisation de la 1re condition d'équilibre  
Triangle des forces isocèle => trigonométrie



(IV)

$$R^2 = 5,56244 \cdot 10^8 + 5,56244 \cdot 10^8 \times 0,707$$

$$R = (9,495 \cdot 10^8)^{\frac{1}{2}} = 3,0815 \cdot 10^4$$

$$\underline{R = 30\,815 \text{ N}}$$

Le triangle des forces est isocèle et l'angle extérieur  $\alpha$  est égal à la somme des angles non adjacents donc chaque angle à la base du triangle vaut  $\frac{\alpha}{2}$

$$R = 2 T_1 \cos \frac{\alpha}{2} = 2 T_2 \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$R = 2 \times 16677 \times 0,924$$

$$R = 30\,815 \text{ N}$$

## 2e EXEMPLE

(Produit scalaire : 2e condition d'équilibre)

Texte :

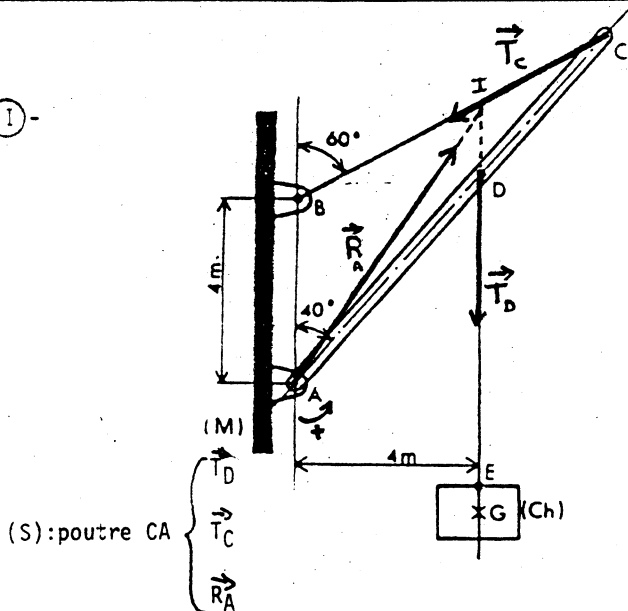
La poutre ADC de la figure ci-dessous est soutenue par un câble BC. Une charge dont le poids P a une intensité de 1000 N est suspendue en D au moyen d'un câble.

Les câbles sont supposés sans raideur et sans poids. Le poids de la poutre est négligeable devant les efforts. On suppose que le système a un plan de symétrie (qui est le plan de la figure et que l'action en A sur la poutre est représentable par un "vecteur force" dont le support passe par A.

Déterminer les trois forces appliquées à la poutre.

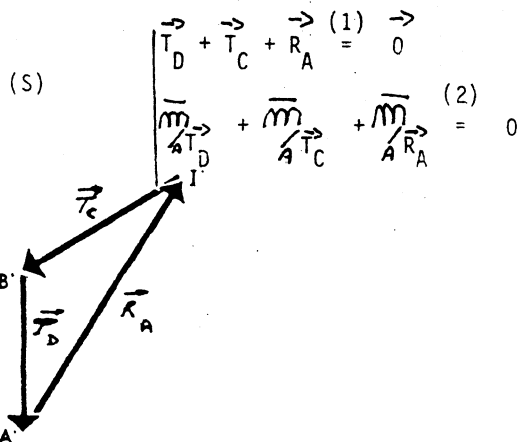
Déterminons les tensions  $T_D$  et  $T_C$  puis  $R_A$  appliquées à la poutre

I -



II -

- Le câble DE supposé inextensible, transmet les forces  $T_D$  et  $T_C$  à l'équilibre de la poutre CA :



III -

- 1) le câble DE transmet les forces, donc on obtient  $T_D = P$
- 2) avec la 2è condition d'équilibre  $\vec{m}_A \vec{R}_A = 0$ , on a 1 relation, 1 inconnue pour avoir  $T_C$
- 3) avec la 1ère condition d'équilibre et le produit scalaire: or  $T_C$ ,  $T_D$  et  $(\vec{T}_C, \vec{T}_D) = 60^\circ$  (deux parallèles BA, DE et sécante BC), on en déduit la réaction.

IV -

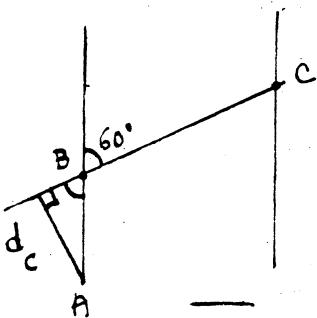
1)  $T_D = P = 1000 \text{ N}$

2)  $\vec{m}_A \vec{T}_D + \vec{m}_A \vec{T}_C + \vec{m}_A \vec{R}_A = 0$

soit  $:- T_D \cdot d_D + T_C \cdot d_C = 0$

d'où  $T_C = \frac{d_D}{d_C} \times T_D$

avec  $\begin{cases} d_D = 4\text{m (voir figure)} \\ d_C = AB \sin(60^\circ) \end{cases}$



AN

$$T_C = \frac{4}{4 \sin(60^\circ)} \times 1000 = \frac{2000}{\sqrt{3}} = 1154,7$$

$T_C = 1154,7 \text{ N}$

3)  $\vec{R}_A = -(\vec{T}_C + \vec{T}_D)$

$$\|\vec{R}_A\|^2 = (\vec{T}_C + \vec{T}_D)^2 = \|\vec{T}_C\|^2 + \|\vec{T}_D\|^2 + 2\|\vec{T}_C\| \|\vec{T}_D\| \cos(\vec{T}_C, \vec{T}_D)$$

$$R_A^2 = \frac{4 \times 10^6}{3} + 10^6 + 2 \times \frac{2 \times 10^6}{\sqrt{3}} \cos 60^\circ$$

$$R_A^2 = 10^6 \left[ \frac{4}{3} + 1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \right]$$

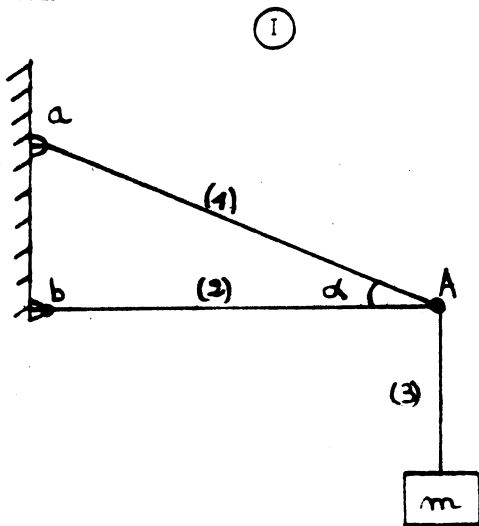
$$R_A^2 = 3,488 \cdot 10^6$$

$$\|\vec{R}_A\| = 1867,6$$

$R_A = 1867,6 \text{ N}$

Texte :

Deux barres (1) et (2), rigides, supposées, sans masse, articulées en a et b, liées en A, permettent de soutenir, par l'intermédiaire d'un fil (3) une masse M de 30Kg. Les barres (1) et (2) font entre elles un angle  $\alpha = 30^\circ$ . Quelles sont les actions auxquelles sont soumises les barres (1) et (2) ?



- (II)
- isoler les systèmes : décomposition d'un problème complexe en étapes élémentaires simples.
  - principe des actions mutuelles  

$$\vec{F}_{B/A} + \vec{F}_{A/B} = \vec{0}$$
  - Equilibre d'un solide (S) soumis à deux forces
    - .  $\vec{F}_{B/A} + \vec{F}_{C/A} = \vec{0}$
    - . même support
  - Equilibre d'un solide (S) soumis à trois forces
    - .  $\vec{F}_{B/A} + \vec{F}_{C/A} + \vec{F}_{D/A} = \vec{0}$
    - . coplanaires et concourantes.

(III)

isoler la barre (1)

isoler la barre (2)

isoler le fil (3)

direction de  $\vec{F}_{A/1}$

Direction de  $\vec{F}_{A/2}$

$\vec{r}_{A/3}$  connue entièrement

isoler l'anneau (A) au repos  
 $\vec{F}_{3/A}$   $\vec{F}_{2/A}$   $\vec{F}_{1/A}$  } 3 forces } solution graphique  
 connue direction direction

$\vec{F}_{A/1}$  connue ;  $\vec{F}_{A/2}$  connue  
 problème résolu

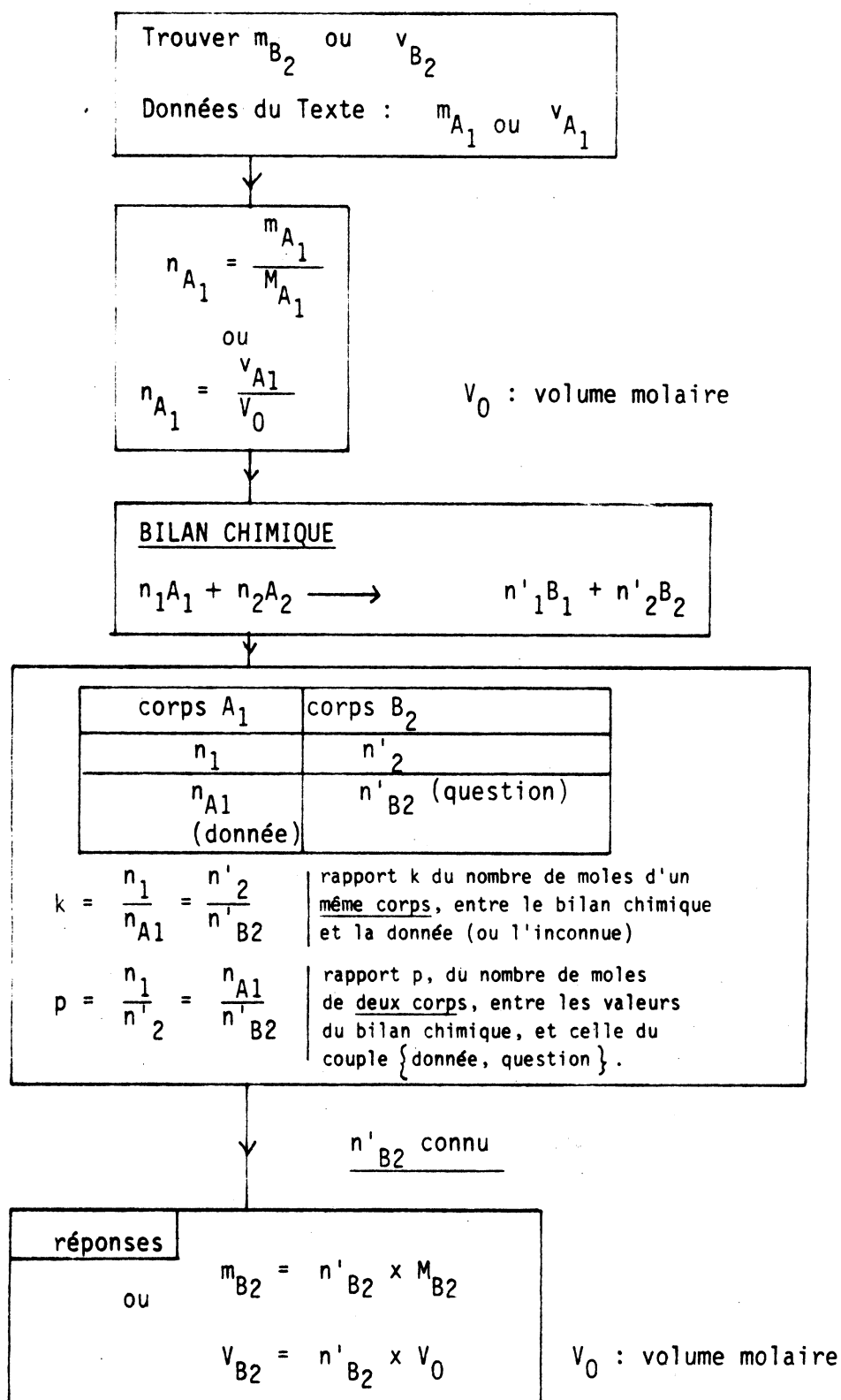
(IV)

Résolution (sans intérêt ici)

## COMMENT RESOUDRE UN PROBLEME DE CHIMIE EN 2e

---

### Méthode à suivre



## CONCLUSION

---

Il a été proposé, depuis plusieurs années, une liste de méthodes de résolution pour les chapitres difficiles de 2<sup>e</sup> (quantité de mouvement, problème de statique, intérêt du nombre de moles en chimie) et en 1<sup>ère</sup>, (théorème de l'énergie cinétique, quantité de chaleur...)

A chaque fois, les élèves sont demandeurs et réclament davantage cette forme de préparation au devoir en temps limité, qui leur donne un fil conducteur très précieux.

Pour ce qui concerne la présentation de rédaction d'un devoir, ce cadre rigide, proposé aux élèves n'est pas imposé. Seuls, ceux qui y trouvent un intérêt, le garde toute l'année ou bien l'utilise au début, pour comprendre l'articulation d'un problème.

Opinion d'un collègue qui accueille nos élèves en le S au Lycée classique A.Maurois à Elbeuf :

Physique - Chimie . 1<sup>er</sup> S<sub>3</sub> . Lycée Maurois

Note la plus basse : 5  
La plus haute : 14  
Moyenne : 9,5

### Moyenne

- DESCHAMPS Mathilde : 12  
- MISCHAUD Stéphane : 11  
- SOHIER Anne : 11  
- NAGA Didier : 12

Avis du professeur de 1<sup>er</sup> S<sub>3</sub> : Mr E.J

De façon générale, ces élèves s'en sortent mieux que les autres dans la classe : ils ont une plus grande habitude des raisonnements et du calcul et ne sont pas surpris par ce qu'on leur demande.

(Elèves de 2D<sub>4</sub> Lycée F.Buisson - année précédente -)

Le niveau des quatre élèves précédents va en s'améliorant rapidement car certains semblent avoir des acquis assez solides de leur classe de l'an passé.

---

## II - PROBLEME SUR LA CATAPULTE

---

- 1) Enoncé
- 2) Correction
- 3) Relevé des erreurs des élèves

\* \* \* \* \*

### A) ENONCE DU TEXTE

Une catapulte est formée d'un bras AB tournant autour d'un axe horizontal, et portant à son extrémité une cuiller.

Ce bras est tenu à sa base entre deux nappes parallèles de cordages horizontaux tendus, qui le maintiennent en position verticale. L'ensemble est représenté sur la figure 1.

En fonctionnement, le bras est tiré en arrière par un câble jusqu'à l'horizontale.

Le projectile, de masse  $m$ , est déposé dans la cuiller et le bras est libéré.

Les cordages, agissant comme un fil de torsion, ramènent le bras à la verticale.

Le projectile s'échappe de la cuiller dès que la vitesse de rotation devient suffisante.

- 1) Le projectile quitte la cuiller avec une vitesse  $v=20\text{ms}^{-1}$  après une rotation du bras de  $40^\circ$ .

Exprimer la variation de l'énergie cinétique totale du système (bras + cuiller + projectile + câble) entre l'instant initial (bras à l'horizontale) et l'instant final (le projectile s'échappe de la cuiller).

On admettra que le bras et la cuiller ont un mouvement de rotation et que le projectile a un mouvement de translation.

- 2) Faire le bilan de toutes les forces extérieures agissant sur le système. Représentez les forces de pesanteur. En

admettant que le travail exercé par le moment d'un couple dû à un fil de torsion, en passant de  $\theta_1$  à  $\theta_2$  est

$$W = \frac{1}{2} C (\theta_1^2 - \theta_2^2),$$

calculer le travail fourni par les cordages.

- 3) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déduire le travail des forces de frottement, exercées par le cylindre sur le câble.

Données :

\* Bras : masse  $m_1 = 28$  kg ; moment d'inertie  $J_{1/\Delta} = 81$  kg.m<sup>2</sup> ;  
longueur  $L = 3$  m

\* Cuiller : masse  $m_2 = 2$  kg ;  
moment d'inertie  $J_{2/\Delta} = 18$  kg.m<sup>2</sup>

\* Projectile : masse  $m_3 = 20$  kg ;

\* Cordages : constante de torsion  
 $C = 9.10^3$  m.N.Rad<sup>-1</sup>

\* Câble : masse négligeable devant  $m_1$   $m_2$  et  $m_3$

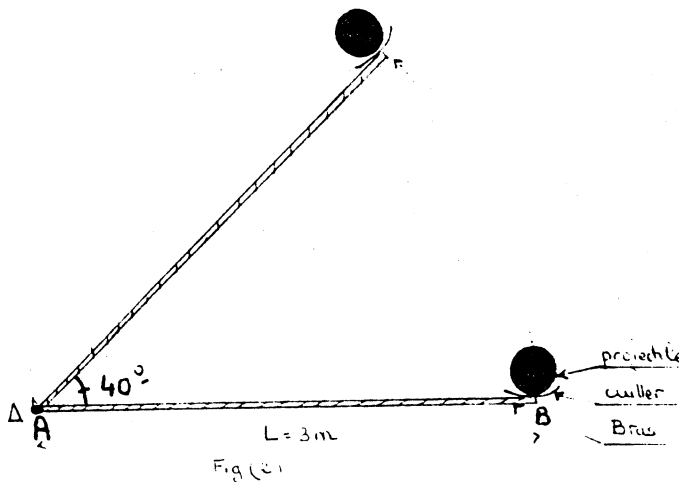
\* Au repos, le bras est verticale :  $\theta = 0$ . rad

\* En tension, le bras est horizontal :  $\theta = -\pi/2$ . rad

\* On prendra  $g = 10$  m.s<sup>-2</sup>

Position d'équilibre

$$Q = 0$$



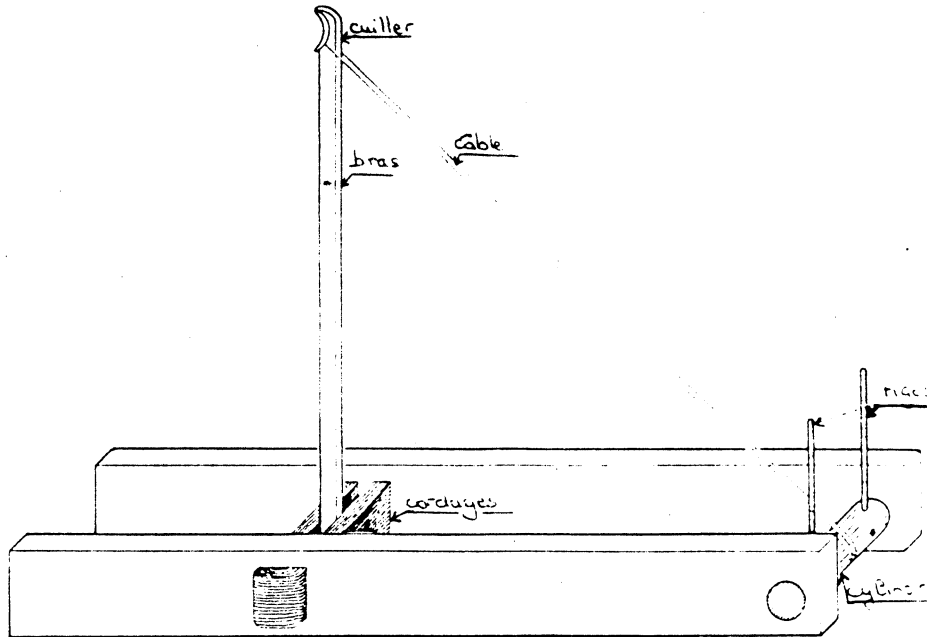
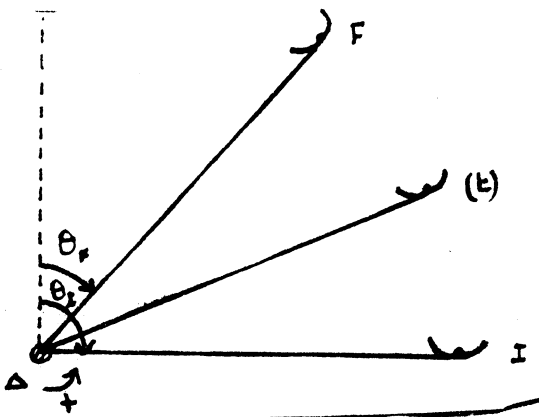


FIG. 1

B) CORRECTION

1° - Variation de l'énergie cinétique du système entre les instants I et F



(I)

(II)

$$E_c(t) = E_{crot} + E_{ctransl.}$$

$$E_c(t) = \frac{1}{2} J \omega^2 + \frac{1}{2} m v^2$$

$$\Delta E_c = E_c(F) - E_c(I)$$

(S) : (bras, cuiller, projectile, cable)

$$I \begin{cases} v_I = 0 \text{ ms}^{-1} \\ \theta_I = -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \\ \omega_I = \frac{v_I}{L} = 0 \text{ rad s}^{-1} \end{cases} \quad F \begin{cases} v_F = 20 \text{ ms}^{-1} \\ \theta_F = -50 \frac{\pi}{180} \text{ rad} = -50^\circ \\ \omega_F = \frac{v_F}{L} = \frac{20}{3} \text{ rad s}^{-1} \end{cases}$$

Le bras a tourné de  $40^\circ$  ( $\frac{\pi}{180} \times 40$ ), d'un mouvement de rotation autour de  $\Delta$ , dans le sens + arbitrairement choisi.



III) - Le projectile a une énergie cinétique de la forme :

$$E_c = 1/2 m_3 v^2$$

Il se comporte comme son centre d'inertie G.

\* les câbles sont sans masse donc l'énergie cinétique est nulle.

\* les bras et cuiller ont une énergie cinétique de la forme :

$$E_c = 1/2 J \omega^2$$

soit pour le système (S):

$$E_c(t) = \frac{1}{2} J_1 \omega^2(t) + \frac{1}{2} J_2 \omega^2(t) + \frac{1}{2} m_3 v^2(t)$$

IV) -

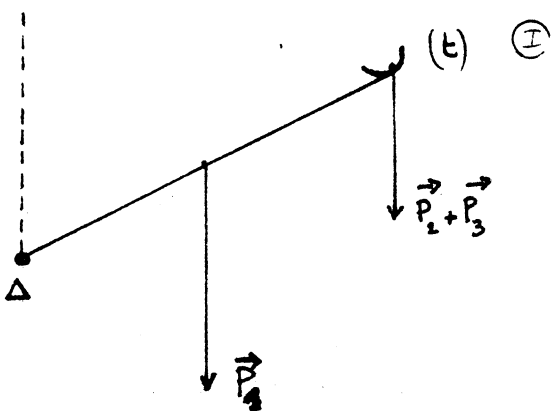
$$E_c(I) = 0 \quad \text{car } w_I = 0 \quad \text{et} \quad v_I = 0$$

$$E_c(F) = \frac{1}{2} J_1 w_F^2 + \frac{1}{2} J_2 w_F^2 + \frac{1}{2} m_3 v_F^2$$

$$\begin{aligned} \text{d'où } \Delta E_c &= E_c(F) - E_c(I) = \frac{1}{2} (J_1 + J_2) w_F^2 + \frac{1}{2} m_3 v_F^2 = \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{J_1 + J_2}{L^2} + m^3 \right) \cdot v_F^2 \end{aligned}$$

AN.  $E = 6200 \text{ J}$

2°) Bilan des forces extérieures ; les représenter ;  $W_{ct}$



II - Bilan des forces

- 1) forces de gravitation : Poids
- 2) forces dues à l'axe : réaction
- 3) forces dues au système élastique
- 4) frottements du cylindre sur le câble

Seules les forces de pesanteurs sont représentables sur le schéma.

$$W_{ct} = 1/2 C(\theta_I^2 - \theta_F^2)$$

Travail moteur.

IV - Bilan des forces :

- 1) Poids du bras, appliqué à  $L/2$  :  $\vec{P}_1$   
 Poids du projectile appliqué à  $L$  :  $\vec{P}_3$   
 Poids de la cuiller appliqué à  $L$  :  $\vec{P}_2$
- 2) réaction de l'axe :  $\vec{R}$
- 3) couple de torsion au niveau des cordages
- 4) frottements du cylindre sur le câble

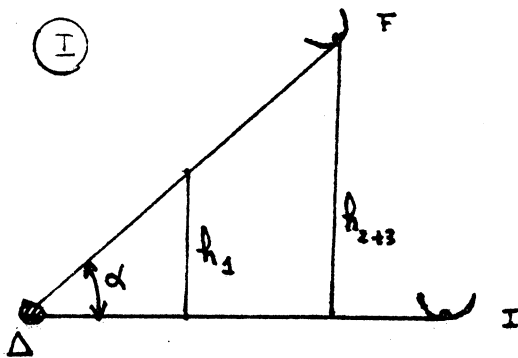
$W_{ct}$  : Travail fourni au système par les cordages entre l'instant initial et final.

$$W_{ct} = \frac{1}{2} C (\theta_I^2 - \theta_F^2) = \frac{1}{2} 9 \cdot 10^3 \left( \frac{\pi^2}{4} - \left( \frac{50}{180} \right)^2 \pi^2 \right) = 7\,676,36$$

(J)                      (rad)   (rad)

$W_{ct} = +7676,36 \text{ J}$

3°) Travail des forces de frottements



II - Théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_c = \sum_i W_{F_i}^{(A)}$$

$$|W_p| = mgh \begin{cases} \text{si résistant} < 0 \\ \text{si moteur} > 0 \end{cases}$$

III - On ramène la relation (1) à une inconnue:  $W_{frott}$  ; tous les autres termes sont calculables.

IV-

$$\Delta E_c = E_c(F) - E_c(I) = W_{ct} + W_{\vec{p}_1} + W_{\vec{p}_2} + W_{\vec{p}_3} + W_{\vec{R}} + W_{frott}$$

$$W_{\vec{p}_1} = -mgh_1 = -mg \frac{L}{2} \sin \alpha \quad \alpha = 40^\circ$$

$$W_{\vec{p}_2 + \vec{p}_3} = -(m_2 + m_3) \cdot g \cdot L \cdot \sin \alpha$$

$$W_{\vec{R}} = 0 \text{ ' sans déplacement}$$

$$\text{d'où } W_{frott} = E_c(F) - E_c(I) - W_{ct} - W_{\vec{p}_1} - W_{\vec{p}_2 + \vec{p}_3}$$

$$W_{frott} = \frac{1}{2} \left( \frac{J_1 + J_2}{L^2} + m_3 \right) v_F^2 + gL \sin \alpha \left( \frac{m_1}{2} + m_2 + m_3 \right) - \frac{1}{2} C (\theta_I^2 - \theta_F^2)$$

AN :

$$W_{frott} = \frac{1}{2} \left( \frac{99}{9} + 20 \right) \times 400 + 10 \times 3 \times \sin 40 (36) - \frac{1}{2} 9 \cdot 10^3 \left[ \frac{1}{4} - \left( \frac{50}{180} \right)^2 \right] \pi^2$$

$$= -782,15$$

$$W_{frott} = -782,15 \text{ J}$$

### C) RELEVÉ DES ERREURS

#### 1ère question :

Les élèves n'ont pas tous compris la relation  $v = r \cdot \omega$   
Ils confondent l'angle et la vitesse angulaire  
Certains trouvent  $\omega = 2\pi \times \frac{1}{T}$  !  
Confusion entre moment d'inertie et moment d'une force...  
Les instants initiaux et finaux sont mal définis (ils prennent souvent la position verticale et horizontale).

#### 2ème question :

L'analyse des forces est très aléatoire ; ils représentent soit des forces intérieures au système soit la vitesse du projectile (confusion vitesse, force). Le couple de torsion, la réaction de l'axe sont souvent oubliés ; le poids n'est pas toujours vertical... (tangential à la trajectoire : est-ce une confusion avec la vitesse ?).

#### 3ème question :

Correctement abordée par 6 élèves sur 30 (lycée des Bruyères 1S).

#### Conclusion :

C'est un problème de synthèse qui résume bien la manière d'utiliser le théorème de l'énergie cinétique dans la mesure où le dispositif est assez élaboré.

---

### III - EXERCICE SUR LA REFLEXION / REFRACTION

---

première S

A) ENONCE DU TEXTE

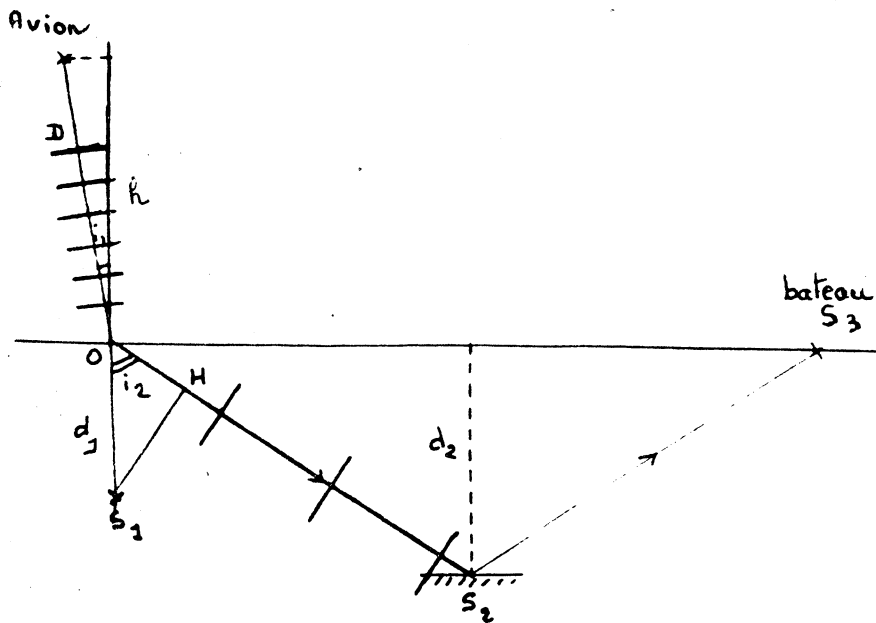
Une onde sonore plane, émise par un avion volant à basse altitude, se propage dans l'air avec la célérité  $c_1 = 340 \text{ m.s}^{-1}$

Elle frappe la surface parfaitement immobile d'un lac sous un angle d'incidence  $i_1 = 11^\circ$ .

- 1) Calculer la durée de propagation nécessaire pour que l'onde plane réfractée dans l'eau atteigne un observateur placé à 20 m de profondeur sur la verticale du point d'incidence. Faire un schéma indiquant quelques plans d'onde dans les 2 milieux.
- 2) Cette onde se réfléchit sur le fond du lac situé à 30 m de profondeur et est reçue par un bateau, une seconde après son émission par l'avion. Faire un schéma et calculer l'altitude à laquelle se trouvait l'avion.

Donnée : Célérité de l'onde dans l'eau  $c_2 = 1500 \text{ m.s}^{-1}$

B) CORRIGE



I - Analyse du problème :

- \* onde plane
- \*  $c_1 = 340 \text{ ms}^{-1}$  (air)
- \*  $c_2 = 1500 \text{ ms}^{-1}$  (eau)
- \*  $i_1 = 11^\circ$
- \*  $d_1 = 20 \text{ m}$
- \*  $d_2 = 30 \text{ m}$
- \*  $t_{\text{total}} = 1 \text{ s}$

- 1)  $t_1$  ?
- 2)  $h$  ?

II - Formules à utiliser :

\* lois de la réfraction et de la réf

$$* \frac{\sin i_1}{c_1} = \frac{\sin i_2}{c_2}$$

\* Angle incident = Angle réfléchi

$$* c = \frac{d}{t}$$

III - Chemin à suivre :

1)  $OH = d$

$\sin i_2 = \sin i_1$       => permet de connaître  $\cos i_2$  ;

$$\cos i_2 = \sqrt{1 - \sin^2 i_1}$$

$t_1 = \frac{d}{c_1}$  avec  $d = d_1 \cdot \cos i_2$

2)  $t = t_0 + 2t_2 \Leftrightarrow t_0 = t - 2t_2$

$t_0$  = temps de l'onde dans l'air

$t_2$  = temps de l'onde dans l'eau avant la réflexion

$t_0 = \frac{D}{c_1} \Leftrightarrow D = t_0 \cdot c_1$       puis  $h = D \cdot \cos i_1 = t_0 c_1 \cos i_1$

$d' = OS_2 = \frac{d_2}{\cos i_2}$        $t_2 = \frac{d'}{c_2}$

.. - Calculs

$$1) t_1 = \frac{d}{c_1} = \frac{d_1 \cos i_2}{c_1} = \frac{d_1}{c_1} \sqrt{1 - \left(\sin i_1 \frac{c_2}{c_1}\right)^2} = 7,19 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$2) t_2 = \frac{d}{c_2} = \frac{d_2}{c_2 \cos i_2} = \frac{d_2}{c_2 \sqrt{1 - \left(\sin i_1 \frac{c_2}{c_1}\right)^2}}$$

$$D = c_1 \left( t - \frac{2d_2}{c_2 \sqrt{1 - \left(\sin i_1 \frac{c_2}{c_1}\right)^2}} \right) = 314,8 \text{ m}$$

$h = \text{altitude de l'avion} = D \cdot \cos i_1$

$$h = c_1 \cdot \cos i_1 \left( t - \frac{2d_2}{c_2 \sqrt{1 - \left(\sin i_1 \frac{c_2}{c_1}\right)^2}} \right)$$

$h = 309 \text{ m}$

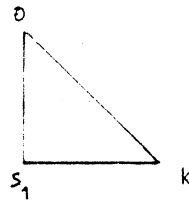
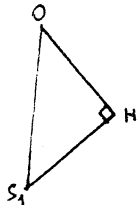
### C) ERREURS DES ELEVES

\* Erreurs dans les angles d'incidence (par rapport à l'horizontale au lieu de la normale).

\* Utilisent  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$  avec  $n_2 = \frac{4}{3}$  ;

$n_1 = 1 \Rightarrow$  confusion avec les ondes lumineuses

\* 1) calcul de t faux :



calculent OK au lieu de OH

\* Mauvaise représentation des plans d'onde : 10 représentations correctes (sur 32).

\* 9 figures correctes pour les rayons incidents et réfractés (s'éloignent de la normale).

\* Temps mis dans l'eau :  $\frac{d_2}{c_2}$  au lieu de  $\frac{d_2}{c_2 \cdot \cos i_2}$

\* 1 élève a mis le bateau au fond du lac.

\* 1 élève, après avoir trouvé la distance dans l'eau, retranche 30m.

\* Ils calculent D et non h.



GROUPE III

---

Exercices nouveaux en classes de seconde  
Fiches 1 et 2

M. ESPAIGNET , C; LECOQ , A; GUILLOUX

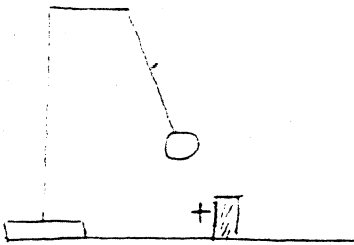


---

FICHE 1 - INTERACTION A L'INTERIEUR D'UN DISPOSITIF

---

Exercice 1 :



Le dispositif suivant est constitué de 7 parties : une potence, un fil, une sphère, une règle électrisée posée sur la table, la table, la terre, l'air.

1) Faire l'inventaire des interactions existant entre les différentes parties du dispositif telles qu'elles sont décrites ci-dessus en précisant la nature de ces interactions (de contact où à distance).

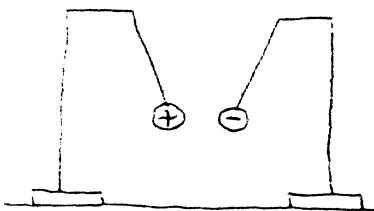
2) Représenter ces interactions par un diagramme parties interactions.

Exercices 2 : Considérons que le dispositif de l'exercice 1 est constitué de 5 parties seulement :

- la règle électrisée
- la table
- l'air
- la terre
- l'ensemble (potence, fil, sphère)

Répondre aux questions posées dans l'exercice 1.

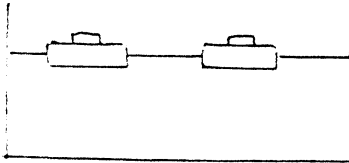
Exercice 3 :



Le dispositif suivant est constitué de 2 potences, 2 fils, 2 sphères électrisées posés sur une table. On définira d'abord plusieurs parties constituants ce système.

Répondre ensuite aux questions de l'exercice 1.

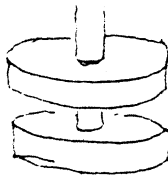
Exercice 4 : Le dispositif suivant est constitué de 6 parties :



- (aimant 1, bouchon 1)
- (aimant 2, bouchon 2)
- eau
- cristalliseur
- terre
- air

Répondre aux questions de l'exercice 1.

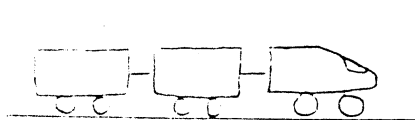
Exercice 5 : Le dispositif suivant est constitué de 6 parties :



- aimant 1
- aimant 2
- axe
- table
- air
- terre

Répondre aux questions de l'exercice 1.

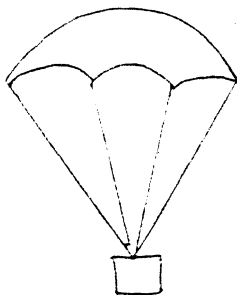
Exercice 6 : Le dispositif suivant est constitué de 6 parties :



- ensemble des 2 rails
- wagon 1
- wagon 2
- motrice
- terre
- air

Répondre aux questions de l'exercice 1.

Exercice 7 : Le dispositif suivant est constitué de 4 parties :

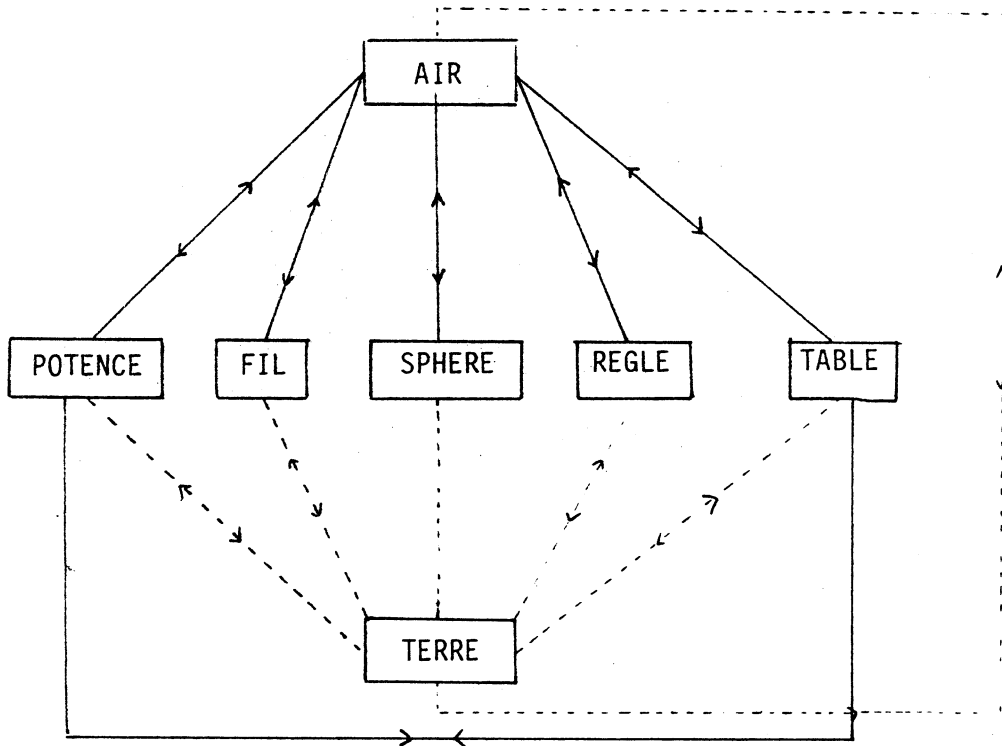


- parachute
- charge
- air
- terre

Répondre aux questions de l'exercice 1.

EXERCICE 1 - DIAGRAMME DES INTERACTIONS

---



—— contact

----- à distance

---

FICHE 2 - ACTIONS S'EXERCANT SUR UN SYSTEME

---

exercice n°1

Considérons le dispositif de l'exercice n°1, fiche n°1.  
Décrire les actions exercées sur la sphère par le milieu extérieur à celle-ci en précisant leur nature (de contact ou à distance d'une part, nature électrique, magnétique, attraction universelle, tension de câble, action de support etc...).

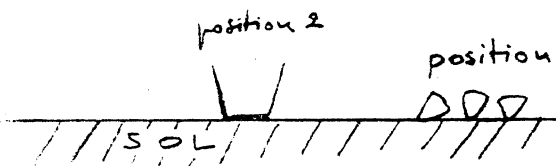
exercice n°2

Soit un verre étudié au cours de sa chute vers le sol dans les positions représentées sur le schéma :

1) Faire le diagramme des interactions entre le verre et le milieu extérieur au verre :

a) pour la position 1

b) pour la position 2



2) Décrire les actions exercées sur le verre par le milieu extérieur au verre en précisant leur nature :

a) pour la position 1

b) pour la position 2

#### SPONSORS

Université Libre de Bruxelles  
Vrije Universiteit Brussel  
Fonds National de la Recherche Scientifique  
Nationaal Fonds Wetenschappelijk Onderzoek  
British Council  
Siemens  
Fabrique Nationale  
Limburgs Universitair Centrum  
Agfa Gevaert  
Jeugd en Wetenschap

#### FURTHER INFORMATION

Professor A. ART  
Chairman of the Organizing Committee  
Faculté des Sciences CP 234  
Université Libre de Bruxelles  
B-1050 Bruxelles - Belgium  
Tel (92 2) 640 00 15 ext. 5737-5736  
Telex: 23088 UNILIB B

Professor H. EISENDRATH  
Fakulteit van de Wetenschappen  
Vrije Universiteit Brussel  
B-1050 Brussel - Belgium  
Tel (92 2) 641 34 58  
Telex: 61051 VUBCO B

## INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSICS TEACHING

November 11-13, 1985

Université Libre de Bruxelles  
and  
Vrije Universiteit Brussel

Second Circular

#### Main themes

1. Why teach physics?
  2. What to teach?
  3. How to teach it?
- with interest centered on the transition  
school to university level, teacher education  
physics for non-physicists.

#### Honorary Committee

I. PRIGOGINE (B)  
H.R. CASIMIR (NL), J.M. GILLES (B)  
H. HASOUBI (B), H.P. HOOFMAYERS (NL)  
P. KACEMAREK (PL), J.M. LEVY-LEBLOND (F)  
A. LORIA (I), M. OLIVEIRA (GABON)  
G. STEENHAUT (B), L. VIENNOT (F)

#### Organizing Committee

A. ART (B), O. BETBEDER-MATIBET (F), G. BORN (D)  
G. CARDINAEI (B), F. CERULUS (B), J. DEPIREUX (B)  
H. EISENDRATH (B), F. GRANDJEAN (B), J. HARRIS (I)  
P. HERQUET (B), P. LINSE (NL), J. MARTINAND (F)  
A. MEESSEN (B), R. OTTHIERS (B), R. SEKI (JA)  
T. SOLOMANIUK (B), J. SURKEYN (B)  
L. VAN DE VELDE (B), C. VAN DEN BOGART (B)  
J. VAN WEEREN (NL), L. VERHAEGEN (B)

BRUXELLES NOVEMBRE 1985

---

I - Prigogine (Belgique) ; Université Libre de Bruxelles

Est-ce la fin de la physique théorique ? le 18<sup>e</sup> siècle était-il la fin de la mécanique ? On est loin de connaître l'univers. C'est le début plutôt que la fin. C'est simplement cyclique.

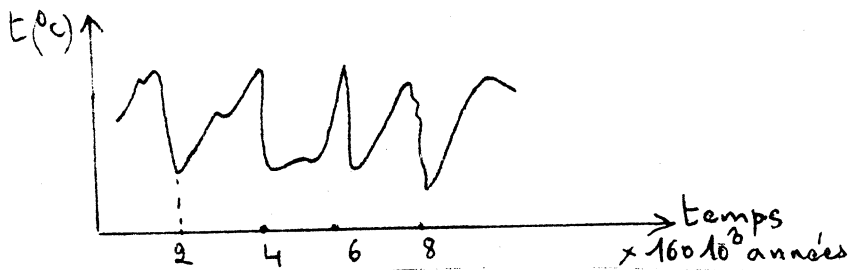
L'interaction entre sciences et société (facteurs internes et externes) est très profonde : les 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècle sont le temps des monarchies absolues. Les lois de la physique rationnelle ne sont pas dissociées de la société de l'époque. Au 19<sup>e</sup> siècle, la thermodynamique est le reflet de l'angoisse du monde industriel (énergie du monde est constante donc crainte d'arriver au bout de ses ressources) . Le 20<sup>e</sup> siècle est aussi important que le 17<sup>e</sup> siècle avec Galilée, avec en 1<sup>ère</sup> partie la mécanique quantique et la relativité qui correspondent à une continuation de la mécanique classique, déterministe et réversibilité et avec ses concepts universels ; en deuxième partie de ce siècle, il y a la redécouverte de l'instabilité et du temps, les découvertes des particules instables, de la radiation des corps noirs, de l'existence des trous noirs... l'univers n'est plus intemporel. La thermodynamique au 19<sup>e</sup> siècle était un sujet clos contrairement à la thermodynamique actuelle qui devient un sujet limitrophe de la science.

La réalité, l'origine de la vie, la complexité de l'environnement commencent à entrer dans le champ d'étude. Le champ d'étude est l'univers mais aussi sa relation avec l'univers. C'est aussi une rationalité. Une vie de scientifique c'est une vie de relations humaines

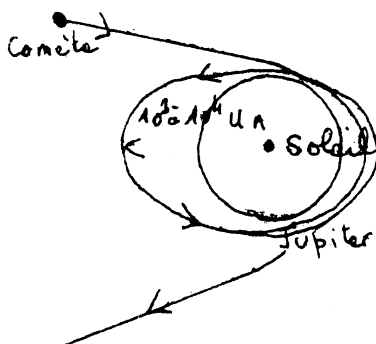
Pourquoi étudier la physique ? On va actuellement vers une physique à notre propre échelle. La nature se comporte dans un état loin de l'équilibre contrairement à ce que l'on avait cru jusqu'alors, de même, elle se comporte de façon non linéaire, dans certaines conditions limites.



Il faut renoncer à prouver l'unicité, la seule solution et valoriser la richesse des structures qui nous entourent. Les turbulences à comportement non linéaire sont un champ de recherche très important. L'instabilité se trouve dans tous les fluides courants. Les fluides ne sont pas chaotiques hors de l'équilibre, ils ont une structure spatiale et temporelle. Exemple : problème du changement climatique.



Le développement des sciences physiques est-ce pour jouer pile ou face? où sont les lois physiques? La dynamique moderne de Kolmogoroff n'a plus de structure déterminée et s'intéresse aux problèmes non périodiques; Exemple du problème des 3 corps (Soleil-Jupiter-comète) le mouvement de la comète est parabolique, hyperbolique, circulaire? combien de comètes sont captées? quelles seraient leur durée de vie moyenne? c'est donc à une modification très profonde de la compréhension de l'univers qu'apporte la physique.



Pour plus de détail voir la publication "Sciences, Civilisation, Démocratie" de M. I. Prigogine faite pour la 6<sup>e</sup> conférence parlementaire et scientifique tenue par le conseil de l'Europe du 3 au 6 juin 1985 à TOKIO/TSUKUBA

### III - M. WE BIJKER (Netherlands); Twente University of Technology - Enschede

Qu'est-ce que la physique dans l'enseignement secondaire, ce n'est pas de la physique.

La méthode est-elle rationnelle? Les savants sont-ils des exemples de rationalité?

- I) Qu'est-ce que la Physique au lycée?
- II) Image de la science, et de la physique
- III) Images plus subtiles
- IV) Physique plus concrète et revenir aux attitudes de ceux qui l'ont construite (histoire de la physique)

## I - Qu'est-ce que la physique au lycée ?

Pour l'élève, c'est une activité inintéressante, statique, qui n'a rien de spécial. Elle n'est pas humaine, non réaliste et omnipotente (une seule réponse, claire et limpide...) c'est déterminé une fois pour toute.

Pour le professeur la science est rationnelle, abstraite et source d'innovations technologiques.

## II - Critique de ces deux images

Ce n'est pas honnête sur le plan académique -ce n'est pas si rationnel que cela- 70% des innovations technologiques viennent de la recherche militaire.

L'attitude passive qu'offre cette matière avec 1 seule solution et des professeurs omniscients apportent des situations de conflit. Si deux scientifiques rivalisent l'un deux à tort... Le reste ne me regarde pas, je cherche la vérité absolue. Cette formation aussi étroite, est dangereuse car elle éloigne les élèves de la recherche et ne leur permet pas d'étudier la physique sous différents angles. De plus 80% des élèves seront des citoyens (le plus important) et 20% des élèves feront des sciences.

## III - Images de la science, plus adéquates, à la lumière des récentes études

La science est une activité ouverte il n'y a pas de limite fixe entre science et société.

## IV - Exemples d'attitudes à cultiver avec les élèves

Montrer les étapes de la construction de divers modèles qui sont à chaque fois une simplification de la réalité.

La connaissance est construite

a) Ptolemée avait raison, Copernic aussi, montrer en quoi leur solution était la plus appropriée à l'époque

b) présenter l'idée de mouvement dans le modèle grec, et le modèle newtonien

c) présenter les controverses au sujet de l'énergie nucléaire

Il ne faut pas avoir un jugement manichéen bon/mauvais, vrai/faux. Montrez les relations avec les différents modèles. Argumentez. Cette nouvelle vision de l'enseignement de la physique permettra de mieux définir la nature de la science et de la technique et donnera aux futurs citoyens un minimum d'autonomie intellectuelle pour contrôler la science, afin de survivre.

A. Meessen (Belgique) : Université Catholique de Louvain

Entre les années 1973-1975, il y eu une tendance presque universelle d'innovation de la Physique, en considérant les lacunes des systèmes d'enseignement existants. Il y a eut une rénovation belge.

Les idées à la base étaient les suivantes : quoi et comment enseigner ? Jusqu'alors c'était l'image d'une société statique : communiquer la connaissance avec une méthode de mathématique appliquée et en énumérant les lois... ce n'était pas acceptable et trop encyclopédique. Ces temps sont révolus et l'évolution va vers un changement qualitatif.

L'enseignant n'est pas libre, enclavé dans une liste de lois (programmes). L'enseignant doit trouver les critères de ses propres choix.

L'exposition dogmatique de la vérité n'est pas adéquate pour une compréhension de la dynamique de cette vérité. Il faut élaborer un raisonnement de cette pensée créative. Il y a des modifications de la société et sur notre mode de penser. C'est l'évolution des idées, des changements technologiques qu'il faut présenter.

La seule référence à la physique, c'est l'être humain. Aux Pays-Bas, ils cultivent la responsabilité sociale face au pouvoir toujours plus grand de la science. Ces dernières années, on différenciait le raisonnement concret du raisonnement abstrait, qui doit venir après celui du concret et en tenant compte de l'existence de conceptions fausses.

Le résultat de l'enseignement de la physique, est que la curiosité est tuée, les élèves finissent par être agressifs, et opposés à la science, pourquoi ?  
Quelle signification donner à l'enseignement des sciences? Il faut réorganiser le travail, insister sur la façon de raisonner, apprendre à formuler des questions, à raisonner par soi-même. C'est autre chose que le gavage à la cuiller, ou la pure mémorisation. Il faut faire une analyse critique de ce que nous faisons.

En Belgique en 6 années

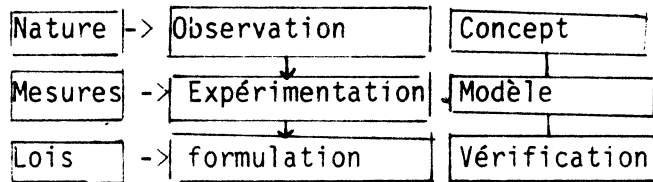
I degré ) 1 à 2h/semaine  
II degré)

III degré 1 à 3h/semaine

lère année : observer et acquisition de connais - sances.

Les 3 dernières années : structuration du raisonnement





Au début de la construction, on n'est pas sûr que ce soit exact. Il faut avoir un cadre bien défini, à l'intérieur duquel la souplesse est cultivée. Il faut une aide pédagogique et une méthode logique pour favoriser l'initiative des élèves, proposer des critères de choix, lorsque les choix sont possibles.

On n'a pas le temps de tout voir. Il faut s'y résigner car sinon c'est du tourisme si l'on veut tout voir. Avec l'histoire des sciences, il faut insister sur l'erreur pour les concepts de masse, force, vitesse...

Il faut travailler plus par analogie qui permet un esprit plus ouvert. L'hypothèse fondamentale doit être bien présentée. Par exemple l'approximation de l'optique géométrique.

L'expérience, c'est une question à la nature. La structure de l'enseignement est à revoir. Il faut insister sur les définitions opérationnelles des concepts.

Les applications de la science sont l'amélioration de notre mode de vie.

Quand on énonce des règles, dire qu'elles ne sont pas toujours vraies. Il faut remplacer les exercices par une réflexion personnelle et proposer à l'élève d'autres références que le cours du professeur afin de stimuler l'initiative personnelle. La pratique est difficile dans cet enseignement.

Mme WEI YIN LUO (Chine) ; Zhonghan University, Guangzhon

- La réforme de l'enseignement des sciences physique à l'Université en Chine est liée au développement économique.

- 1) trouver une solution aux problèmes économiques
- 2) capacité à introduire de nouvelles technologies
- 3) accès aux informations technologiques

AJCD HOLVAST (Netherlands) ; State University - Utrecht

Il a rappelé le récent suicide d'un professeur français près de Lille. La formation des professeurs est de 4 ans, et une année de formation professionnelle, avec sélection à ce moment, en cultivant l'aptitude à faire face aux situations concrètes.

La philosophie est la suivante :

- il faut une transition continue entre étude et travail. Pendant cette transition, il y a choc de la réalité et perte de son idéal. Il faut apprendre un comportement de survie

- le professeur doit tout savoir ! doit développer ses connaissances pendant son travail. Analyser son comportement (développer cette capacité) trouver le propre style de l'enseignant. Le "bon" professeur a une personnalité. Il faut chercher le style qui lui convient

Il faut intégrer la didactique, soit des sciences physiques, soit générale. Intégrer théorie et pratique et garder un lien avec l'Université et l'école.

Il faut passer du simple au complexe. La situation d'une classe est complexe, avec un entraînement au jugement critique. Le professeur est un chercheur qui contribue au progrès avec des innovations créatives.

Le professeur a conscience de ses propres valeurs. Depuis cette année il a été créé des projets de recherche avec des groupes expérimentaux : Travail en trio : 2 observent, 1 travaille. Pas d'imitation mais plutôt il faut encourager l'individualité.

P. NARDONE (ULB Belgique)

Quel que soit le niveau de l'enseignement, le professeur de physique est amené à se poser des questions globales sur trois étapes dans le processus d'enseignement ;

- a) quelles sont les connaissances requises pour son enseignement ?
- b) quelles sont les méthodes pédagogiques qu'il peut ou qu'il doit utiliser ?
- c) quels sont les buts qu'il se propose d'atteindre. Il faut clairement poser le problème aux pouvoirs organisateurs de l'enseignement pour pouvoir y répondre de manière satisfaisante et choisir en conséquence une méthode pédagogique appropriée.

La voie d'enseignement étant déterminée en fonction des critères déterminés précédemment, nous ne sommes pas pour autant certains de l'assimilation effective de la matière. Les échecs en première candidature, sur des matières déjà étudiées, sont là pour nous le rappeler. Ces échecs nous montre que l'assimilation du cours de physique n'est pas réelle. Le contenu de cet enseignement, par trop éloigné du monde courant, rebute. Le choix des thèmes traités, est souvent trop abstraits et tend à une écoute passive de l'étudiant qui se limite aux formes extérieures, plutôt qu'au contenu des faits physiques.

Nous pensons qu'une méthode d'enseignement interactif basé sur une participation active des étudiants à l'acquisition des connaissances et sur un choix vivant et concret des thèmes, permet d'atteindre une assimilation effective de la matière.

Mme TALISAYON (Université de Manille - Philippines)

L'éducation scientifique, en sciences physiques, la technologie, procurent le développement des pays comme les U.S.A., le Japon, l'Allemagne. Donc la question se pose, comment faire pour rendre cet enseignement plus facile. Le public n'aime pas la physique en général. Notre pays est la 2<sup>e</sup> puissance géothermique du monde. La formation en énergie solaire et géothermique se fait en R.F.A. et nous dépendons de l'occident. Le personnel de haut niveau manque : pour 10 millions d'habitants, il y a 5 physiciens philippins, pour 500 ou 1000 en Occident. Le salaire des professeurs est très faible, 87 dollars américains par mois, donc ils vont vers le privé. Les manuels sont étrangers et peu appropriés à la situation locale, la façon d'enseigner la physique dépend du pays. Pour un pays en voie de développement le cours de physique doit être

- 1) attractif ; Physics is fun, physics in sports, physics in music (plaisir)
- 2) propre à amener l'élève à une curiosité scientifique
- 3) propre à résoudre les problèmes de l'économie du pays. Le lien avec la société, l'enseignement étant obligatoire.

Les programmes sont fonctions des besoins locaux. Dans les zones rurales par exemple, on étudie le moulin à riz, le moulin à vent, le moulin électrique puis les principes de physique. Il faut partir du concret.

La valeur de l'enseignement : domaine ouvert avec un lien avec la société, l'environnement.

Développement de la physique -> les retombées sur le pays ne sont pas évidentes. (volonté politique de gérer la technologie). Ceci doit être plus concomittant dans les pays développés. Il faut former les dirigeants politiques à ces problèmes. La physique doit être humaine.

Felix M.H VILLARS (U.S.A) ; Massachusetts Institute of Technology

Ce que j'enseigne, c'est la physique pour les étudiants en médecine. Voir la physique enseignée soit dans un pays en voie de développement ou pays riche est un problème intéressant.

Après 30 années d'enseignement, je me pose la question quoi enseigner, pourquoi enseigner la physique ? la 1ère question entraîne la 2è question. Que voient les jeunes ? Comment conçoivent-ils l'Univers ? Ce fut mystérieux ces 20000 dernières années, et actuellement que nous sommes dans un environnement très confortable avec les artifices des sciences et techniques (téléphone, radio, avion...) c'est resté pour la plupart encore mystérieux. Le monde technique n'est pas compris. Les scientifiques restent des grands prêtres, sorciers; intermédiaires de la connaissance. Ce sont de nos jours les experts qui répondent. Il y a une différence malgré tout.

Pourquoi enseigner la physique ?

Les experts scientifiques n'ont pas la confiance du public, ni des politiques, car ils n'ont pas la connaissance scientifique. L'esprit scientifique n'a pas pénétré les médias et une bonne partie des jeunes.

Comment enseigner la physique ? Méthodologie :

Il faut présenter un cours compact, car on n'a pas le temps de présenter la construction de cet édifice. Par un exemple ponctuel, cependant, il faut montrer comment fonctionne le processus

Les élèves ressemblent plus à un récipient passif, mémorisant seulement, et assimilant les découvertes des génies, point à la ligne (aspect négatif).

Ce qui risque de captiver, avec des résultats à long terme ce n'est pas l'encyclopédisme mais le fait de donner une vision panoramique de l'Univers et après les idées globales, faire une investigation précise. Il faut amener l'étudiant à une attitude critique en justifiant une argumentation, une preuve (formation du jugement).

Je vois 7 points

- 1°) Pas de sujet fait trop rapidement
- 2°) Prendre des sujets dans le domaine du sport, voiture, voile, escalade... pour captiver leur attention
- 3°) Pas d'ordre imposé : méca d'abord, ... la physique statistique, probabiliste est très intéressante
- 4°) Le rôle des mathématiques crée une angoisse ; la machine à calculer est alors un compagnon indispensable : moins d'angoisse
- 5°) Les concepts complexes sont à présenter très simplement



6°) Proposer aux étudiants des expérimentations en kit à faire chez eux en donnant un prix au 1er...

7°) Pour le cours magistral, l'expérience, doit être illustrative, et faire une lecture ou une démonstration ?

Le problème est de comprendre la réflexion de quelqu'un d'autre qui est présentée trop schématiquement. Il faut poser la question : pourquoi faites-vous cette déclaration ? il faut encourager cette attitude d'esprit.

La mécanique est ennuyeuse ? allez chercher des sujets dans le sport ; Etude du saut à la perche...

Comment avons nous déterminé le nombre d'Avogadro, faire une expérience à ce sujet. Approche statistique des choses. Il faut mettre l'accent sur la compréhension approfondie, cela capte mieux l'attention des étudiants. Enfin les élèves sont très sensibles aux jugements des professeurs.

A.H.C. VAN MEIJGAARD (Netherlands) ; Technische Hogeschool Twente ; Enschede

Face à la crise , et aux restrictions financières, les hollandais ont lié les besoins de l'Industrie et ceux de l'Université . Cette coopération (Industrie-Enseignant) est un bienfait pour les étudiants, futurs ingénieurs.

Il y a mélange de fonds privés et fonds d'état. La formation pratique est fortement liée avec l'Industrie, exemple : La SHELL à Delfhe, PHILIPS à Eindhoven. Ils y passent au minimum 3 mois. Au niveau des thèses finales, il y a des associations de stages internationaux, au minimum au niveau Europeen, ce qui permet une ouverture pour les étudiants et professeurs (4 mois ou plusieurs années). La thèse ne dure que 5 à 9 mois ; elle permet une introduction dans l'industrie du futur ingénieur. C'est une bonne introduction à la vie dans l'industrie, à la vie réelle. Le feed-back se fait dans les deux sens, par une connaissance commune .

Le financement des Ecoles et Universités a été très réduit en 1980 :

- 1)le gouvernement, la plus grande partie
- 2)le conseil de la recherche scientifique, pour le salaire des personnels et équipement
- 3)le contact est donc nécessaire avec l'industrie pour financer le reste.

Quel seuil atteindre dans cette répartition ?

Les liens entre les Ecoles supérieures techniques, l'Université et les P.M.E. se font beaucoup et aussi avec quelques multinationales.

Les connaissances scientifiques deviennent des ressources importantes pour le pays.

\* Il y a eu des créations de "Petits bureaux" sur place, pour traduire les problèmes industriels en problèmes scientifiques. Les subventions vont jusqu'en 1988. De plus en plus, les P.M.E. demandent l'assistance des scientifiques. L'entretien des "petits bureaux" est offert par une multinationale comme Philips.

Conclusion : Exemples de travail co-produit par l'industrie et l'Université :

- 1) domaine des faibles  $T^{\circ}$  -> supraconductivité
- 2) fabrication de carillons (méthode pour le moulage-automatisation par ordinateur- financement par le ministère)
- 3) à Delft ,microscope électronique pour les états de surface, problèmes de corrosion

sigles des organisations :

S.E.F.I. : European Society for the Formation of professional engineer.

E.E.C. : (Commission of the) European Community.

I.A.E.S.T.E. : International, Association for the exchange of students, for technical Expérience.

G. FOUREZ (Belgique) Pour une éthique de l'Enseignement de la Physique ; Facultés universitaires de NAMUR

Cette communication montrera comment des questions éthiques et parfois aussi socio-politiques sont liées aux contenus mêmes de l'enseignement de la physique. Elle montrera comment les contenus d'Enseignement ne sont pas uniquement déterminés par les sciences. En conséquence, l'enseignement de la physique ne paraîtra pas de ce point de vue, fondamentalement différent de ceux de l'histoire, ou de la littérature à propos desquels il est couramment admis que des questions idéologiques se posent. La communication précisera d'abord comment l'établissement d'un programme de physique ne se structure pas autour d'une rationalité scientifique, mais autour d'un projet de société (que veut-on apprendre à ces jeunes là ?) en intégrant les contraintes venant des exigences du savoir scientifique d'une part, des capacités d'apprentissage des élèves, des données économiques, et des limites de la souplesse du cours d'autre part.

Ensuite on examinera comment, dans le contenu même d'un cours de physique, une vision de la société donc des idéologies, est transmise. On montrera dans des exemples précis de manuel, comment les professeurs peuvent orienter d'une façon ou d'une autre, les idéologies véhiculées par leur cours.

On ébauchera une grille d'analyse permettant de prendre conscience des lieux où l'idéologique affleure dans l'enseignement scientifique.

Les perspectives éthiques alors développées insisteront sur le fait qu'il est impossible de ne pas véhiculer des idéologies dans un cours de physique, mais qu'il n'est sans doute pas déontologiquement admissible d'avoir des biais trop systématiques. Ce genre de préoccupations éthiques est très semblable à celles qu'acceptent généralement les professeurs d'histoire, et de littérature. Il s'agit d'éviter que les cours de sciences ne deviennent un endoctrinement idéologique. Cela apparaîtra d'autant plus important que les élèves lors des cours de sciences, sont souvent prêts à accepter automatiquement tout ce que l'on y enseigne (tandis que dans des cours de morale ou de religion, ils prennent plus facilement une attitude critique).

En conclusion, on indiquera ce que ces perspectives impliquent pour la formation de professeurs de physique de manière à ce qu'il ne soient pas trop démunis face à des questions que, traditionnellement, les enseignements des sciences ont peu considérées. (résumé donné avant la conférence)

M. HULIN (France) ; Université Pierre et Marie Curie - PARIS

Le lancement du 1er satellite (spoutnik) par les Russes, posa un problème aux USA et au monde occidental. Il y eu alors des projets de réforme de l'enseignement des sciences aux USA, PSSC, HPP ; en Angleterre, projet Nuffield; en France, le projet Lagarrigue, et l'Unesco qui fit un gros effort.

25 ans après c'est une crise économique après un développement exponentiel. Un défi est posé et pour remédier au décollage entre la formation technique demandée et celle acquise, la formation permanente est instituée, avec largage de couches sociales-problème vieux comme le monde-

Le gros problème des enseignants est qu'ils ne savent pas apprendre beaucoup de science à beaucoup de gens. Il faut dire que c'est un échec pour le PSSC car beaucoup d'élèves américains désaffectent les sciences physiques (voir Article PHYSICS TO DAY. Sept 83 N° spécial). En France, c'est aussi un échec ; c'est un problème ni mineur, ni grave de constater que peu d'élèves peuvent avoir cet enseignement ; Au 19è siècle, en Europe, l'enseignement était centré sur les humanités, depuis on en est à la 79ème réforme. Il y a cependant des obstacles incontournables; 1) difficulté de la formalisation mathématique; 2) le Pb de la modélisation est escamoté et trop rapide ; 3) l'expérience n'est utilisée que si on connaît beaucoup de physique, il faut déjà une connaissance constituée pour faire des expériences ; 4) Enfin la physique s'affronte au quotidien (didacticiens depuis 12 ans, enseignements souterrains avec la représentations des élèves, et celle de l'histoire des sciences).

Il faut convaincre pour avancer, cette gymnastique ésotérique intellectuelle qu'est la physique, fait appel à des aptitudes variées d'activités complexes. C'est aussi difficile que le saut à la perche (Compte rendu partiel, PROVOST Sylvie LT Elbeuf).

Affiche

COPRODUCTION : C.N.A.M. LABO. D'INFORMATIQUE/ Direction des Lycées  
292, rue Saint Martin  
75141 Paris Cedex 03

"ORDINATEUR OUTIL PEDAGOGIQUE  
DE LABORATOIRE ET D'ATELIER"  
C. RELIER

- 1 - Présentation des objectifs (1/4h environ)
- 2 - Expérimentation de quelques "valises" (Logiciels, interfaces, documents d'accompagnement) (1h 30 environ)

Sujets: 1 - Pendule ; 2 - Dipole ; 3 - Charge et décharge d'un condensateur ; 4 - Cinétique chimique ; 5 - Automatisation ; 6 - Transfo.

- 3 - Discussion sur l'usage, l'intérêt de ce matériel (1h environ).

MERCREDI 22 JANVIER 1986 - 14h 15 - 17h 15

Lieu: C.U.F.I.A.P. (stage lourd Informatique)

Ecole Normale de Garçons  
2, rue Tronquet (1er étage)  
76130 Mont Saint Aignan

## a) COMPTE RENDU DE L'OPERATION "VALISE DU CNAME"

### "L'ORDINATEUR, OUTIL DE LABORATOIRE"

La présentation du contenu de la valise s'est faite au CUIFAP, le Mercredi 22 janvier 86 par C. Rellier.

35 collègues de 15 lycées différents de l'académie étaient présents ainsi que, Mme JACQ IPR (l'Information ayant passé par le courrier de l'U.D.P.) 4 établissements ont emprunté pour 1 mois, la valise :

- le lycée J. D'Arc : Mme CHAUMAT : Février
- le lycée Technique F. Buisson: Mme PROVOST/Mme TOMI : Mars
- le lycée Les Bruyères : Mme ETASSE : Avril
- le lycée de Vernon : Mme SARRASSAT/Mme ROULEAU : Mai

### I - REACTION DES PROFESSEURS

De manière générale il y a eu de nombreuses difficultés pratiques :

a) Le lycée Technique F. Buisson a du prêter le matériel de physique et de chimie aux collègues des lycées classiques (alimentation stabilisée, conductimètre à affichage numérique,...).

b) 1 appareil M05 ou T07 doit être "prêté au laboratoire de physique pour être utilisé sur place car il est impossible de transporter le matériel de physique ou de chimie dans la salle où se trouve le nano réseau.

Ont été, partiellement ou complètement, expérimentés les programmes suivants :

- a) DIPOLE
- b) DECAP
- c) CINETICO

#### A) DIPOLE

1) aspect statistique ; contexte : ce programme a été présenté le 25 Mars devant une classe de 2e de détermination, à la fin d'un cours d'électricité, dans le but de faire un résumé, une synthèse de ce cours.

Ceci s'est passé pendant une heure seulement. L'avantage de cette formule est de condenser à l'extrême afin d'en voir l'évolution, et comparer les propriétés des divers dipôles, leurs associations, leur intérêt respectif.

Mon impression est très favorable pour un premier contact. L'avantage de cette forme d'enseignement c'est de privilégier le côté visuel, d'habituer les élèves à réfléchir sur des courbes. Je n'ai pas tout exploité dans ce programme ce qui me donnera l'occasion de diversifier la présentation les prochaines années avec plus de matériel en favorisant la forme Travaux Pratiques par exemple.

2) objectifs généraux : ces objectifs sont atteints par une utilisation de l'oscilloscope, cependant on peut simultanément obtenir

plusieurs courbes, aussi que la droite de charge. Le lissage des courbes n'est pas toujours bon, ce qui a gêné quelques élèves.

3) particularités , le montage n'est pas suffisamment explicite.

## B) DECAP

### 1) Aspect statistique

Pas expérimenté devant les élèves car le logiciel indique constamment : "condensateur non déchargé", la plupart des collègues ont essayé de le faire tourner partiellement.

### 2) Objectifs généraux

Le début du programme est réalisable en TP, mais la fin du programme est particulièrement intéressante avec le choix des courbes à visualiser en particulier  $P=f(t)$  cependant il n'était pas possible de comparer RC par le calcul et par la tangente à la courbe  $I=f(t)$ , puis l'aire de la courbe avec Q. La partie simulation semble moins intéressante : les réponses sont données trop tôt, on ne voit pas toujours ce qu'il faut répondre.

### 3) Particularités

- logiciel intéressant dans l'ensemble
- notice explicative convenable - les temps de calculs sont un peu long (3min)
- il n'a pas été facile d'imaginer que la source de tension était donnée sur l'interface 5V.

## C) CINETICO

### 1) Aspect statistique

Classe de TF6 "cinétique" Mars 1986.

Contexte : Compte tenu de certaines difficultés rencontrées lors de la mise au point de l'expérience, le programme "CINETIQUE" n'a pas été directement utilisé dans le cadre du cours, le calendrier ne le permettant pas.

Un cours classique a été fait, l'expérience est venue ensuite en tant qu'illustration. Cela a permis une récapitulation des résultats vus auparavant, en dégagant l'essentiel. Malheureusement, l'exploitation des résultats expérimentaux n'était pas mise en oeuvre à cette date. Cela aurait permis sans doute d'estomper tout le "côté mathématique" du problème (tracé des courbes  $\ln() = f(t)$ ... etc). Certains élèves ont relevé au vol des mesures et ont retrouvé l'ordre de la réaction étudiée.

Si c'était à refaire... j'essaierais d'utiliser la manip comme introduction, ce qui a l'avantage de matérialiser très rapidement et très simplement les "on constate expérimentalement que..." trop souvent répétés mais non illustrés dans un cours classique de cinétique en TF6.

### 2) Objectifs généraux

Au lieu de présenter les courbes au rétro projecteur, elles sont représentées "en réalité", ce qui rend le cours plus attrayant et

les résultats moins théoriques, et cela augmente l'impact sur les élèves.

Les parties 2 et 3 du programme n'ont pu être exploitées. D'autres part, il y a eu des problèmes au niveau du câble (le petit montage R C prévu sur la notice, n'existait pas dans la valise).

## I - LES ELÈVES

Ils ont répondu à un questionnaire que j'ai réalisé : (voir en annexe

- 1) DIPOLE LT F. Buisson Elbeuf PROVOST S.
- 2) CINETICO LT F. Buisson Elbeuf Mme TOMI

$F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5$

- 1) DIPOLE LT Buisson Elbeuf, PROVOST S. 2eD<sub>4</sub>

### a) Ce qu'il y a de nouveau

-----

- "ce matériel permet d'acquérir de meilleures applications géométriques"
- "la méthode graphique sur ordinateur"
- "façon plus originale et attirante d'apprendre le cours".

### b) Intérêt pour la compréhension des phénomènes

-----

- "les exemples variés facilitent la compréhension"
- "cette présentation permet des comparaisons"
- "cela permet de démontrer le cours, cela apporte un aspect plus large"
- "la démonstration est très claire"
- "c'est intéressant, on voit comment on fait de la physique avec un ordinateur"
- "meilleure compréhension des phénomènes et présentation visuelle"
- "on a l'impression d'être au goût du jour"
- "on comprend mieux que les schémas, sur le tableau"
- "meilleure présentation, c'est moins théorique".

### c) Remarques autres

-----

- "l'ordinateur n'est pas assez généralisé"
- "l'ordinateur est trop petit pour être vu au fond de la classe".

- 2) CINETICO LT F. Buisson Elbeuf Mme TOMI Term. F6

### a) Ce qu'il y a de nouveau

-----

- "l'interface" ; "l'informatique"
- "l'ordinateur combiné au résistimètre"
- "utilisation de l'ordinateur pour utilisation de données"



- "l'ordinateur au service des expériences de chimie".

b) Intérêt pour la compréhension des phénomènes

-----

- "Cela permet une analyse plus rapide du problème"
- "cela évite des calculs compliqués" ; "économie de temps"
- "je ne pense pas que ce système permette une meilleure compréhension, mais elle permet une manipulation très rapide"
- "cela facilite le travail (...) mais cela ne facilite pas la compréhension des phénomènes, car l'ordinateur faisant le travail, on ne réfléchit pas "
- "cela facilite la compréhension car on a la courbe aussitôt. C'est plus facile de comprendre avec la courbe".
- "on a une vision plus directe des courbes avec expériences à l'appui"
- "faire moins de travail, rapide, sûr"
- "interprétation de phénomènes de manière spontanée"
- "on voit effectivement la modification de la solution au cours du temps".

c) Remarques autres

-----

- "programme un peu lent"
- "il faut connaître l'informatique"
- "bon début dans les lycées. A développer. En faire des compacts "
- "expérience très intéressante qui devrait être plus développée".

Cette année 86/87 :

La valise a été expérimentée dans les lycées suivants :

LE LYCEE CORNEILLE, ROUEN - Mme Thorez, Classe Préparatoire :

PENDULOR, Janvier 87

Mme Lecoq, 2e Détermination :

DIPOLE, Janvier 87

LE LYCEE J. ANGO, DIEPPE - M. Ameline, 2e Détermination :

DIPOLE, Février, Mars 87.



Questions pour les élèves

Valise n° 2 C.N.A.M

Dates : 25.03.86

Sexe : Masculin

Lieu : F. Buisson Elbeuf

Age : 15 ans

Classe : 2nde D4 (de détermination)

Sujet présenté : Dipôles

Qu'est-ce qui semble NOUVEAU dans le matériel présenté ?	La représentation graphique. L'apparition de nouveaux éléments : interface.
Quel INTERET cela peut-il apporter ; cela facilite-t-il la compréhension des phénomènes.	Oui, c'est nouveau donc on s'y intéresse plus. On veut découvrir et comprendre.
Y-a-t-il selon vous des inconvénients des défauts à cette présentation	Oui, on ne nous ne présente pas suffisamment le matériel informatique
Remarques autres.	

N.B faites des phrases courtes, claires.

Questions pour les élèves

Valise n° 2 C.N.A.M

Dates : 25.03.86

Sexe : Féminin

Lieu : F. Buisson

Age : 16 ans

Classe : 2<sup>e</sup> Détermination

Sujet présenté : Dipôles en série en parallèle

Qu'est-ce qui semble NOUVEAU dans le matériel présenté ?	L'intérêt en est plus grand ! C'est une manière originale et attirante de suivre et comprendre un cours de physique.
Quel INTERET cela peut-il apporter ; cela facilite-t-il la compréhension des phénomènes.	La compréhension de ces phénomènes physiques en est d'autant probante.
Y-a-t-il selon vous des inconvénients des défauts à cette présentation .	Non. Peut être un manque de précision.
Remarques autres.	

N.B faites des phrases courtes, claires.

Questions pour les élèves

Valise n° 2 C.N.A.M

Dates : Mercredi 26 mars

Sexe : Féminin

Lieu : Lycée F. Buisson Elbeuf

Age : 18 ans

Classe : TF 6

Sujet présenté : La Cinétique

Qu'est-ce qui semble NOUVEAU dans le matériel présenté ?	Utilisation de l'ordinateur. Elément de l'ordinateur : interface..
Quel INTERET cela peut-il apporter ; cela facilite-t-il la compréhension des phénomènes.	Intérêt : faire plus d'expériences pour illustrer le cours théorique (Rapidité) <u>La compréhension est facilitée.</u>
Y-a-t-il selon vous des inconvénients des défauts à cette présentation .	<u>Inconvénients</u> : Il faut avoir un professeur.
Remarques autres.	Il faut apprendre l'informatique comme faisant partie d'une matière.

N.B faites des phrases courtes, claires.

Questions pour les élèves

Valise n° 2 C.N.A.M

F 4

Dates : 26/03/86

Sexe : Masculin

Lieu : Lycée F. Buisson Elbeuf

Age : 21 ans

Classe : TF 6

Sujet présenté : Cinétique d'une réaction chimique

Qu'est-ce qui semble NOUVEAU dans le matériel présenté ?	Rien de nouveau.
Quel INTERET cela peut-il apporter ; cela facilite-t-il la compréhension des phénomènes.	L'intérêt principal c'est que cette méthode supprime les calculs manuels. Cela facilite la compréhension par l'intermédiaire des courbes.
Y-a-t-il selon vous des inconvénients des défauts à cette présentation .	Inconvénients c'est qu'il faut tenir compte de plusieurs paramètres. Les défauts viennent de plusieurs chose, principalement de l'inertie des éléments."Les conditions opération doivent être appliqués très vite"
Remarques autres.	

N.B faites des phrases courtes, claires.

Questions pour les élèves

Valise n° 2 C.N.A.M

15

Dates : 26 Mai 1986

Sexe : Masculin

Lieu : Vernon

Age : 16 ans

Classe : 2nde

Sujet présenté : Dipôles

Qu'est-ce qui semble NOUVEAU dans le matériel présenté ?	On obtient la visualisation instantanée de la courbe de fonctionnement de la pile ainsi que celle du résistor.
Quel INTERET cela peut-il apporter ; cela facilite-t-il la compréhension des phénomènes.	Ces courbes sont assez précises, et cela nous évite plusieurs calculs d'où un gain de temps certain. Je ne trouve pas que cela facilite la compréhension.
Y-a-t-il selon vous des inconvénients des défauts à cette présentation.	Je ne vois pas de défauts mais il y a un Inconvénient évident : le prix élevé pour le résultat obtenu.
Remarques autres.	

N.B faites des phrases courtes, claires.





## b) UTILISATION DE L'INFORMATIQUE EN SCIENCES PHYSIQUES

-----  
Colette ETASSE

Très souvent, en classe de seconde, les élèves ont tendance à faire des applications numériques sans établir d'expression littérale.

Ayant une seconde à option informatique, j'ai proposé une série d'exercices sur le centre d'inertie.

Ces exercices ont été choisis de telle sorte qu'à partir de textes différents, on ait la même solution.

- Calcul de G, connaissant  $G_1$  et  $G_2$
- Calcul de G à partir d'une extrémité
- Calcul du centre d'inertie d'un système  
Voire programme en annexe

Les élèves avec leur professeur d'informatique, ont cherché le programme pour résoudre ces problèmes.

Il semble, que par l'informatique, ils aient compris le bien fondé d'une formule littérale et, dans le courant de l'année, il leur est arrivé de programmer, seuls, sur leur calculatrice des petits problèmes (variation d'une donnée telle que l'angle d'un plan incliné).

Expérimenté par Colette ETASSE au lycée "Les Bruyères" Sotteville-Les-Ro

### EXERCICES PROPOSES

-----

#### A) Calcul de G, connaissant $G_1$ et $G_2$

1) On considère un solide ( $S_1, S_2$ ).

La masse de  $S_1$  est  $m_1$ , son centre d'inertie est  $G_1$ .

La masse de  $S_2$  est  $m_2$  et son centre d'inertie est  $G_2$ .

On pose  $G_1 G_2 = l$  et  $m_2 = n \cdot m_1$  ( $n \in \mathbb{Z}$ ).

Déterminer  $\overline{GG_1}$  en fonction de  $n$  et de  $l$ .

2) Une molécule de chlorure d'hydrogène renferme un atome d'hydrogène et un atome de chlore dont les 2 noyaux sont distants de 1,26 Å.  
Déterminer la position du centre d'inertie de cette molécule.

$H = 1 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $Cl = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$

3) La population mondiale est de  $4,55 \cdot 10^9$  habitants.

La masse moyenne de chaque habitant est de 50 kg. Le centre d'inertie de la Terre serait-il modifié notablement si tous les habitants se réunissaient au pôle Nord ? La Terre peut être assimilée à une sphère de rayon  $R = 6400$  km et on peut considérer que sa masse  $M_T$  est répartie à l'Equateur.

$$M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

4) Soit une plaque d'acier homogène, ayant la forme d'un disque de rayon  $R = 16$  cm. On découpe dans ce disque une cavité ayant la forme d'un disque de rayon  $R/3$  et dont le centre d'inertie est situé à  $R/2$  du disque initial.

Déterminer la position du centre d'inertie du disque troué.

5) Pour équilibrer une roue de masse  $M = 15$  kg, on fixe une surcharge de masse  $m = 80$  g à la périphérie de la jante de rayon  $R = 18$  cm. (On supposera que cette masse est ponctuelle). On amène alors le centre d'inertie de la roue sur son axe de rotation.

Déterminer la position de ce centre d'inertie par rapport à l'axe de rotation de la roue.

Approximation :  $\overline{G_1 G_2} \simeq \overline{GG_2}$

6) On assimile la Terre et la Lune à 2 sphères homogènes dont les centres sont à une distance moyenne de  $3,8 \cdot 10^5$  km.

Sachant que le rapport des masses  $M_T/M_L = 82$ ,

déterminer la position du centre d'inertie du système Terre-Lune.

La masse du Soleil est égale à  $2 \cdot 10^{30}$  kg ;

La distance Terre - Soleil est  $1,510^8$  km.

Déterminer la position du centre d'inertie du système Terre - Soleil.

On donne :  $R_T = 6400$  km et  $M_T = 6 \cdot 10^{24}$  kg.

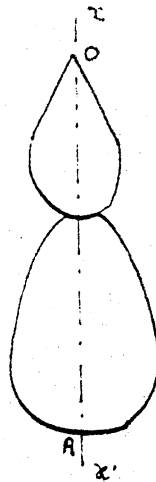
### B) Calcul de G à partir d'une extrémité

1) Une quille en bois est formée d'une sphère et d'un cylindre. La sphère a un rayon  $R = 6$  cm ; le cylindre a un rayon  $R = 6$  cm et une hauteur  $h = 30$  cm.

Quelle distance du sol se trouve le centre d'inertie de la quille ?

2) Une canne est formée d'une tige homogène de 0,94 m de long, de masse  $m = 0,4$  kg et d'un pommeau : sphère homogène de rayon  $R = 0,03$  m, de masse  $m' = 0,1$  kg.  
Déterminer la position du centre d'inertie  $G$  de la canne.

3) Un culbuto de hauteur  $h = 20$  cm possède un axe de symétrie  $x'x$ . Les centres de masse  $G_1$  et  $G_2$  de la base et de la partie supérieure sont situés respectivement à 3 cm et à 12 cm du point A. Sachant que la base a une masse égale aux  $3/4$  de la masse totale, déterminer le centre d'inertie du culbuto à l'extrémité  $O$  du chapeau.



### C) Calcul du centre d'inertie d'un système

Considérons une voiture et 2 axes orthogonaux  $Ox$ ,  $Oy$ .  $Ox$  est tangent aux roues et  $Oy$  est tangent à l'avant de la voiture, orienté vers le haut. On donne les coordonnées, dans ce repère, des centres d'inertie des différentes parties constituant la voiture et la masse de ces parties.

- ° Caisse :  $x_c = 2,2$  m ;  $y_c = 0,5$  m ;  $m_c = 740$  kg
- ° Moteur :  $x_m = 0,6$  m ;  $y_m = 0,6$  m ;  $m_m = 200$  kg
- ° Roues avant :  $x_v = 0,7$  m ;  $y_v = 0,3$  m ;  $m_v = 15$  kg chaque
- ° Roues arrière :  $x_r = 3,8$  m ;  $y_r = 0,3$  m ;  $m_r = 15$  kg chaque

1) Déterminer, par ses coordonnées  $x$ ,  $y$  la position du centre d'inertie de la voiture à vide.

2) 4 passagers de 65 kg chacun s'installent dans la voiture. Le positions de leurs centres d'inertie sont :

° Passagers avant :  $x_{pv} = 2 \text{ m}$  ;  $y_{pv} = 0,6 \text{ m}$

° Passagers arrière :  $x_{rv} = 2,8 \text{ m}$  ;  $y_{rv} = 0,6 \text{ m}$

° Ils mettent sur le toit 40 kg de bagages de centre d'inertie :

$x_b = 2,4 \text{ m}$  ;  $y_b = 1,5 \text{ m}$

Déterminer la nouvelle position du centre d'inertie de la voiture ainsi chargée ?

**CENTRE D'INERTIE**  
**Langage: BASIC Microsoft**  
**Ordinateur: SIL'Z 80**

```

10 N=0 L=0: M1=0: RE$=0
20 WHILE RE$="0"
30 PRINT CHR$(26)
40 PRINT TAB15
50 PRINT "Que désirez-vous faire"
60 PRINT
70 PRINT "1 - Calculer G, connaissant G1 et G2"
80 PRINT
90 PRINT "2 - Calculer G à partir d'une extrémité"
100 PRINT
110 PRINT "3 - Calculer le centre d'inertie d'un système"
120 PRINT
130 INPUT "Tapez le numéro de votre choix" ; R
140 IF R<1 OR R>3 THEN 30
150 ON R GOSUB 1000,1000,3000
155 PRINT
160 INPUT "Voulez vous revenir au menu" ; RES: RES=LEFT$(RES,1)
170 WEND
180 END
1000 ^Calcul de G connaissant G1 et G2
1005 PRINT
1010 INPUT "Quelle est la valeur de G1G2" ; L
1015 PRINT
1020 INPUT "Connaissez-vous N=M1/M2" ; F$: F$=LEFT$(F$,1)
1025 PRINT
1030 IF F$="N" THEN INPUT "Valeur de M1 " ; M1: PRINT: INPUT "Valeur de m2";
M2: IF M1=0 THEN PRINT
"Impossible": GOTO 1030

1040 IF F$="N" THEN N=M1/M2
1050 IF F$<>"N" THEN INPUT "Valeur de N" ; N
1055 PRINT
1060 G1G=INT (L*N*1000/(1+N))/1000
1070 IF R=1 THEN PRINT "G1G =",G1G
1080 IF R=2 THEN GOSUB 2000
1090 RETURN
2000 ^ Calcul de G à partir d'une extrémité
2005 PRINT
2010 INPUT "Quelle est la valeur de OG1" ; OG1
2020 OG=OG1+G1G
2025 PRINT
2030 PRINT "OG =" OG
2035 PRINT
2040 RETURN

3000 ^Calcul du centre d'inertie d'un système"
3005 PRINT
3007 INPUT "De combien de parties le système est-il constitué"; H
3009 PRINT
3010 INPUT "Quelle est la masse de la première partie" ; M1
3020 IF M1=0 THEN PRINT "Impssible": GOTO 3010
3025 PRINT
3030 INPUT "Quel est son abscisse" ; X1
3035 PRINT
3040 INPUT "Quelle est son ordonnée" ; Y1
3050 S$="0": J=0
3060 WHILE S$="0"
3080 FOR I=2 TO H
3085 PRINT
3090 PRINT "Quelle est la masse de la " ; I+J "ème
partie":
INPUT M2

3100 N=M2/M1
3110 M1=M1+M2
3115 PRINT
3120 INPUT "Quel est son abscisse" ; X2
3125 PRINT
3130 INPUT "Quelle est son ordonnée" ; Y2
3140 X1=X1+(X2-X1)*N/(1+N)
3150 Y1=Y1+(Y2-Y1)*N/(1+N)
3155 X1=INT(X1*1000)/1000
3157 Y1=INT(Y1*1000)/1000
3160 NEXT I
3170 PRINT "X1=" ; X1
3180 PRINT "Y1=" ; Y1
3190 INPUT "Y a t-il d'autres parties " ; S$: S$=LEFT$(S$,1)
3200 IF S$="0" THEN J=1-2: INPUT "Combien de parties rajoutez-vous " ; H: H=+
3210 WEND
3220 RETURN
33190 PRINT "Y a-t-il d'autres parties " ; GET S$

```



V HISTOIRE DES SCIENCES







UNIVERSITÉ DE ROUEN HAUTE NORMANDIE

*Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques*

1, rue Thomas Becket - 76130 Mont Saint Aignan

Tél : 35 70 42 73

**CONFERENCE HISTOIRE DES SCIENCES**

**MERCREDI 16 AVRIL 1986 - I.R.E.M. - 14H. 17H.**

**MONSIEUR BUSCHLINGER** Professeur au Lycée d'Amien

sur : "La mécanique de MACH". Quels nouveaux problèmes ?

Quelles nouvelles questions ?

**IREM DE ROUEN - BP 27 - 76130 MONT SAINT AIGNAN**



## PLAN DE L'EXPOSE

---

- 1 - biographie d'Ernst MACH
- 2 - principales oeuvres d'Ernst MACH
- 3 - plan du livre : La Mécanique
- 4 - commentaires sur le chapitre 2
- 5 - commentaire sur : - Conceptions Théologiques, animiques et mystiques dans la mécanique  
- La science comme économie de pensée
- 6 - résumé des idées d'Ernst MACH
- 7 - influence des idées d'Ernst MACH

### 1 - BIOGRAPHIE d'ERNST MACH 1838-1916

---

18 février 1838 naissance à Chirlitz Taras près de Brno en Moravie

famille cultivée ouverte à l'éveil des nationalités

père : se nomme Johann est d'abord précepteur dans une grande famille de Vienne puis s'installe en 1840 dans son domaine agricole à 30 km à l'est de Vienne à Unter Siebenbrunn, s'occupe personnellement de l'éducation de son fils jusqu'à l'âge de 14 ans

enfant sensible il ne supporte pas la manière autoritaire d'enseigner certaines disciplines. Il fit à l'âge de 10 ans une expérience manquée à l'école: on le disait peu doué pour les études. En 1853 il entre à 15 ans au Gymnasium de Krenisier en Moravie, et a sa première révélation philosophique à la lecture de l'ouvrage de Kant "Prolegomènes à toute métaphysique future qui pourrait se revendiquer comme science"

En 1855 il entre à l'Université de Vienne où il étudie les mathématiques, la physique, la philosophie

En 1860 il soutient une thèse de doctorat sur les phénomènes électriques de décharge et d'induction, et enseigne la physique à l'Université de Vienne comme Privatdozent aux étudiants en médecine. il fait des recherches sur la mécanique des systèmes vibrants et sur les propriétés des fluides

Il fait des conférences et partage sans réserve les conceptions mécanistes (existence des atomes, théorie cinétique des gaz)

Il s'intéresse de plus en plus à la physiologie à la psychologie des sensations, à la psychophysique (vue, audition, pression du sang)

En 1864 à 26 ans il est nommé professeur à l'Université de Gratz où il enseigne les mathématiques

En 1867 il est nommé professeur à l'Université de Prague

En 1880 il est nommé académicien des sciences

De 1882 à 1884 il est recteur de l'académie de Prague

Il fait des recherches expérimentales en psychophysiologie des sensations en physique (ondes progressives)

Il fait des recherches théoriques en mécanique, en thermodynamique. Il fait une critique des concepts

Il fait des recherches historiques sur la conservation de l'énergie, sur la mécanique, sur la thermodynamique

Il développe une épistémologie psychophysique : la seule réalité est la sensation , une philosophie de la connaissance de type positiviste fondée sur l'observation

Il publie des ouvrages de physique

Il fait des conférences scientifiques populaires

il est d'idée libérale et adhère au groupe socialiste viennois de la Fabian Society: Wiener Fabien Gesselschifs

Il publie en 1883 son ouvrage: La Mécanique

Il est nommé en 1895 professeur de l'Université de Vienne pour occuper une chaire spécialement créée pour lui: Histoire et Théorie des sciences inductives

En 1897, 1898 il est frappé d'une attaque d'apoplexie qui lui laisse une paralysie partielle du côté droit. Il a 60 ans.

En 1901-1902 il est nommé à la Haute chambre du Parlement autrichien, Chambre des seigneurs d'Autriche . Il prend sa retraite comme professeur émérite pour cause de maladie

En 1905 il publit Erkenntnis and Irrtum , son testament philosophique

Il meurt le 19 février 1916 à Munich

En 1921 le Principien du Physikalischen Optit est publié après sa mort où il répudie les idées de la relativité (rédigé en 1913)

## 2 - PRINCIPALES OEUVRES D'ERNST MACH

---

1872 L'histoire et l'origine du principe de la conservation du travail

1883 La Mécanique

1886 L'analyse des sensations

1896 Les principes de la thermodynamique

1905 La connaissance et l'erreur

1921 Les principes de l'optique physique

## 3 - LA MECANIQUE , Plan du livre

---

Exposé historique et critique de son développement

introduction

préface

chap. 1 développement des principes de la statique

chap. 2 développement des principes de la dynamique

chap. 3 extension des principes et développement déductif de  
la mécanique

chap. 4 développement formel de la mécanique

chap. 5 rapports de la mécanique avec d'autres sciences

avec la physique

avec la physiologie

## 4 - PLAN DU CHAPITRE 2 : Développement des principes de la dynamique

---

21 travaux de Galilée

22 travaux de Huygens

23 travaux de Newton

24 discussion du principe de l'égalité de l'action et de la  
réaction

25 critique du principe de l'égalité de l'action et de la  
réaction et du concept de masse

26 les idées de Newton sur le temps, l'espace, le mouvement

27 critiques synoptique des énoncés de Newton

28 aperçu rétrospectif du développement de la dynamique

29 la mécanique de Hertz

## 5<sub>1</sub> - COMMENTAIRE SUR

---

Le paragraphe 4<sub>2</sub> conceptions théologiques, animiques et  
mystiques dans la mécanique

Texte intégral ; en annexe 1 P 418 à 435

## 5<sub>2</sub> - COMMENTAIRE SUR

---

Le paragraphe 4<sub>4</sub> la science comme économie de pensée ;

Texte intégral en annexe 2 P449 à 465

## 6 - RESUME DES IDEES D'ERNST MACH

---

- critique historique :
- ébranle la foi dogmatique dans le mécanisme
- ouvre la voie aux révolutions de la physique du 20<sup>è</sup> siècle :
- développe une philosophie de la connaissance :
- propose une réduction phénoménaliste aux éléments de sensation
- prone l'exigence d'unité de la science
- rejette toute métaphysique

## 7 - INFLUENCE DES IDEES D'ERNST MACH

---

sur Albert Einstein  
sur Sigmund Freud  
sur Vladimir Oulianov : Lénine  
sur le cercle de Vienne  
sur l'école de Copenhague concernant la mécanique  
sur tous les épistémologues  
Ce fut un "Selbst Denker"

## 8 - INFLUENCE SUR ALBERT EINSTEIN

---

critique  
père de la relativité générale

### PRINCIPE DE ERNST MACH

---

Les propriétés d'inertie que manifeste un corps sont la conséquence de ses interactions avec l'ensemble des masses contenues dans l'Univers.

Cet énoncé qualitatif rend inutile le postulat d'un espace absolu, son développement quantitatif appartient à la théorie de la relativité générale.

## INFLUENCE SUR LENINE

---

père de l'empirocriticisme : Mach introduit l'histoire au coeur même de la rationalité physique. Mach est le créateur et le premier usager de la méthode dite historico-critique.

Critique, puisque cherchant à faire le tri entre ce qui vient de l'expérience et ce qui vient de l'entendement, en instruisant sur cette différence le jugement physique ; historique aussi, puisque saisissant le mouvement historique, la masse des faits scientifiques constituant la matière de ce jugement.

## INFLUENCE SUR LE CERCLE DE VIENNE

---

La réalité physique comporte plusieurs niveaux :

- la réalité sensorielle : les sensations
- la réalité macroscopique : les choses
- la réalité microphysique : les particules
- la réalité conceptuelle : les grandeurs physiques
- la réalité phénoménale : les phénomènes
- la réalité légale : les lois physiques

**Recueil de rapports sur les progrès  
des Lettres et des Sciences en France**

\*\*\*\*\*

Exposé de la situation de la Mécanique Appliquée  
(Combes, Phillips, Collignon)  
Imprimerie Impériale (1867)

**RECUEIL DE RAPPORTS**

SUR

**LES PROGRÈS DES LETTRES ET DES SCIENCES  
EN FRANCE.**

**EXPOSÉ DE LA SITUATION**

DE

**LA MÉCANIQUE APPLIQUÉE,**

PAR

**MM. CH. COMBES, ED. PHILLIPS ET ED. COLLIGNON.**

PUBLICATION FAITE SOUS LES AUSPICES

DU MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.



IMPRIMÉ PAR AUTORISATION DE SON EXC. LE GARDE DES SCAUX

**A L'IMPRIMERIE IMPÉRIALE.**

M DCCC LXVII.

BIBL. PUBL.  
DE PARIS

J-996



et physiologiquement poussée pour ainsi dire assez loin pour qu'une désignation internationale précise des couleurs physiques et des sensations de couleur, ne présente plus de difficultés de principe. Enfin l'écriture chinoise est véritablement idéographique; des peuples très divers la comprennent dans le même sens et la lisent dans des langages parlés très différents; un système de signes plus simple pourrait faire que l'écriture chinoise devint universelle. La simplification de la grammaire par la suppression de ce qu'elle contient de conventionnel ou de règles dues à des circonstances historiques accidentelles, et la réduction des formes à ce qui est indispensable, choses presque réalisées dans la langue anglaise, doivent évidemment précéder l'établissement d'une langue écrite universelle. En tel système aurait d'ailleurs d'autres avantages que son universalité; la lecture d'un écrit serait inséparable de sa *compréhension*. Nos enfants lisent souvent des choses qu'ils ne saisissent pas; un chinois ne peut lire que ce qu'il comprend.

2. — Lorsque nous faisons dans la pensée la copie d'un phénomène, jamais celle-ci n'est faite d'après le fait *global* mais bien d'après celui de ses côtés qui nous a semblé *important*. Dans cette opération, nous avons un but qui est le produit indirect ou immédiat d'un intérêt pratique. Nos copies sont toujours des abstractions et, ici encore, l'on peut constater cette même tendance à l'économie.

La nature est composée des éléments donnés par les sens. L'homme primitif saisit d'abord certains complexes de ces éléments, ceux qui se manifestent avec une stabilité relative et qui ont pour lui de l'importance. Les mots les plus anciens sont des noms pour des « choses », et, dans cette pure désignation, se reconnaît déjà une abstraction de tout l'entourage de la chose et des petites variations continues subies par ce complexe, qui, moins importantes, ne sont pas observées. Il n'y a dans la nature aucune chose invariable. Une chose est une abstraction. Un nom est un symbole pour un *complexe* d'éléments dont on ne considère pas la variation. Nous désignons le complexe entier par un mot, par un symbole *unique*,

lorsque nous avons besoin de rappeler en une fois toutes les impressions qui le composent. Plus tard, parvenus à un degré supérieur, nous portons notre attention sur ces variations, et il devient naturellement impossible de conserver en même temps le concept d'invariabilité, pour peu que nous ne voulions pas en arriver à des notions vides et contradictoires, telles que celle de la « chose en soi ». Les sensations ne sont pas des « symboles des choses ». La « chose » est au contraire un symbole mental pour un complexe de sensations d'une stabilité relative. Ce ne sont pas les choses (les objets, les corps), mais bien les couleurs, les tons, les pressions, les espaces, les durées, (ce que nous appelons d'habitude des sensations), qui sont les véritables *éléments* du monde.

Le sens de toute cette opération est purement un sens d'économie. Nous commençons la copie des faits par les complexes habituels et familiers plus stables, et nous y ajoutons après coup, par voie de correction, les complexes non habituels. Nous parlerons par exemple d'un cylindre évidé ou d'un cube à coins coupés; prises à la lettre, ces locutions impliquent cependant contradiction si l'on n'accepte pas la manière de voir qui vient d'être exposée. Tout *jugement* est une amplification ou une correction d'une représentation antérieure.

3. — Lorsque nous parlons de causes et d'effets, nous faisons arbitrairement ressortir, dans la copie mentale d'un fait, les circonstances dont nous devons *estimer* l'enchaînement dans la direction qui est importante pour nous. Dans la nature il n'y a ni causes, ni effets. La nature n'est présente qu'une fois. Les répétitions de cas semblables où A est toujours lié à B, c'est-à-dire les conséquences identiques de circonstances identiques, dans lesquelles consiste précisément l'essentiel de la relation de cause à effet, n'existent que dans l'abstraction que nous employons afin de copier les faits dans la pensée. Une chose nous est-elle devenue familière, nous n'éprouvons plus le besoin de cette mise en évidence de l'enchaînement des caractéristiques, nous ne dirigeons plus notre attention sur ce qui va arriver de neuf, nous ne parlons plus de causes ni d'effets. Ainsi nous dirons d'abord que la chaleur est la cause de la force expansive de la vapeur;

ainsi réunis. L'emploi de la méthode de Hamilton, expliquée propre d'un exemple à la p. 153, permet de se faire une idée suffisante de cet avantage.

#### IV. LA SCIENCE COMME ÉCONOMIE DE LA PENSÉE.

1. — Toute science se propose de remplacer et d'épargner à l'expérience à l'usage de la copie et de la figuration des faits dans le *pensé*. Cette copie est en effet plus maniable que l'expérience elle-même et peut, sous bien des rapports, lui être substituée. C'est fonction d'économie, qui pénètre tout l'être de la science, se manifeste déjà clairement dans les démonstrations générales. La reconnaissance de ce caractère d'épargne fait en même temps disparaître tout mysticisme du domaine scientifique. La communication de la science par l'enseignement a pour but d'épargner certaines expériences à un individu en lui transmettant celles d'un autre individu ; ce sont même les expériences de générations entières qui sont transmises aux générations suivantes par les livres écrits ou imprimés dans les bibliothèques et qui leur sont ainsi épargnées. Le langage, moyen de cette communication, est naturellement un facteur d'épargne. Les expériences sont plus ou moins partiellement décomposées en éléments plus simples et plus familiers, *symbolisés* ensuite dans un but de communication, mais toujours en sacrifiant la précision jusqu'à un certain point. Le symbolisme dans le langage articulé est purement national et sans doute il le reste longtemps encore. La langue écrite se rapproche peu à peu de l'écriture d'une écriture universelle ; elle n'est plus une simple transcription du langage parlé. Les chiffres, les signes algébriques et mathématiques, les symboles chimiques, la notation musicale, l'écriture phonétique (de Braille), tous ces symboles, d'une nature déjà très adéquate et d'un usage presque entièrement international, doivent somme être considérés comme des parties actuellement existantes de cette écriture universelle. L'analyse des couleurs a été physiquement

concept, mathématiques qui s'adaptent aux représentations géométriques d'un objet plus exact et plus immédiate que les concepts de la géométrie analytique ordinaire. Les avantages de la géométrie analytique et de l'intuition géométrique se trouvent ainsi réunis. Mais cette transformation se trouve évidemment encore en dehors des limites d'un exposé historique.

« *Grassmann* expose pour la première fois ses idées, est remarquable sous bien des rapports. L'introduction contient de fort intéressantes remarques sur la théorie de la connaissance. L'« *ausdehnungslehre* » est développée comme une science générale dont la géométrie n'est qu'un cas particulier à trois dimensions, ce qui donne à l'auteur l'occasion de réfuter la critique des principes de cette dernière science. Les concepts nouveaux et féconds de somme de segments, de produits de segments, etc. se montrent aussi applicables à la mécanique. *Grassmann* fait de même la critique des principes de Newton et croit pouvoir les réduire à une expression unique : « La force d'ensemble » (ou le mouvement d'ensemble), qui est inhérente à un agrégat de particules matérielles à un instant quelconque, est la somme de la force d'ensemble (ou du mouvement d'ensemble), qui lui est inhérente à un instant antérieur quelconque, et de la totalité des forces » donné que toutes les forces sont conçues comme segments de droites » (ou de masses égales » *Grassmann* entend ici par forces les vitesses indestriables imprimées aux particules considérées. Cette conception tout entière est très voisine de celle de Hertz. Les forces « vitesses » se repèrent par des segments, les moments par des aires comptées dans un sens déterminé, etc. ce qui rend le développement très compréhensible et très court. *Grassmann* considère cependant que l'avantage capital de sa méthode consiste en ce que le calcul est à chaque instant l'expression pure du processus mental, tandis que le dernier est fait complètement de côté par la méthode ordinaire des coordonnées cartésiennes. La différence entre l'analyse et la synthèse disparaît à nouveau et les avantages des deux méthodes se trouvent

cette relation nous est elle devenue familière, nous nous représentons en une fois la vapeur avec sa température et sa tension correspondantes. De même nous nous représenterons d'abord l'acide comme la cause qui fait rougir la teinture de tournesol ; plus tard, ce changement de couleur sera énuméré parmi les propriétés de l'acide.

C'est Hume qui, le premier, a posé la question : Comment est-il possible qu'une chose A agisse sur une chose B ? Hume ne reconnaît aucune causalité, mais simplement une succession dans le temps, qui nous est devenue habituelle et *quantitative*. Kant remarque avec raison que la simple observation ne peut nous apprendre la *nécessité* de la connexion de A et de B. Il accepte une idée abstraite innée dans laquelle est compris tout cas fourni par l'expérience. Schopenhauer, qui a en somme le même point de vue, distingue une quadruple forme du « principe de la raison suffisante » : la forme logique, la forme physique, la forme mathématique et enfin la loi de causalité. Ces formes ne se distinguent que par la *modalité* à laquelle elles s'appliquent et qui appartient en partie à l'expérience *externe* et en partie à l'expérience *interne*.

L'explication naturelle et toute simple paraît être la suivante : les concepts cause et effet naissent premièrement de l'effort pour copier les faits. Tout d'abord il se produit seulement une habitude lier A et B, C et D, E et F, etc. Si, dans la suite, alors que nous possédons déjà de nombreuses expériences, nous observons une liaison de A avec X, il arrivera souvent que nous reconnaîtreons X comme *cause* posée de A, C, E, et X comme *composé* de B, D, F, dont les liaisons nous sont déjà *familières* et semblent revêtues d'une autorité plus haute. On s'explique ainsi que l'homme *expérimenté* regarde une expérience nouvelle avec de tout autres yeux que le débutant. L'expérience nouvelle se pose en face de toutes les autres plus anciennes. Il y a donc en fait aussi une « idée » dans laquelle est comprise chaque nouvelle expérience, mais elle est développée par l'expérience même. L'idée de la *nécessité* de la liaison entre la cause et l'effet provient vraisemblablement de notre mouvement *contant* et des variations que nous produisons indirectement par ce mouvement, ainsi que Hume l'a avancé sans toutefois l'avoir main-

tenir. L'autorité des concepts de cause et d'effet est puissamment renforcée de ce qu'ils se sont développés *distinctement* et indépendamment, et de ce que nous sentons distinctement n'avoir en rien contribué nous-mêmes à leur formation. On peut même dire que le sentiment de causalité n'a pas été acquis par l'individu mais s'est formé au cours du développement de l'espèce. La cause et l'effet sont donc des abstractions dont le rôle est d'économiser le travail mental. A la question : *pourquoi* se forment-elles ? il est impossible de répondre, car c'est précisément par l'abstraction des uniformités que nous apprenons d'abord à poser la question « *pourquoi* ».

4. — Lorsque l'on considère les détails de la science, son caractère d'économie apparaît davantage encore. Les sciences dite descriptives doivent presque se borner à la description de faits particuliers. Lorsque la chose est possible, les caractères communs à plusieurs phénomènes sont mis en relief une fois pour toutes. Pour des sciences qui ont atteint un plus haut degré de développement, les règles de reconstruction d'un grand nombre de faits peuvent être comprises dans une expression *unique*. Au lieu, par exemple, de noter un à un les divers cas de réfraction de la lumière, nous pouvons les reproduire et les prévoir tous, lorsque nous savons que le rayon incident, le rayon réfracté et la normale sont dans un même plan et que  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ . Au lieu de tenir compte des innombrables phénomènes de réfraction dans de milieux et sous des angles différents, nous n'avons alors qu'à observer la valeur  $n$  en tenant compte des relations ci-dessus, ce qui est infiniment plus facile. La tendance à l'économie est ici évidente. Dans la nature, il n'existe d'ailleurs pas de *loi* de la réfraction, mais rien que de multiples cas de ce phénomène. La loi de la réfraction est une méthode de reconstruction concise, résumée, faite à *notre usage* et en outre *unique*ment relative au côté géométrique du phénomène.

5. — Les sciences dont la caractéristique d'économie est la plus développée sont celles qui s'occupent de phénomènes décomposables en un petit nombre d'éléments tous numériquement évaluable

Des calculs mentaux difficiles peuvent souvent être avantageusement remplacés par des calculs mentaux effectués d'une façon méthodique. Ainsi, par exemple, la théorie des déterminants doit sa naissance à la remarque, qu'il est inutile de recommencer chaque fois à nouveau la résolution des équations linéaires

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z &= a_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z &= a_2 \end{aligned}$$

qui donnent

$$\begin{aligned} \frac{a_1b_2 - c_1b_1}{a_1b_2 - a_2b_1} x &= \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1} z - \frac{a_1a_2}{a_1b_2 - a_2b_1} \\ y &= \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1} z - \frac{a_1a_2}{a_1b_2 - a_2b_1} \end{aligned}$$

mais que cette solution peut être immédiatement fournie par les coefficients, pourvu qu'on les écrive d'après un schéma déterminé sur lequel on opérera d'une manière *arbitraire*, et qui est le suivant :

$$N = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} \quad P = \begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix} \quad Q = \begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}$$

Dans les opérations mathématiques, l'esprit peut même être déchargé de toute besogne ; il suffit pour cela de *symboliser* par de signes d'opération mécanique toute opération qui a été effectuée un fois, ce qui épargne la fonction cérébrale pour les problèmes plus importants, au lieu de la prodiguer aux cas où il ne s'agit que d'un répétition. C'est un semblable procédé d'épargne qu'emploie le marchand lorsqu'il ne de prendre directement l'argent dans sa caisse il se sert de bons sur celle-ci. Le travail manuel du calculateur peut même être supprimé par l'emploi de machines à calculer dont plusieurs sont déjà d'un usage courant. Les idées que nous venons d'exposer furent déjà, au commencement de *vix siècle*, fort clairement comprises par le mathématicien Babbage, inventeur d'une de ces machines.

Un résultat numérique n'exige pas toujours un dénombrement ; on peut y arriver indirectement. On voit par exemple sa peine que, pour une courbe dont l'aire limitée à l'ordonnée d'abscisse *x* est *ax<sup>2</sup>*, un accroissement *dx* de l'aire correspond

comme la mécanique par exemple, qui ne considère que les espaces, les temps et les masses. Ces sciences profitent de toute l'économie des mathématiques, antérieurement réalisée. La mathématique est une économie des nombres. Les nombres sont des signes d'ordre, groupés eux mêmes en un système simple dans un but de concision et d'épargne. Les opérations sur les nombres sont reconnues indépendantes de la nature des objets ; elles sont apprises une fois pour toutes. La première fois que l'on doit ajouter 7 objets à 5 autres de même espèce, on dénombre l'ensemble total des objets ; mais on remarque par la suite que l'on peut faire ce dénombrement à partir de 5 et compter 7 ; enfin, après de multiples répétitions semblables, on s'aperçoit que l'on peut s'épargner tout à fait le dénombrement et affirmer d'avance son *résultat* comme déjà connu.

Toutes les opérations de calcul ont pour but d'*épargner* le dénombrement direct et de lui substituer le résultat de procédés de dénombrements antérieurement effectués. Nous ne voulons pas recommencer la même opération plus souvent qu'il n'est nécessaire. Déjà les quatre règles de l'arithmétique fournissent des preuves nombreuses de la justesse de cette conception. On retrouve la même tendance dans l'algèbre, où sont exposées une fois pour toutes les opérations de *même forme* qui peuvent s'effectuer indépendamment de la valeur des nombres. Ainsi par exemple l'égalité

$$x + y = y + x$$

nous apprend que, dans tous les cas futurs, quels que soient les nombres *x* et *y*, on pourra substituer l'opération simple de droite à l'opération compliquée de gauche. Nous nous épargnons par là d'effectuer l'opération compliquée dans tous les cas à venir. La mathématique est la méthode par laquelle on remplace, chaque fois que la chose est possible, et de la façon la plus économique, les *multiples* opérations sur les nombres par d'autres, antérieurement effectuées et qu'il est par conséquent inutile de recommencer. Dans ce processus il peut arriver que l'on se serve de résultats d'opérations effectuées des siècles auparavant.

un accroissement *de* de l'absence. Mais on sait des lors que  $\int_{\text{moins}}^{\text{de}}$ , c'est-à-dire que l'on reconnaît que la grandeur  $x$  appartient à l'accroissement *moins* de exactement comme l'on reconnaît l'ordre à son écart. On se sert beaucoup en mathématiques de résultats analogues, accidentellement trouvés par *invention*.

Il peut paraître étrange qu'un travail scientifique accompli depuis fort longtemps puisse être constamment réemployé, alors qu'il n'en va naturellement pas ainsi du travail mécanique. Lorsqu'un homme, qui tous les jours doit faire une certaine route, trouve par hasard un chemin plus court qu'il sait désormais, il s'épargne en effet, par le souvenir qu'il en conserve, une différence de travail ; seulement le souvenir n'est pas un travail proprement dit, mais une *libération* d'un certain travail. Les choses se passent exactement de même dans l'emploi des concepts scientifiques.

Celui qui fait des mathématiques, sans en chercher la compréhension dans la voie qui vient d'être indiquée, doit souvent ressentir l'impression désagréable que la plume et le papier sont plus intelligents que lui. Les mathématiques, composées de cette manière comme branche d'enseignement, sont à peine plus instructives que l'étude de la Kabbale ou des carrés magiques et doivent nécessairement donner à l'esprit une tendance mystique dont les effets se feront occasionnellement sentir.

6. — La physique offre des exemples d'économie de la pensée en tout semblables à ceux que nous avons considérés. Il nous suffira d'en indiquer rapidement quelques uns. Le concept de moment d'inertie nous épargne la considération des masses particulières. Par celui de fonction de forces nous nous épargnons la peine de rechercher quelles sont les composantes des forces ; la simplicité des démonstrations qui reposent sur l'emploi de cette fonction est due au fait qu'un grand nombre de démonstrations doit précéder la découverte de ses propriétés. La dioptrique de Gauss nous épargne l'étude des surfaces réfringentes particulières d'un système dioptrique

et lui substitue la considération des foyers principaux et des points nodaux ; l'étude de ces surfaces a toutefois du nécessairement précéder la découverte de ces points remarquables ; la dioptrique de Gauss ne nous *épargne* que la *répétition* de considérations identiques.

On doit donc dire qu'il n'existe pas de résultat scientifique qui n'ait pu, en principe, être trouvé sans l'aide d'aucune méthode. Mais à cause de la courte durée de la vie et des limites resserrées de l'intelligence humaine, un savoir digne de ce nom ne peut-être acquis que par *la plus grande économie mentale*. La science elle-même peut donc être considérée comme un problème de minimum, qui consiste à exposer les faits aussi parfaitement que possible avec *la moindre dépense intellectuelle*.

7. — Toute science a donc, selon nous, la mission de remplacer l'expérience. Elle doit par conséquent, dans ce but, d'une part rester toujours dans le domaine de l'expérience et d'autre part en sortir, attendant toujours de celle-ci une confirmation ou une infirmation. Là où il est impossible de confirmer ou d'infirmar, la science n'a rien à faire. Elle ne se ment jamais que sur le domaine de l'expérience *incomplète*. Comme exemples de cette tendance de la science, on peut citer la théorie de l'élasticité et celle de la conductibilité de la chaleur ; toutes deux n'attribuent aux particules les plus petites des corps que les propriétés directement observables sur des corps de volume plus grand. L'accord entre la théorie et l'expérience peut toujours être poussé plus loin par le perfectionnement des procédés d'observation.

L'expérience isolée, sans les pensées qui l'accompagnent, nous ressemblerait à jamais étrangère. Les pensées *les plus scientifiques* sont celles qui restent valable sur le domaine *le plus étendu* et qui complètent et enrichissent *le plus* l'expérience. Dans la recherche on procède par le principe de *continuité*, car c'est uniquement celui-ci qui peut fournir une conception utile et économique de l'expérience.

8. — On peut observer directement les oscillations d'une tige élastique longue, fixée à une extrémité ; on peut les voir, les tou-

trois d'une façon, sans qu'il faille d'ailleurs le considérer autrement que comme une pure abstraction (\*).

Il en est ainsi de toutes les hypothèses posées dans le but d'expliquer des phénomènes nouveaux. Nos idées sur les phénomènes électricité précèdent idéologiquement de la même manière en s'engageant pour ainsi dire d'elles-mêmes dans le chemin habituel, dès que nous remarquons que tout se passe comme si des fluides attractifs et répulsifs se trouvaient sur les surfaces des conducteurs. Mais ces représentations auxiliaires n'ont aucun rapport avec le phénomène en lui-même.

10) L'idée d'une économie de la pensée se développa en moi par mes expériences professionnelles dans la pratique de l'enseignement. Je la possédais déjà lorsqu'en 1860, je commençai mes leçons comme privat-docent, et je croyais alors être seul à l'avoir, ce que l'on vaudra bien trouver pardonnable. Mais aujourd'hui je suis, au contraire, convaincu qu'il n'y a rien au pressentiment de cette idée doit

(\*) Les travaux de Lomonossow, Bouyer, Gauss, Boscovich, ont, comme on le sait, établi que ce que nous appelons espace n'est qu'un cas particulier et spécial du cas *impossible plus général* d'une multiplicité quantitative à plus de dimensions. L'espace de la vue et du toucher est une multiplicité triple, il a trois dimensions, tout bien de cet espace est déterminé par trois caractéristiques indépendantes l'une de l'autre. Mais il est possible d'imaginer de semblables multiplicités spatiales à quatre et à plus de quatre dimensions. Le genre de la multiplicité peut aussi être imaginé autre qu'il n'est donné dans notre espace. Selon nous, cette conception, à laquelle Riemann surtout a travaillé, est fort importante. Les propriétés de notre espace nous apparaissent aussitôt comme des objets d'expérience et toutes les pseudo-théories géométriques qui prétendent les étudier à priori sont ruinées.

Un être sphérique et vivant au milieu d'un autre espace pour point de comparaison trouverait son espace homogène, il pourrait le supposer infini et l'expérience seule pourrait le convaincre du contraire. En relevant, par exemple, en deux points d'un grand cercle, et autres grands cercles perpendiculaires au premier, et en suivant les deux chemins ainsi tracés, cet être sphérique ne s'apercevrait véritablement pas à ce qu'il se rencontrerait quelque part. De même, dans notre espace, l'expérience seule peut nous apprendre, si tel est le cas, que certains parallèles se croisent, etc. On ne peut assez faire ressortir la valeur de cette conception nouvelle. Le progrès que Riemann a fait faire à la science est comparable à celui que les premières voyages de circumnavigation ont fait faire aux opinions indiennes sur la figure de la terre.

Les recherches théoriques sur les possibilités mathématiques dont nous parlons

toujours avoir été un bien commun à tous les investigateurs qui ont réfléchi sur la recherche en général. Cette manière de voir peut servir à primer par des formes très différentes. Ainsi j'en aurais je signale à « leitmotiv » de simplicité et de beauté, si frappant chez Copernic et chez Galilée, non seulement comme esthétique mais aussi comme économique. Les « regards philosophiques » de Newton sur le principe d'économie ne sont pas expressément énoncés. Max Cornu dans un intéressant article intitulé « *De epistole in the history philosophy* », (The open Court, 4 avril 1896), a montré que Adam Smith, dans ses *Essais*, est arrivé bien près de la pensée de l'économiste dans la science. Plus récemment, cette même idée a de nouveau été exprimée, bien que sous des formes diverses, par moi, dans un de mes cours sur la conservation du travail (1871), par Clifford, dans ses « *Lectures and essays* » (1872), par Kirchhoff, dans son « *Mechanik* » (1874) et par Avenarius (1876). J'ai parlé dans mon « *Erhaltung d Arbeit* » (p. 55; not. 5) d'une conversation avec l'économiste E. He-

doivent rester étrangères à toute question de réalité actuelle. Il ne faut point plus rendre des mathématiques illustres responsables des maux que l'on tire de leurs recherches. L'espace de la vue et du toucher est à trois dimensions; personne n'en doute. Lorsque des corps disparaissent de l'espace on s'y introduit, on pourra alors discuter la question de savoir si c'est plus facile et plus efficace de considérer l'espace donné comme fait d'une dimension restée encore toujours une abstraction.

Certains ont fait servir la quatrième dimension à l'explication de problèmes phénoméniques tels que l'introduction de corps dans des vases hermétiquement clos, de grands faits ou défauts dans des cordes fermées, etc., qui ne sont des tours de passe-passe. La quatrième dimension permet en effet de les expliquer, de même que la troisième permet de concevoir que l'on puisse sur une surface fermée, ou y entrer, sans en percer le contour. Il est regrettable que certaines personnes se permettent d'utiliser des conceptions scientifiques auxquelles trop souvent elles ne comprennent rien, pour abuser la foule, consciemment ou non.

Avant les travaux de Riemann j'avais déjà considéré l'espace à plus de trois dimensions comme un auxiliaire physique et mathématique. J'écris toute ce que personne ne se servira de ce que j'ai pensé, dit ou écrit sur ce sujet appuyer des contes spirités ou des histoires de revenants. (cf. Mach, *Geschichte und die Wirkung des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*.)

manent, où des idées semblables avaient été discutées, mais toutefois aucune publication de cet auteur sur ce sujet ne m'est connue.

II. Je pourrais ici renvoyer à l'Exposition plus complète que j'ai faite de ces idées dans mes *Logische wissenschaftlichen Forschungen*, pp. 203 et seq. et dans mes *Prinzipien der Wärmehlehre*, p. 291 D. Dans ce dernier ouvrage les observations de Petzoldt (*Verletheltesche, f. Wissenschaftl. Philosophien*, 1891) sont prises aussi en considération. Husserl, dans la première partie de ses recherches sur la logique (*Logische Untersuchungen*, 1900) a présenté de nouvelles réflexions contre l'économie de la pensée. Ma réponse à Petzoldt répond en partie à ces critiques et je pense qu'il convient d'attendre, pour y répondre complètement, la publication du reste de l'ouvrage et alors de voir premièrement si nos idées ne s'accordent pas quant au fond. Je ferai cependant quelques remarques. Comme investigateur de la nature, je suis continué à commencer la recherche par le cas spécial, à le laisser agir sur moi et à relever de celui-ci au cas plus général. J'ai suivi cette habitude dans mes études sur le développement de la connaissance physique. Je devais procéder ainsi parce qu'une théorie générale de la théorie était pour moi une tâche trop difficile, doublement difficile dans un domaine où un minimum de principes indubitables, généraux, indépendants les uns des autres et hors desquels tout peut être déduit, n'était pas donné, mais devait de chances de résister dans la science mathématique. Je dirigeai par conséquent mon attention sur des phénomènes particuliers; adaptation de la pensée aux faits, adaptation des pensées les unes aux autres (1), économie de la pensée, simultanéité, expérimentation menable, stabilité et continuité de la pensée, etc. En cela, il m'était à la fois profitable et désillusionnant de considérer la pensée vulgaire

(1) *Ungut vereinigt*, *Foibles*, p. 276, en l'adaptation des pensées les unes aux autres est même signalée comme le travail de la théorie proprement dite à l'*Ausgleichungslehre* de 1871, p. 99. La meilleure division de toutes les sciences est la division en réelles et formelles, selon laquelle les premières

ainsi que la science entière comme un phénomène biologique organique, dans lequel par conséquent, la pensée biologique devait être envisagée comme un cas limite idéal. Que l'on puisse commencer la recherche des deux côtés, je n'en veux pas douter un seul instant. Moi-même, j'ai signalé mes études comme des esquisses et de communes sances psychologiques. Il après cela, on peut voir que je distingue entre les questions psychologiques et logiques, comme doit le faire du reste celui qui cherche à expliquer psychologiquement les processus logiques. Mais celui qui a lu avec attention l'analyse logique des conceptions de Newton, faite dans le présent ouvrage, pourra difficilement me reprocher de vouloir *faire desparties* la différence entre la partie naturelle, *arabique*, et la pensée biologique. Même si l'analyse logique de toutes les sciences nous était présente, entièrement finie, la recherche bio-psychologique de leur évolution resterait toujours pour moi un besoin, ce qui n'exclurait pas que l'on analysât de nouveau ces dernières recherches au point de vue logique. Si l'on concevait l'économie de la pensée comme purement téléologique, c'est à dire comme un « téléonotiv » provisoire, la réduction de celle-ci à une base plus profonde (2), loin d'être exclue, est, du fait même, exigée. Mais, abstraction faite de cela, l'économie de la pensée est aussi un idéal logique très clair, qui conserve sa valeur, même après une analyse biologique *complète*. Des mêmes principes le système d'une science peut être déduit de différentes manières. Mais *une* de ces développements correspond au principe d'économie mieux qu'un autre, comme je l'ai expliqué à propos de la dioptrique de Gauss (3). Pour autant que je puisse le voir à présent, je ne pense pas que les recherches de Husserl infirmeront ces données.

Le fait que, si souvent avant et après moi, l'idée de l'économie de la pensée a été construite dans la pensée, l'être, comme se présentant au penseur avec une existence propre, et ont leur vérité dans l'accord de la pensée avec chaque être, et dans laquelle les secondes, au contraire, étudient les lois par la pensée, et ont leur vérité dans l'accord des processus mentaux entre eux.

(1) *Prinzipien der Wissenschaften*, Préface à la 1<sup>re</sup> édition.

(2) *Analyse der Begriffsbildungen*, 2<sup>e</sup> édit., p. 64, 65.

(3) *Wärmehlehre*, p. 304.

la pensée a été avantageusement appliquée, devrait, semble-t-il, diminuer men appréciation, mais elle ne fait au contraire qu'y gagner plus de valeur. Et précisément ce qui, pour Husserl, est un abaissement de la pensée scientifique, son contact avec la pensée vulgaire (« aveugle » ?), n'apparaît comme un élément de grandeur, car c'est ainsi que la science prend racine dans la vie profonde de l'humanité et réagit positivement sur celle-ci.

## CHAPITRE V

### RAPPORTS DE LA MÉCANIQUE AVEC D'AUTRES SCIENCES.

#### 1. — RAPPORTS DE LA MÉCANIQUE AVEC LA PHYSIQUE.

1. — Il n'existe pas de phénomène purement mécanique. Quand deux masses se communiquent des accélérations réciproques, il semble qu'il y ait tout au moins là un pur phénomène de mouvement. Mais à ce mouvement sont, dans la réalité, toujours liées des variations thermiques, magnétiques et électriques qui, dans la mesure où elles se produisent, modifient le phénomène, inversement des circonstances thermiques, magnétiques, électriques et chimiques peuvent déterminer un mouvement. Les phénomènes purement mécaniques sont donc des abstractions intentionnelles ou forcées, dont le but est une plus grande facilité de l'examen. Il en est de même de toutes les autres catégories de phénomènes physiques. En toute rigueur, tout phénomène appartient à toutes les branches de la physique, qui n'ont été distinguées l'une de l'autre que pour des raisons conventionnelles, physiologiques ou historiques.

2. — L'opinion qui fait de la mécanique la base fondamentale de toutes les autres branches de la physique, et suivant laquelle tous les phénomènes physiques doivent recevoir une explication *mécanique*, est selon nous un préjugé. La connaissance la plus ancienne au point de vue historique ne doit pas nécessairement *résister* la base de la compréhension des faits découverts plus tard. Dans la mesure où un plus



particulièrement contre le préjugé que la théologie devait être la base de toute science. Ce n'est que peu à peu et fort lentement que celui-ci fut détruit.

2. — Laissons parler les faits et examinons d'abord quelques opinions personnelles.

Napier, l'inventeur des logarithmes, vivait au *xv<sup>e</sup>* siècle; c'était un puritain rigoureux et un théologien zélé. Il s'appliqua aux plus étranges spéculations. Il est l'auteur d'une exposition de l'Apocalypse avec propositions et démonstrations mathématiques. La proposition 26 avance, par exemple, que le pape est l'Antechrist; la proposition 36 apprend que les Turcs et les Mahométans sont les sauterelles, etc.

Blaise Pascal (*xvii<sup>e</sup>* siècle), un des penseurs les plus géniaux dans le domaine des mathématiques et de la physique, était profondément orthodoxe, voire même ascète. Malgré la douceur de son caractère, la force de sa conviction lui fit, à Rouen, dénoncer comme hérétique un professeur de philosophie. La guérison de sa sœur par le toucher d'une relique fit sur lui une profonde impression, et il la tint pour miraculeuse. Nous n'attacherons cependant pas une importance exagérée à ces faits en eux-mêmes, car toute sa famille était très encline à l'exaltation religieuse et sa vie en offre encore d'autres exemples. La profondeur de sa foi se montre dans sa résolution d'abandonner entièrement la science et de vivre selon le christianisme. Il avait coutume de dire que, lorsqu'il cherchait à être consolé, toute la sagesse du monde ne pouvait lui servir de rien, et que seuls les enseignements du christianisme lui donnaient ce dont il avait besoin. La sincérité de son désir de convertir les hérétiques se montre dans ses « Lettres provinciales », dans lesquelles il s'élève contre les affreuses subtilités inventées par les docteurs en Sorbonne pour persécuter les Jansénistes. Sa correspondance avec divers théologiens est très remarquable, et notre étonnement est grand de le voir, dans une de ses lettres, discuter le plus sérieusement du monde la question de savoir si le diable aussi peut faire des miracles.

Otto de Guericke, l'inventeur de la pompe à air, commença son livre, composé il y a environ 200 ans, par une discussion sur le

miracle de Josué, qu'il cherchait à mettre d'accord avec le système de Copernic. Avant l'exposé de ses recherches sur l'espace vide et sur la nature de l'air, on trouve aussi dans cet ouvrage des chapitres traitant de la localisation du ciel, de celle de l'enfer, etc. Bien que Guericke cherche à répondre à ces questions aussi raisonnablement que possible, il est aisé de voir quel embarras elles lui causent, alors qu'aujourd'hui un théologien éclairé refuserait même de s'en occuper. Et pourtant Guericke vivait à une époque postérieure à la Réforme!

Newton aussi ne dédaigna pas de chercher une explication de l'Apocalypse. Il était même assez difficile de parler avec lui de questions de ce genre. On rapporte qu'un jour Halley, s'étant permis une plaisanterie sur les discussions théologiques, s'attira cette verte réponse : « J'ai étudié ces questions, vous pas ».

Il n'est pas nécessaire que nous nous arrétions longtemps à Leibnitz, l'inventeur du meilleur des mondes et de l'harmonie préétablie, qui toutes deux ont trouvé une excellente réfutation dans le « Candide » de Voltaire, roman plaisant en apparence, mais au fond sérieux et profondément philosophique. Chacun sait que Leibnitz était presque autant théologien que philosophe et savant.

Le *xviii<sup>e</sup>* siècle offre d'autres exemples aussi remarquables. Dans ses « Lettres à une princesse d'Allemagne », Euler aussi mêle des questions philosophico-théologiques aux questions scientifiques. Il discute la difficulté qu'il y a à comprendre les réactions mutuelles du corps et de l'esprit, étant donné leur différence essentielle, à laquelle il croit fermement. Il n'aime d'ailleurs pas le système de l'occasionalisme, développé par Descartes et ses successeurs, d'après lequel Dieu exécute à chaque instant le mouvement répondant à l'intention de l'âme, celle-ci étant par elle-même incapable de l'exécuter. Il raille, non sans finesse, l'harmonie préétablie, d'après laquelle un accord est établi de toute éternité entre les mouvements du corps et les intentions de l'âme, — bien que tous deux ne soient nullement en connexion l'un avec l'autre, — exactement comme il y a accord entre deux horloges différentes mais parfaitement concordantes. Il observe que, dans cette conception, son propre corps lui serait aussi



changer que celui d'un rhinocéros du centre de l'Afrique, qui pourrait tout aussi bien être en harmonie préalable avec son âme. Écoutez le lui-même (1) : « Si dans le cas d'un dérèglement de mon corps, « Dieu ajoutait celui d'un Rhinocéros, ensuite que ses mouvements fussent tellement d'accord avec les ordres de mon âme, qu'il levât la patte au moment que je voudrais lever la main, et que j'eusse d'autres opérations, ce serait alors mon corps, et non l'âme, qui se trouverait dans la forme d'un Rhinocéros au milieu de l'Afrique, mais « non, ce n'est cela, mon âme continuerait les mêmes opérations, « d'aurait également l'honneur d'être à V. A., mais je ne sais pas comment elle recevrait mes lettres ». On pourrait presque croire qu'Éuler a voulu imiter Voltaire, et cependant, si fortement que sa critique fasse toucher du doigt le point essentiel, l'âchose mutuelle de l'âme et du corps reste pour lui un miracle. Malgré cela il s'engage dans un labyrinthe de subtilités sur la liberté de la volonté. Les « Lettres » d'Euler nous fournissent une bonne représentation des questions dont un homme de science peut s'occuper à cette époque : il y a une de la liaison entre l'âme et le corps, du libre arbitre, de l'immortalité de l'âme, sur les événements de l'univers, de la prière, du mal physique et moral, de la conversion des pécheurs et d'autres choses du même genre. Tout cela d'ins le même ouvrage qui contient un grand nombre d'idées fort claires sur la physique et un fort bel exposé de la logique, sur les divers modes de raisonnement employés pour la première fois.

23. — Ces exemples suffisent amplement. Nous les avons mieux bonnement cités chez *Le plus qu'au* chercheurs. Ce que nous avons trouvé chez ces savants en fait de théologie appartient à leur vie privée la plus intime. Ils non dit nul convenance des choses, sans s'être aucunement rendus compte, que qu'ils arrivaient ainsi à leur opinion sans rien puis parler. Ils nous apprenent leur opinions à eux, non pas des opinions qui leur auraient été imposées d'en dehors. Ils ne se sentent

« A cette époque un rhinocéros grec en l'air. Un savant allemand qui voulait être particulièrement affable en lui écrivait en français :

point comprimés par la théologie. Dans une ville et à une cour qui recevoient comme lettres Voltaire et Lamettrie, Euler n'a aucune raison de cacher ses véritables convictions.

Selon notre opinion d'aujourd'hui, ces hommes arrivent au moins pu remarquer que les questions de ce genre ne sont pas convenablement placées à l'endroit où ils les ont traitées, qu'elles ne sont pas des questions scientifiques. Quelques-uns ont pu se dire autre étonnement de voir cette contradiction entre une théologie même presbytérienne et des convictions scientifiques qui se sont élevées d'elles-mêmes, il ne nous autorise pas à blâmer ces hommes de mauvaise pensée. Leur étonnement intellectuel se manifeste — cela même que, malgré les idées ébranlées de leur temps, ils ont fait — fait pas possible de se libérer tout à fait, ils peuvent atteindre à leur horizon tellement que, par eux, nous sommes affermis sur le point de vue entièrement libre.

Pour être impartial, il faut aussi reconnaître que l'époque où se fit le développement général de la métaphysique, le *siècle des lumières* régional universellement, des que fons de l'école et de nos sociétés à propos de tout et avait une influence sur toutes choses. Il ne faut donc pas s'étonner que la métaphysique ait été si répandue dans ce temps. Nous pourrions même aller en dire un peu plus dans les détails, concluant cette préface ou la fin de ce livre.

4. — Tous le chapitre précédent nous avons déjà dit un mot de tentatives analogues dans l'antiquité, chez Héron et chez Pappus. Au commencement du XVI<sup>e</sup> siècle, on trouve Galilée occupé de recherches sur la résistance des matériaux. Il montra qu'un tube vide offre une résistance à la flexion supérieure à celle d'un tube massif de même longueur et de même quantité de matière, et se servit aussitôt de cette expérience pour expliquer la forme des os des animaux, qui sont souvent des tubes cylindriques vides. Un exemple facile de ce phénomène est fourni par une simple feuille de papier, d'alourd plume, puis tendue en tube. Une poutre horizontale, encastrée à une extrémité et chargée à l'autre, peut être amincie à l'extrémité chargée, sans dommage pour la résistance et avec un

gain de matière, Galilée détermina la forme de la poutre d'égalé résistance dans chaque section. Enfin il fit encore observer que des animaux géométriquement semblables, mais de tailles très différentes, ne vérifient les lois de la résistance que dans des proportions fort inégales.

Les formes des os, des plumes, des feuilles, et d'autres organes animaux ou végétaux, parfaitement adaptés à leurs fonctions jusque dans leurs plus minimes détails, doivent naturellement faire une impression profonde sur un observateur intelligent. Cette adaptation merveilleuse a constamment été donnée comme une preuve manifeste de l'existence d'une sagesse toute puissante gouvernant la nature. Examinons par exemple les rémiges d'un oiseau. D'abord nous voyons une tige qui est un tube vide dont le diamètre décroît vers l'extrémité libre, par conséquent une forme d'égalé résistance. Puis chacune des barbes de la plume, qui reproduisent en petit le même phénomène. Il faudrait une très grande connaissance technique pour seulement imiter une telle plume et la rendre apte à sa destination, sans même parler de l'inventer. Neanmoins cependant par la mission de la science n'est pas le simple émerveillement, mais au contraire la recherche. On sait comment, d'après sa théorie de l'équilibre, Bernoulli est allé résoudre ces problèmes. On peut douter que sa solution soit complète; Duvivier lui-même en doutait. Toutes les circonstances restreintes indiquées ci-dessus font qu'il n'y aura pas en leur présence la chose qui *fait* s'y adapter. Mais il nous reste néanmoins vrai que cette théorie est la première tentative sérieuse qui ait été faite pour remplacer par la recherche l'équilibre rationnel et simple de la nature organique.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle on descendait encore volontiers les idées de Pappus sur les cellules des abeilles. Dans un ouvrage paru en 1807 sous le titre : *Historia naturalis Hymenoptera*, Wood raconte l'histoire suivante : « Maraldi fut très surpris de la régularité des cellules des abeilles, et il me mita les angles de leurs faces latérales et les trouva égaux à 120 degrés et  $\frac{1}{2}$  ». Branner, dans la conclusion que ces angles devaient concorder avec l'économie de la cellule, prit le mathématicien loquax de calculer un prisme hexagonal surmonté d'une

pyramide formée de trois losanges égaux, de telle manière que le centre tenu soit maximum et la surface minimum. La réponse fut que les angles des losanges devaient être  $109^{\circ}26'$  et  $76^{\circ}34'$ . Il y avait donc une différence de deux minutes. MacLaurin, peu satisfait de cette accord approximatif, recommença les mesures de Maraldi et les trouva justes; il reprit les calculs et découvrit une erreur dans les tables de logarithmes employées par König. Ces tables étaient donc pas les abacilles, mais la mathématique qui s'était trompée, et les abacilles avaient aidé à la découverte de l'erreur. Celui qui sait comment on mesure les angles d'un cristal et qui a vu une cellule d'abeille, dont les surfaces sont rugueuses, sans aucun poli, méfiera certainement en doute que, dans la mesure des angles des cellules, l'on puisse arriver à cette approximation de deux minutes. Cette histoire n'est donc qu'un échantillon de cette mathématique, abstraction faite de ce que, fut elle vraie, elle serait d'ailleurs très intéressante. Ajoutons encore qu'un point de vue mathématique, le seul, que l'on pose de façon trop imparfaite pour que l'on puisse aller jusqu'à quel point les abacilles l'ont résolu.

Les idées de Héron et de l'érudit sur le mouvement de la lumière, dont nous avons parlé dans le chapitre précédent, furent aussitôt de Leibnitz une couleur théologique et purement, comme nous l'avons montré, un grand rôle dans le développement du calcul des variations. Dans la couronne publiée de Leibnitz et de Jean Bernoulli on trouve encore des questions théologiques au milieu de dissertations mathématiques. Leur langage est souvent chargé de comparaisons et d'expressions tirées de la Bible. Leibnitz écrit, par exemple, que le problème de la brachyochrone le traite comme la pomme a tenté Ève.

Malheureusement, le célèbre président de l'Académie de Berlin et l'élève de Frédéric le Grand, donna à la direction théologique de la physique une nouvelle impulsion par son principe de la moindre action. Dans le mémoire qui en résume l'énoncé, encore que sous une forme très peu distincte, et dans lequel il témoigne d'ailleurs d'un manque complet de l'esprit de précision mathématique, l'auteur expose que son principe est celui qui reprend le mieux à la sagesse

du créateur. Maupertuis était un homme spirituel, mais c'était une tête faible et un faiseur de projets. C'est ainsi qu'il proposa de bâtir une ville où l'on n'eût parlé que latin, de creuser dans la terre un puits éternel et profond afin de découvrir de nouvelles substances, de faire de nouvelles recherches physiologiques à l'aide de l'opium et de la dissection des singes, d'explorer la formation de l'embryon par la gravitation, etc. Voltaire a fait de lui une critique étonnante dans son « Histoire du docteur Akakia », qui fut cause de sa broüille avec l'empereur Frédéric.

Le principe de Maupertuis aurait sans doute bientôt disparu de la scène scientifique si Euler n'en avait repris l'idée. Euler, homme vraiment grand, laissa au principe le nom qu'il avait et à Maupertuis la gloire de son invention, mais il en fit une chose nouvelle, pratique et utilisable. L'idée réelle de Maupertuis est très difficile à décrire, tandis qu'un exemple simple suffit pour se rendre nettement compte de celle d'Euler. Lorsqu'un corps est astreint à rester sur une surface donnée, par exemple la surface de la terre, le mouvement qu'il reçoit d'une impulsion quelconque est tel qu'entre son point de départ et son point d'arrivée il suit le plus court chemin. Tout autre chemin qu'on lui présenterait serait plus long et demanderait plus de temps. On se sert de ce principe dans la théorie des vents et dans celle des courants marins. Euler a cependant conservé le point de vue théologique. Il veut expliquer le phénomène non pas seulement par des causes physiques, mais aussi par *la fin*.<sup>1)</sup> Comme la construction du monde, dit-il, est la plus parfaite possible et qu'elle est due à un créateur infiniment sage, il n'arrive rien dans le monde qui ne présente des propriétés de maximum ou de minimum. C'est pourquoi aucun doute ne peut subsister sur ce qu'il soit également possible de déterminer tous les effets de l'univers par leurs causes finales, à l'aide de la méthode des maxima et minima, aussi bien que par leurs causes effectives et

<sup>1)</sup> Quant au monde universel, Euler et perfectionna, quoique il créateur sapientis, uno aliquid nihil equius in mundo condidit, in quo non maxime invenire ratio, quæquam ethica, quoniam ab rationibus proutus est nullum, quæ rationibus ethice, ex causis finalibus, esse methodi maximum et

54. Les idées de l'invariance de la quantité de matière, de la constance de la somme des quantités de mouvement, de l'indéformabilité du travail ou de l'énergie, qui gouvernent aujourd'hui toute la science physique, doivent elles-mêmes remonter à l'influence des conceptions théologiques. Elles ont leur source dans cette proposition, exprimée par Descartes dans ses « Principes de la Philosophie » et que nous avons déjà rappelée, suivant laquelle la quantité de matière et la quantité de mouvement créées à l'origine sont invariables, car seule leur immutabilité peut s'accorder avec la stabilité du créateur de l'univers. Les idées sur la façon d'évaluer la somme des quantités de mouvement se sont notablement modifiées de Descartes à Leibniz et plus tard chez leurs successeurs; peu à peu, il en est résulté ce que l'on appelle aujourd'hui « principe de la conservation de l'énergie », mais ce n'est que fort lentement que le vieux formalisme logique a disparu. Bien plus, on ne peut nier qu'à propos de cette loi bien des savants se fussent, actuellement encore, aller à un mysticisme d'un genre spécial.

Pendant toute la durée des XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles et jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup>, la tendance universelle était de voir dans chacune des lois physiques une ordonnance particulière du créateur. Un observateur attentif voit pourtant cette idée se transformer graduellement. Tout ce que, pour Descartes et Leibniz, la physique et la théologie sont encore fort mêlées, plus tard on aperçoit un effort marqué, si peu pour écartier complètement la théologie, du moins pour la séparer nettement de la physique. La théologie est reléguée soit au commencement, soit à la fin des traités de physique; chaque fois que la chose est possible, le domaine théologique est restreint à la création et laisse, à partir de là, le champ libre à la physique.

Vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, on est frappé par un revirement en apparence tout à fait subit, mais qui, au fond, est une conséquence nécessaire du processus de développement que nous avons décrit

monstrum, esse feliciter determinatum quæcumque, atque ex ipis causis ethice conditis. *Methodus universalis hanc causam inveniendi autem præcipue prædictas, hanc enim, etc.*

l'écarter, après savoir, dans une œuvre de jeunesse, voulu laisser toute la métaphysique sur le principe de la moindre action d'Ether, report à nouveau le même sujet et déclaré qu'il voulait s'abstenir entièrement de toutes spéculations théologiques, comme très *inutiles* et absolument étrangères à la science. Il reconstruisit la métaphysique sur d'autres bases et aucun esprit compétent ne peut nier la supériorité du nouvel exposé. Après l'échec, tous les hommes de science adoptèrent sa manière de voir, et cela sans que fut déterminée, dans son principe, la position actuelle de la physique vis à vis de la théologie.

6. — L'œuvre trois siècles touché deux nécessités pour que l'écarter de la fonction complète entre la physique et la théologie se soit entièrement développé, depuis son première germe chez Copernic, jusqu'à Newton. Il ne faudrait pourtant pas méconnaître que les grands germes tels que Newton eurent toujours une conception très nette de cette vérité. Malheureusement de ses sentiments religieux, Newton ne toucha la corde que aux questions scientifiques. A la vérité, il l'embrassa, comme Copernic, aux dernières portes de laquelle se plaçaient encore l'écarter et la science, par un acte de profonde hardiesse devant le monde de toutes les choses terrestres. Mais ses touches ne s'élevèrent au contraire de cette de l'écarter, ne touchèrent en elle, au contraire, que la corde de l'écarter, qui peut dire la même chose de Galilée et de Huyghens. Leur écrits sont, pour ainsi dire, peut être le seul contenu sans point de vue de l'écarter et peuvent sous ce rapport être considérés comme de copies. Mais les conceptions et les fondements d'une époque se trouvent non pas aux sommets intellectuels, mais au contraire à la moyenne des esprits.

Pour se faire une idée convenable du processus qui vient d'être exposé il faut encore tenir compte de quelques points suivants : dans un état de culture intellectuelle où la religion était la seule éducation et la seule conception de l'univers. L'écarter s'imposait naturellement de lui-même toutes choses à un point de vue théologique et de considérer la théologie comme suffisante dans tous les domaines. Reportons nous à l'exemple où l'on jouait de l'écarter avec les poings, où il fallait, pour calculer, une table de multiplication écrite devant soi, où l'on

faisaient à l'aide de la main ce que l'on fait de telle aujourd'hui avec nous, excepté des hommes de ce temps qu'ils se soient reportés à l'œuvre, avec un esprit *écarter*, contre leurs propres conceptions. Le préjugé se dissipa peu à peu, lentement, à mesure que les grandes découvertes géographiques, techniques et scientifiques du XV<sup>e</sup> et du XVI<sup>e</sup> siècles agrandirent l'horizon, et que se développèrent des domaines où l'écarter ne trouvait aucun obstacle, parce qu'elle s'était formée *entièrement* à leur acquisition. La grande liberté de pensée qui se manifesta dans des cas isolés, à l'aube du moyen âge, chez les poètes d'alors et les savants ensuite, reste cependant toujours difficile à comprendre. Le progrès intellectuel à cette époque doit avoir été l'œuvre d'un très petit nombre de penseurs isolés, vraiment extraordinaires, dont les idées ne devaient tenir que par des fils bien ténus aux conceptions populaires et étaient bien plus propres à bousculer et à violenter celles-ci qu'à en amener la transformation. Ce n'est que dans les écrits du XVI<sup>e</sup> siècle que l'œuvre d'éclaircissement sensible gagnait du terrain. Les sciences humanitaires, historiques, philosophiques et naturelles se touchent et se prêtent un mutuel secours dans la lutte pour la pureté libre. Celui qui, à travers la littérature seule, veut à peu participer à cet essor et à cette libération conserve toute la vie, pour le XVI<sup>e</sup> siècle, un sentiment de mélancolique regret.

7. — Le point de vue ancien fut donc abandonné. L'écarter de la métaphysique ne se reconstruit plus qu'à la forme de ses théorèmes, qui restera étrange tant que l'on ne tienne pas compte de leur origine. La conception théologique cède ainsi peu à peu la place à une conception plus saine qui fut, ainsi que nous allons le faire voir en résumé, influencée par un remarquable progrès de la pensée.

Quand nous disons que la lumière se met suivant le chemin de moindre durée de parcours, nous pouvons par conséquent plusieurs choses. Tout d'abord nous ne savons pas encore *pourquoi* la lumière suit ce chemin de durée minimum. En faisant l'hypothèse de la vitesse du créateur nous renouons à tout examen ultérieur. Nous savons au jour d'hui que la lumière se met par *tous* les chemins, mais que ce n'est que sur celui de moindre durée de parcours que les ondes lumi-

nenses sont renforcées en sorte que l'on puisse constater un résultat sensible. La lumière *semble* donc se propager suivant la ligne de moindre durée. Dès que le préjugé eut été abandonné, on trouva, à côté de preuves d'une prétendue économie de la nature, des cas de la plus étonnante prodigalité ; Jacobi en a montré des exemples pour ce qui a trait au principe de la moindre action. Plusieurs phénomènes naturels ne font cette impression d'économie que parce qu'ils ne deviennent visibles que s'il se produit, accidentellement, une accumulation économique d'effets. Cette pensée est dans le domaine de la nature inorganique, la même que celle que Darwin a développée pour la nature organique. Nous nous facilitons instinctivement la conception de la nature en lui attribuant les représentations économiques qui nous sont familières.

Souvent les phénomènes de la nature manifestent des propriétés de maximum et de minimum parce que les causes d'une variation ultérieure ont disparu. La chaînette donne un centre de gravité situé le plus bas possible pour l'unique raison que seule cette position du centre de gravité empêche toute chute ultérieure des maillons de la chaîne. Les liquides présentent une surface minimum sous l'influence des forces moléculaires parce qu'un équilibre stable ne peut subsister que si ces dernières ne peuvent plus amoindrir la surface. Le point essentiel se trouve donc, non pas dans le maximum ou le minimum, mais dans le fait que le *travail* disparaît dans ces circonstances, et que c'est ce même travail qui est la déterminante du changement. Il est donc bien moins imposant, mais par cela même beaucoup plus clair en même temps que plus rigoureux et plus général, au lieu de parler de la tendance économique de la nature, de dire qu'il n'arrive jamais que ce qui peut arriver, étant données telles forces et telles circonstances déterminées.

On se demandera maintenant avec raison comment il se fait que, si le point de vue théologique, qui a conduit à la position des principes de la mécanique, est erroné, cependant ces principes sont justes dans toutes leurs parties essentielles ? La réponse n'est pas difficile. Tout d'abord la conception théologique n'a donné que le *mode* d'expression du principe, et non pas son *contenu* qui a été

fourni par l'observation. Un effet analogue eut été exercé par toute autre conception régnante, par exemple par une conception *mercantile*, qui a probablement exercé une influence sur la pensée de Stévin. En second lieu la conception théologique de la nature est née de la tendance de l'esprit à embrasser l'univers entier dans *un système unique*, tendance qui est propre aux sciences de la nature et qui est parfaitement conforme à leur but. La philosophie théologique de la nature est une tentative sans espoir et un retour vers un niveau inférieur de culture, mais il ne faut pas pour cela rejeter la *saine racine* d'où elle est sortie, et qui n'est pas autre que la racine de la véritable recherche naturelle.

En fait, la science ne peut arriver à rien par la simple observation du particulier lorsqu'elle ne jette pas de temps en temps un regard sur l'ensemble. Les lois de la chute des corps de Galilée, le principe des forces vives de Huyghens, celui des déplacements virtuels, et même le concept de masse ne peuvent être acquis, ainsi que nous l'avons montré plus haut, que par la considération alternative du fait particulier et de l'ensemble des phénomènes naturels. Dans la représentation mentale des phénomènes mécaniques on peut partir des propriétés des masses particulières (des lois élémentaires), et composer l'image du phénomène, mais on peut aussi s'en tenir aux propriétés du système total (aux lois intégrales). Les propriétés d'une masse impliquent toujours des relations de celles-ci avec d'autres masses ; ainsi la vitesse et l'accélération impliquent une relation avec le temps et par là avec l'univers entier ; on voit donc qu'il n'existe pas de loi *purement* élémentaire. Il serait donc contradictoire d'exclure comme moins certain le regard cependant nécessaire sur l'ensemble et sur les propriétés générales. Nous nous bornerons à exiger d'un principe nouveau des *preuves d'autant meilleures* qu'il est plus général et que sa portée est plus grande, et cela à cause de la plus grande possibilité d'erreur.

L'idée de l'action d'une volonté et d'une intelligence dans la nature n'est en aucune façon le fruit exclusif du monothéisme chrétien. Elle est bien plus familière et plus conforme au paganisme et au fétichisme. Le paganisme cherche la volonté et l'intelligence dans le

particulier tandis que le monothéisme en cherche l'expression dans l'ensemble. Du reste il n'existe pas de pur monothéisme. Le monothéisme juif de la Bible n'est pas entièrement libre de la croyance aux démons, aux magiciens et aux sorciers; de telles conceptions païennes sont bien plus fréquentes encore dans le christianisme du moyen âge. Il serait superflu de parler des tortures que l'Eglise et l'Etat faisaient subir aux sorciers ni des bûchers sur lesquels il les brûlaient; ces atrocités étaient inspirées non pas tant par l'amour du lucre que par la domination des idées théologiques. Dans son remarquable ouvrage sur l'origine de la civilisation, Tylor étudie la sorcellerie, la superstition et la croyance au miraculeux chez tous les peuples sauvages et fait un parallèle avec les opinions du moyen âge sur les sorciers: l'analogie est saisissante. Le supplice du feu pour les sorciers, si fréquent en Europe aux *xvi<sup>e</sup>* et *xvii<sup>e</sup>* siècles, est encore d'une pratique courante dans l'Afrique centrale. Comme le montre Tylor, on retrouve chez nous des traces de ces circonstances dans d'innombrables coutumes, dont nous avons perdu le sens en changeant notre point de vue.

8. — Ce n'est que fort lentement que la science s'est dégagée de ces conceptions. Dans le célèbre ouvrage de J. B. Porta, « *Magia Naturalis* », paru au *xvi<sup>e</sup>* siècle, et qui contient d'importantes découvertes physiques, on trouve toute espèce de pratiques de sorcellerie et de démonologie qui le cèdent à peine à celles des « guérisseurs » indiens. Pour la première fois, en 1600, l'ouvrage de Gilbert « *De magnete* » imposa certaines limites au surnaturel dans la science. Quand encore Luther dit avoir rencontré le diable en personne, lorsque Képler, dont la tante avait été brûlée comme sorcière et dont la mère fut bien près de subir le même sort, déclare qu'on ne peut nier la sorcellerie et n'ose pas se dégager entièrement de l'astrologie, on peut se représenter sous des couleurs vivantes l'état d'esprit des hommes moins éclairés de ce temps.

Tylor remarque judicieusement que la science actuelle conserve des traces de fétichisme, par exemple dans sa conception de la force et l'extension universelle de la superstition spirite montre assez que

la société cultivée n'a *pas encore* pu se dégager des conceptions de paganisme.

Le fait que ces idées se maintiennent si opiniâtement est dû à une cause profonde. Des impulsions, qui régissent l'homme avec une puissance si démoniaque, qui le nourrissent, le conservent et le propagent sans qu'il puisse les connaître ni les pénétrer et dont le moyen-âge nous présente d'extraordinaires cas pathologiques, seule une très petite partie est accessible à l'analyse scientifique et à la connaissance abstraite. Le caractère fondamental de toutes ces impulsions est un sentiment d'identité et de communauté avec tout la nature, que des préoccupations trop exclusivement intellectuelles peuvent faire taire pour un temps, mais qui ne peut être étouffé et qui, certainement, repose sur une *base saine*, quelles qu'aient été d'ailleurs les absurdités religieuses auxquelles il a pu donner naissance.

9. — Quand nous voyons les encyclopédistes du *xviii<sup>e</sup>* siècle s'efforcer de croire tout proche de leur but, qui était l'explication physico-mécanique de la nature entière, et Laplace imaginer un génie qui pourra donner l'état de l'univers à un instant quelconque de l'avenir, s'il connaît, à un instant initial, toutes les masses qui le composent avec leurs positions et leurs vitesses, non seulement cette surestimation enthousiaste de la portée des conceptions physiques et mécaniques acquises dans le *xviii<sup>e</sup>* siècle nous semble bien excusable mais elle est vraiment pour nous un spectacle réconfortant, noble et élevé, et nous pouvons sympathiser du plus profond de notre cœur avec cette joie intellectuelle unique dans l'histoire.

Maintenant qu'un siècle s'est écoulé, et que nous sommes devenus plus réfléchis, cette conception du monde des encyclopédistes nous apparaît comme une *mythologie mécanique* en opposition avec la mythologie animique des anciennes religions. Toutes deux renferment des amplifications abusives et imaginaires d'une connaissance unilatérale. Mais une recherche physique plus circonspecte conduira à l'analyse des sensations. Nous reconnaitrons alors — et nous commençons actuellement à le faire, — que notre sensation de faire



n'est pas essentiellement différente de la tendance de l'acide sulfurique vers le zinc, et que notre volonté n'est pas si différente de la pression de la pierre sur son support. Nous nous retrouverons ainsi plus près de la nature sans qu'il y ait besoin de nous résoudre en un incompréhensible amas nuageux de molécules, ou de faire de l'univers un système de groupements d'esprits. On ne peut naturellement que conjecturer la *direction* dans laquelle on peut s'attendre à ce qu'une recherche longue et pleine de fatigue conduise vers la lumière. Ce serait faire de la mythologie et non de la science que de vouloir *anticiper* sur le résultat, ou essayer de l'introduire, si peu que ce soit, dans les recherches scientifiques actuelles.

La science ne se présente pas avec la prétention d'être une explication *complète* du monde, mais avec la *conscience* de travailler à une conception *future* de l'univers. La plus haute philosophie que puisse pratiquer un investigateur scientifique consiste précisément à *soutenir* une conception inachevée, et à la préférer à une autre, parfaite en apparence, mais insuffisante. Les opinions religieuses des hommes restent *choses strictement privées*, tant qu'ils ne cherchent pas à les imposer aux autres, ni à les appliquer à des questions qui sont d'un autre domaine. Même les hommes de science ont, sur ce sujet, des opinions fort différentes, suivant la profondeur de leurs vues et leur estimation de la valeur des conséquences.

La science ne demande rien de ce qui n'est pas ou n'est pas encore abordable à la recherche exacte. Il se peut que des champs qui lui sont encore fermés aujourd'hui s'ouvrent plus tard à son activité. Alors aucun homme de jugement sain, loyal envers lui-même et envers les autres, n'hésitera à échanger son *opinion* sur une chose de ce domaine contre la *connaissance* de cette chose.

Lorsque nous voyons la société actuelle changer fréquemment d'avis sur une même question et modifier son point de vue suivant les dispositions et les situations du moment, ce qui ne peut se passer sans un trouble moral profond, nous devons considérer cet état de choses comme une conséquence naturelle et nécessaire de ce que notre philosophie a d'inachevé et de transitoire. Une conception suffisante du monde ne peut pas nous être donnée, nous devons l'ac-

quérir, et ce n'est qu'en laissant le champ libre à l'intelligence et l'expérience, là où elles doivent décider seules, que nous pouvons espérer nous rapprocher, pour le bien de l'humanité, de l'idéal d'une conception *unitaire* du monde, qui seule est compatible avec l'évidence d'un esprit sainement constitué.

### III. — LA MÉCANIQUE ANALYTIQUE

1. — La mécanique de Newton est purement *géométrique*. Newton développa ses théorèmes en déduisant la démonstration des hypothèses à l'aide de constructions et de figures. Son procédé est souvent artificiel que, comme déjà Laplace en a fait l'observation, la découverte de ces théorèmes suivant cette voie n'est pas vraisemblable. On constate aussi que l'exposition de Newton n'est pas aussi simple que celles de Galilée et de Huyghens. La méthode de Newton, qui est celle des anciens géomètres, porte le nom de méthode *synthétique*.

Si la méthode que l'on suit consiste à déduire des conséquences d'hypothèses données, elle est *synthétique*. Si, inversement, on recherche les conditions d'existence d'un théorème ou des propriétés d'une figure, on procède par la voie *analytique*. La généralisation de cette seconde méthode est surtout due à l'application de l'algèbre à la géométrie; c'est ainsi qu'il est devenu habituel d'appeler analytique la méthode algébrique. Au sens exact, ce qu'on appelle aujourd'hui mécanique analytique, par opposition à la mécanique de Newton n'est autre que la mécanique *par le calcul*.

2. — La base de la mécanique analytique a été posée par Euler (*Mechanica, sive motus scientia analytice exposita*; Petrop. 1736). Mais le procédé d'Euler, qui, dans le mouvement curviligne, décomposait toutes les forces en forces normales et tangentielles, était plein des souvenirs de l'ancienne méthode géométrique. Mac Laurin accomplit un progrès essentiel en décomposant toutes les forces su-



# TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I <sup>er</sup> . — MÉCANIQUE GÉNÉRALE .....	5
§ 1 <sup>er</sup> . Cinématique.....	5
Cinématique pure.....	7
Théorie des mécanismes .....	11
§ 2. Statique.....	14
§ 3. Dynamique.....	21
§ 4. Dynamique spéciale des corps solides .....	47
§ 5. Application de la dynamique aux machines.....	58
RÉSUMÉ.....	70
CHAPITRE II. — MÉCANIQUE DES FLUIDES .....	71
§ 1 <sup>er</sup> . Hydrostatique .....	71
§ 2. Équilibre des corps plongés dans les liquides.....	75
§ 3. Hydrodynamique.....	80
§ 4. Hydraulique.....	83
§ 5. Pression mutuelle des liquides et des solides dans le mouvement relatif.....	101
§ 6. Machines hydrauliques.....	103
Machines élévatoires.....	104
Machines hydrauliques mixtes.....	106
Récepteurs hydrauliques : Machines à colonnes d'eau.....	108
Roues à axe horizontal.....	115
Roues à axe vertical.....	118
Moulin à vent.....	122
§ 7. Propulsion des navires.....	124
§ 8. Mouvement des gaz.....	128
§ 9. Indication de quelques applications remarquables de l'hydrau- lique.....	132
Dérivation d'eaux de source vers Paris.....	132
Machine à colonne d'eau et à air comprimé du mont Cenis.....	136
Chemin de fer glissant de M. Girard.....	137
Chemin de fer souterrain à aspiration.....	139
Grues hydrauliques.....	141
Hydraulique agricole.....	143
Fondations tubulaires.....	147
CHAPITRE III. — MÉCANIQUE SPÉCIALE DES CORPS SOLIDES.....	150
§ 1 <sup>er</sup> . Théorie mathématique de l'élasticité.....	150
§ 2. Résistance des matériaux.....	155
§ 3. Expériences sur la résistance des pièces prismatiques.....	164
§ 4. Résistance des enveloppes.....	168
§ 5. Équilibre des massifs.....	171
Colonnes en maçonnerie.....	173
Poussée des terres.....	174
Stabilité des voûtes.....	177
Voûtes biaises.....	183
Voûtes non cylindriques.....	187
§ 6. Équilibre de certains systèmes particuliers.....	191
CHAPITRE IV. — THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.....	197
§ 1 <sup>er</sup> . Ancienne théorie.....	197
§ 2. Principes de la théorie nouvelle.....	200
§ 3. Des lois des gaz et des vapeurs.....	208
§ 4. Application de la théorie mécanique de la chaleur aux solides et aux liquides.....	219
§ 5. Chaleur rayonnante.....	224
§ 6. Machines à vapeur.....	229
RÉSUMÉ.....	250

## RÉSUMÉ DU CHAPITRE I<sup>er</sup>.

Nous sommes parvenu au bout du chapitre consacré à la mécanique générale; nous résumerons comme il suit cette première partie de notre travail.

Nous avons commencé par indiquer les divisions principales de la mécanique : l'ancienne, qui admet la statique et la dynamique; la nouvelle, qui admet la cinématique et la mécanique propre.

Nous avons présenté le compte rendu sommaire de la cinématique pure, et de la théorie des mécanismes, qui en est l'application la plus importante.

Ensuite nous avons étudié à part la statique, et nous avons émis nos doutes sur l'utilité du changement qui l'a fait entrer dans la dynamique, en en détruisant l'individualité.

La dynamique a été l'objet d'un troisième paragraphe; nous en avons donné la définition, et nous en avons présenté une histoire abrégée. L'étude expérimentale des forces naturelles, les diverses méthodes d'enseignement, la discussion des théorèmes généraux, la théorie des mouvements relatifs, les applications de cette théorie aux phénomènes terrestres, la théorie des forces vives et de la moindre action, celle des forces instantanées, celle de la similitude en mécanique, ont été successivement passées en revue.

Notre quatrième paragraphe est consacré à la dynamique spéciale des corps solides, aux beaux travaux de Poinsot, à la curieuse expérience de M. Foucault et aux autres faits mécaniques qui font apprécier l'influence de l'inertie dans les corps solides en mouvement.

Notre cinquième et dernier paragraphe comprend les principales applications de la dynamique aux machines, et notamment la théorie des régulateurs, des volants et des contre-poids.

Partout nous avons vu la théorie s'unir intimement à la pratique.

p3 : (...) "L'enseignement de la mécanique a été longtemps réservée aux établissements d'instruction supérieure, aux Facultés des sciences, à l'Ecole Polytechnique, et aux écoles d'application, à l'Ecole Centrale des Arts et Manufacture. Il n'a pu encore entrer bien profondément dans les programmes des lycées et collèges (...) Depuis 1828, on possède le programme, et la méthode des cours qu'on peut faire suivre à cette classe d'auditeurs. La mécanique industrielle de Poncelet reste le modèle d'enseignement à la fois solide et élémentaire, mis par un grand géomètre à la portée des intelligences les moins préparées. C'est grâce à tant de généreux efforts que nous voyons aujourd'hui l'instruction scientifique forcer la porte des ateliers.

#### p5: division de Lagrange

(...) La nouvelle division consiste à considérer d'abord le mouvement en lui-même et indépendamment des causes qui peuvent tendre à la modifier. De cette considération résulte une branche spéciale de la mécanique (cinématique). Puis on réunit sous le titre de mécanique propre, la science du mouvement et de l'équilibre des corps, eu égard aux forces qui interviennent pour agir sur eux ; on place des considérations dynamiques en tête de cette étude, et la statique se trouve englobée dans la science du mouvement, comme ayant pour objet l'examen d'un simple cas particulier.

(...) Le mot cinématique a été créé par Ampère (1834) dans son Essai sur la philosophie des sciences (...) La cinématique diffère de la géométrie en ce qu'elle emploie la notion de temps, étrangère aux spéculations géométriques. Les astronomes de l'Antiquité faisaient de la cinématique (...) jusqu'à Kepler. Lagrange dans sa théorie des fonctions analytiques en trace un excellent résumé. Il l'appelle la géométrie à 4 dimensions p.223.

(...) cette belle théorie ( $\vec{v}_a = \vec{v}_e + \vec{v}_r$  }  $\vec{v}_a = \vec{v}_e + \vec{v}_r + \vec{v}_c$ ) avait été pressentie par Clairaut au siècle dernier. (Mémoire de l'Académie des Sciences) repris par Coriolis avec l'aide de l'analyse et traité cette fois de manière générale et rigoureuse.

(...) La composition des mouvements est l'un des chapitres les plus intéressants de la cinématique moderne (...) C'est à Poinsot (théorie nouvelle de la rotation des corps), qu'on peut principalement rapporter la gloire d'avoir créé cette branche de la cinématique (composition de translation et rotation) et Lagrange avait déjà traité certains cas particuliers. Le mouvement le plus général (composition d'une T et R) a été découvert par Chasles (1830) (Bulletin universel des sciences p.321). Ce théorème, (...) assimile le déplacement élémentaire d'un solide dans l'espace au mouvement infiniment petit que prend une vis dans son écrou.

La composition des mouvements simultanés conduit à l'énoncée vrai et rigoureux de la règle de Roberval pour le tracé des tangentes à certaines courbes.

(...) Poinsot introduit dans la science la notion de couple. Depuis 1851, l'enseignement de la statique a subi des modifications profondes. Voici l'ordre adopté :

- Cinématique
- Dynamique avec ses principes (véritables postulats) justifiés à postériori
  - Le principe de l'Inertie donne la notion de force
  - Le principe de l'indépendance de l'effet des forces, indique la loi de leur composition
  - La mesure des forces est donnée par l'effet qu'elle produit pour accélérer, retarder, ou faire dévier le mouvement d'un point matériel auquel elle est appliquée
  - La notion de masse s'introduit en comparant les effets d'une même force sur des points matériels différents et l'on arrive enfin à poser cette loi, que la force a pour mesure le produit de la masse d'un point, par l'accélération totale qu'elle lui communiquerait si elle agissait seule
  - La règle du parallélogramme des forces est un corollaire immédiat de la composition des accélérations
  - La statique (...), est traitée en faisant usage des notions données sur le travail des forces; le théorème du travail virtuel est comme un moyen rapide d'opérer des compositions de forces

La statique repose en dernière analyse sur les postulats qui servent de base à la dynamique. Or il semble qu'il y ait là une erreur de raisonnement autant qu'une erreur d'histoire.

La statique remonte à Archimède. La dynamique ne date que de Galilée. Ne résulte-t-il pas que l'équilibre est bien plus simple, bien plus élémentaire que le mouvement et que l'idée de Force dans l'équilibre, est bien plus nette bien plus intuitive que l'idée de Force dans le mouvement?...

La nouvelle démonstration du parallélogramme des forces est empruntée aux Principia de Newton. Corollaire II, corollaire I découvert en 1687 par Newton et par Varignon (...).

Il semble donc qu'on ait été trop loin, en faisant de la dynamique du point, la base de la science de l'équilibre.

(...) Si l'on ne voulait voir dans le repos qu'un cas particulier du mouvement, il fallait le traiter comme tel ; et on le pouvait en établissant tout d'abord le théorème des forces vivres pour un point et pour un système, sauf à prendre ensuite pour base de la statique ce théorème transformé en celui des vitesses virtuelles. En d'autres termes, l'ancienne statique procédant du simple au composé, et à l'exemple de la géométrie élémentaire, elle s'élevait d'échelon en échelon, depuis l'équilibre du point, jusqu'au théorème du travail virtuel qui résume l'ensemble de la doctrine.

On connaît très bien une autre méthode, atteignant d'emblée le théorème le plus général pour en faire sortir toute les conséquences particulières par force de déductions successives. C'est en effet la démarche tracée par Lagrange dans sa Mécanique-Analytique. Le programme actuellement suivi n'a ni la simplicité de la lère méthode, ni la grandeur imposante de la seconde. Résultat d'un compromis entre deux tendance contradictoire, il ne donne satisfaction à aucune."

Ces quelques lignes ont été choisies car l'argumentation parait avoir une actualité certaine... "L'histoire" se répéterait-elle? S. PROVOST

Pour la rentrée, il a été distribué, une photocopie de l'édition originale du Traité de la lumière de Christian Huygens (Leide 1690), à différents collègues des lycées Corneilles, J. d'Arc, Les Bruyères, Val de Seine, F. Buisson d'Elbeuf, Pont Audemer, Vernon. Un exemplaire a été mis à la bibliothèque de l'IEM. J'ai d'autre part invité Monsieur Rosmorduc, spécialisé en Histoire de l'Optique, et vous pouvez lire le CUIDE n°21, où Danielle Fauque fait un compte rendu de son travail en Histoire des Sciences dans ses classes de Lycée.

TRAITE  
DE LA LUMIERE.

Où sont expliquées

*Les causes de ce qui luy arrive*

Dans la REFLEXION, & dans la  
REFRACTION.

*Et particulièrement*

Dans l'étrange REFRACTION

DU CRISTAL D'ISLANDE,

Par C. H. D. Z.

*Avec un Discours de la Cause*

DE LA PESANTEUR.



A L E I D E,

Chez PIERRE VANDER AA, Marchand Libraire,  
M D C X C.

Mme Edith Saltiel, du Laboratoire de didactique de la physique dans l'enseignement supérieur (Paris VII) viendra à l'IEM le 8 octobre prochain ; le sujet de la conférence sera probablement: Raisonnements spontanés des élèves, et modèles physiques passés et actuels. Je dépose à l'IEM un exemplaire de la Thèse d'Etat de Mme Saltiel et de celle de Madame L. Viennot pour, les compiler sur place. Une photocopie de "la connaissance et l'erreur" de Mach est aussi à votre disposition à l'IEM