

LE CONCEPT D'INFORMATION AU
SECOURS DE LA THERMODYNAMIQUE ?
UNE DISCUSSION
DU PRINCIPE DE LANDAUER

A N O U K B A R B E R O U S S E
I H P S T , C N R S - U N I V E R S I T É P A R I S 1 -
É C O L E N O R M A L E S U P É R I E U R E

Un travail de clarification mené dans le cadre du
projet COMPUPHYS, avec tous mes
remerciements à Daniel Parker, Virginia Tech.

LE POINT DE DÉPART

- ✻ Les rapports entre la thermodynamique et la théorie cinétique des gaz
- ✻ Le deuxième principe de la thermodynamique et les fluctuations microscopiques
- ✻ L'idée du démon de Maxwell : Y a-t-il moyen d'exploiter à l'échelle macroscopique les fluctuations microscopiques ?

LE DEUXIÈME PRINCIPE EN DANGER ?

- ✻ L'idée même du démon est choquante : le deuxième principe ne serait donc pas universel ?!
- ✻ D'où la tentation d'“exorciser” le démon, c'est-à-dire de montrer qu'il ne peut pas exploiter à l'échelle macroscopique les fluctuations microscopiques.

[Faut-il résister à cette tentation ?]

- ✻ De quel type de possibilité s'agit-il ?

DE LA POSSIBILITÉ DU DÉMON

- ✻ Possibilité logique
- ✻ Possibilité épistémique
- ✻ Possibilité physique -- accord avec les lois de la physique
- ✻ Mais ... quelles lois ?

MOTIVATIONS DE L'INTRODUCTION DU CONCEPT D'INFORMATION

- ✻ But : Bloquer la possibilité physique de l'action du démon, c'est-à-dire l'exorciser par les lois de la physique
- ✻ Moyen : Introduction d'une nouvelle quantité, *l'information*, que l'on tente de définir dans le cadre de la physique.
- ✻ Concepts liés : opérations de manipulation d'information (acquisition, effacement)

INSERTION DU CONCEPT D'INFORMATION DANS LA PHYSIQUE

- ✻ A l'aide d'un principe physique nouveau liant information et entropie

Idée générale : Certaines opérations de manipulation de l'information "coûtent" de l'entropie.

- ✻ Exemple : principe de Landauer
- ✻ Vaste débat sur la façon de comprendre précisément le lien entre manipulation d'information et variation d'entropie.

LE PRINCIPE DE LANDAUER

- ✻ L'effacement d'un bit d'information réduit l'entropie du dispositif de mémoire de $k \ln 2$, c'est-à-dire réchauffe l'environnement de $0,6931 kT$.
- ✻ (C'est grâce à Landauer que l'on sait que ce n'est pas l'acquisition d'information, mais l'effacement, qui coûte de l'entropie.)

PROBLÈMES RELATIFS AU PRINCIPE DE LANDAUER

- ✻ Problèmes de signification : Que signifie exactement “effacer de l’information” ? A quelle opération physique cela correspond-il ?
- ✻ Comment étendre les exemples au cas général ?
Comment prouver la validité du principe en général ?

SIGNIFICATION DU PRINCIPE DE LANDAUER

- ✻ Soit un ensemble statistique de bits à l'équilibre thermique. Si à un moment on leur donne à tous la valeur 1, le nombre d'états accessibles à cet ensemble est divisé par 2, par conséquent l'entropie a été réduite de $k \ln 2$ par bit (Landauer).
- ✻ L'opération d'effacement réduit le nombre d'états, c'est-à-dire qu'elle correspond à une compression du volume occupé dans l'espace des phases du dispositif (Bennett).
- ✻ Mais cela reste un slogan !

- ✻ Quelles propriétés du dispositif de mémoire sont essentielles ? Lesquelles sont moins importantes ?
- ✻ Quelles sont les opérations d'effacement autorisées ?
- ✻ Sur quelles lois physiques est fondée la démonstration du principe ?
- ✻ Problème principal (Norton, 2009) : la démonstration du principe repose sur le caractère irréversible thermodynamiquement de l'opération d'effacement, alors que la question de savoir si une procédure d'effacement est nécessairement irréversible reste ouverte.

ANALYSE DE L'INTRODUCTION DU CONCEPT D'INFORMATION EN PHYSIQUE

- ✻ Constat d'une anomalie
- ✻ Découverte d'un nouveau principe permettant de la résoudre
- ✻ Mais il faut aussi des raisons indépendantes qui justifient le principe.

LE PRINCIPE DE LANDAUER REMPPLIT-IL SON OBJECTIF ?

Le dilemme (Earman et Norton, 1998, 1999) :

- branche “raisonnable”
- branche “profonde”

LA VERSION DE BENNETT

- ✻ Bennett accepte la branche “raisonnable” du dilemme.
- ✻ “En un sens le principe de Landauer est bien une conséquence immédiate ou une paraphrase du deuxième principe de la thermodynamique, mais il possède un pouvoir pédagogique et explicatif considérable.”
- ✻ Si on accepte le deuxième principe, on *sait* que les opérations du démon doivent avoir un coût entropique, mais on ne sait pas lesquelles exactement. Le principe de Landauer nous le dit.

FAUT-IL VRAIMENT EXORCISER LE DÉMON ?

- ✻ Et si le démon était possible ?
- ✻ Qu'y a-t-il à expliquer exactement ?