

L'écriture et le réchauffement de la Terre

Philippe Matherat

CNRS, LTCI (UMR 5141) / TELECOM-ParisTech, dépt. Comelec

<http://matherat.net/>

Résumé

Les ordinateurs chauffent et participent ainsi au changement climatique. Leur dissipation d'énergie est reliée à leur fonction logique, à ce qui est langage dans ce qu'ils font. Serait-il déraisonnable d'essayer de généraliser cette proposition, en affirmant que la pollution trouve son origine dans l'écriture? Une telle question conduit à s'interroger d'une part sur les fondements logiques des sciences et des techniques, et d'autre part sur les liens entre leur développement et la dégradation de l'environnement. Nous proposons de revisiter la notion de mesure, sur laquelle sont fondées les sciences expérimentales, à la lumière de l'algorithmique. Nous envisagerons la mesure comme un acte créateur du physicien, permettant d'espérer un développement des connaissances compatible avec l'avenir de notre planète.

Ce texte a été motivé par notre participation au colloque : « Écritures : sur les traces de Jack Goody », qui s'est tenu à Lyon du 24 au 26 janvier 2008 [1]

L'électronique numérique pourrait être considérée comme une discipline technique, liée uniquement à des contraintes de réalisation lors de l'implémentation de fonctions de calcul, ces dernières plus nobles, mathématiques, pouvant être conceptualisées indépendamment de leur réalisation éventuelle. Mais nous allons voir que la relation entre ces concepts mathématiques et leurs implémentations est plus intriquée qu'on le croit généralement, et que ce qui est en cause est le statut de l'écriture.

On peut aborder cette problématique par le biais d'une interrogation du bien-fondé de l'opposition habituelle entre :

- le *matériel* (les composants électroniques, qui pèsent, encombrant, consomment, chauffent...),
- et le *logiciel* (les programmes informatiques, ou les contenus multimedia, ce qui se stocke et se transmet) aussi appelé *immatériel*.

Pour introduire cette interrogation sur le bien-fondé d'une opposition matériel/logiciel, nous choisissons l'angle d'approche qui consiste à poser la question : « Pourquoi les ordinateurs chauffent ? ».

Les ordinateurs chauffent

Considérons le bilan énergétique d'un ordinateur (figure 1). La totalité de l'énergie électrique consommée est transformée en chaleur. De ce point de vue, cet objet est équivalent à un radiateur électrique. L'énergie électrique transformée en chaleur est dite "dégradée", ou "dissipée", et le phénomène est appelé "la dissipation".

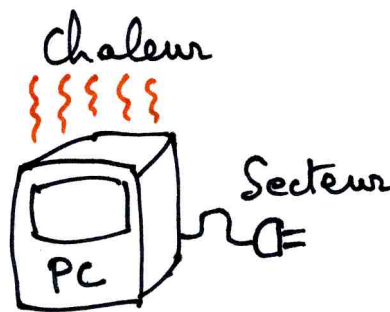


FIG. 1 – Bilan énergétique d'un ordinateur

Au sein de la physique, les questions concernant la chaleur sont traitées au chapitre de la thermodynamique, qui nous enseigne que la dissipation est positive et que pour certains dispositifs (moteurs et pompes à chaleur) il y a une limite inférieure non nulle pour leur dissipation. Mais pour cet objet ordinateur qui n'est ni un moteur thermique ni un réfrigérateur, elle ne nous indique pas de limite inférieure. Du coup, la question pourrait se reformuler en : « Comment se fait-il qu'on n'arrive pas à concevoir des ordinateurs qui ne dissipent pas ? ».

Cette question est liée à un enjeu économique et industriel considérable puisque les objets électroniques fabriqués par l'industrie dissipent vraiment trop : les batteries des appareils portables sont toujours trop vite déchargées et on ne peut pas augmenter leurs capacités car le poids en serait trop élevé. Les fabricants d'ordinateurs portables sont obligés de limiter la vitesse de calcul (fréquence d'horloge) en bridant ainsi volontairement les performances. En effet, la puissance dissipée est proportionnelle à la fréquence d'horloge. Pour pouvoir augmenter celle-ci, il faudrait ajouter des ventilateurs encombrants et bruyants. Il faut trouver un compromis entre dissipation et performances, et c'est le problème majeur de la conception des puces électroniques.

Un ordinateur est un écrit

Pour essayer de comprendre cette dissipation du calcul, nous proposons de dire : un ordinateur est un *écrit* qui traite de l'*écrit*.

Qu'un ordinateur traite de l'écrit est communément admis. Ce qui est traité est écrit dans la mémoire de l'ordinateur sous forme d'une chaîne de chiffres binaires. On code ainsi des textes, des sons, des images, des vidéos. Le résultat du traitement est lui aussi écrit dans la mémoire, et le programme qui définit le traitement est aussi un écrit. Pour ce qui est de la fonction de l'ordinateur, il est donc clair que tout est écrit : données, programme, résultat.

Que l'ordinateur soit lui-même un écrit, c'est moins admis, mais on peut l'approcher en considérant la façon de travailler des électroniciens qui conçoivent ces machines. Nous proposons de le démontrer en quatre étapes :

1. Lorsque les ingénieurs conçoivent une puce électronique, ils écrivent un texte dans un langage de programmation spécifique pour décrire le matériel. Ces langages (*HDL : Hardware Description Language*), ne sont pas fondamentalement différents des langages utilisés pour le logiciel. Le "texte source", qui décrit la puce, peut être envoyé à un industriel qui réalisera la puce, mais il peut aussi être utilisé pour simuler la fonction de la puce à l'aide d'un autre logiciel exécuté sur un autre matériel. Toute la fonction de la puce éventuelle est dans ce texte source.
2. Tous les paramètres qui caractérisent la matérialité de la puce réalisée sont des inconvénients : c'est toujours trop gros, trop lourd, ça consomme trop, ça chauffe trop, c'est trop lent. Tout ce qui caractérise cette matérialité est "trop", et pourtant il est indispensable que la puce soit matérielle. Un logiciel seul n'existe pas, il lui faut un support matériel. Il n'est pas question de se passer de l'électronique pour faire fonctionner les programmes seuls, ou les multimédias seuls. Si on les dit *immatériels*, c'est qu'ils sont dans une large mesure indépendants de leurs supports, c'est-à-dire qu'ils peuvent transiter d'un support à un autre. Mais le support matériel leur est nécessaire en toutes circonstances. C'est clair en anglais où le préfixe "e-" dans "e-mail" ou "e-business" (par exemple) est là pour "electronic-" et non pour le "i-" de "immatériel". (Quand on rencontre le préfixe "i-" en anglais dans le contexte des nouvelles technologies, il s'agit en général du "I" qui veut dire "Je", ou de "i-internet".)
3. On peut simuler complètement la fonction de la puce, puisque tout ce qui nous intéresse de sa fonction est capté par le texte source. À toutes les étapes de la conception d'une puce, les ingénieurs simulent les différentes parties de celle-ci

afin de contrôler que ce qu'ils ont écrit correspond bien à ce qui est souhaité par le cahier des charges. Mais cela ne suffit encore pas pour dire que ce matériel est un écrit : en effet, on peut simuler complètement les mouvements d'une automobile et on ne dit pas pour autant qu'une automobile est un écrit.

4. Un point crucial concerne la fabrication des puces. On en fabrique de grandes quantités en même temps (en parallèle), toutes de la même façon, c'est un point essentiel car la viabilité de cette industrie repose sur les économies d'échelles. Mais toutes les puces ne fonctionnent pas, on doit les trier : celles qui fonctionnent correctement sont vendues, les autres jetées à la poubelle. Pourtant, puisqu'elles sont toutes fabriquées de la même façon, en tous cas avec l'intention de le faire, les différences entre les bonnes et les mauvaises ne résident pas dans quelque chose de connu dans la façon dont on a agencé leur matière lors du processus de fabrication. À l'issue de la chaîne de fabrication, on teste les puces, c'est-à-dire qu'on les installe sur une machine qui vérifie leur fonctionnement. Comment ? En les comparant à leur simulation ! Si une puce réalise la même fonction que sa simulation, elle est déclarée bonne à être vendue. Il s'agit là d'une "identité au sens de l'être" comme aurait dit Descartes. Ce qui définit qu'une puce est correcte, c'est qu'elle est indistinguable de sa simulation. L'être de ces puces est donc défini par leur fonction (un écrit), non par leur composition matérielle.

Pour ces raisons, particulièrement la dernière, nous n'hésitons pas à dire qu'un ordinateur est un écrit.

C'est le logiciel qui chauffe

Pour un calcul particulier (une tâche particulière), l'énergie dissipée par un ordinateur est de la forme :

$$E_d = C_a \times T_e$$

- le terme T_e est un facteur technologique (une énergie). Il représente l'énergie qu'il est nécessaire de dissiper (par effet Joule) pour changer la tension électrique d'un fil, c'est-à-dire pour changer la valeur d'un bit. Sa forme est $\frac{1}{2}CU^2$ (C étant la capacité électrique du fil, et U la tension d'alimentation). Ce terme diminue rapidement avec le progrès technologique, au fur et à mesure que s'améliore la finesse de gravure, c'est-à-dire la miniaturisation.
- le terme C_a est lié à une complexité algorithmique. C'est le nombre total de bits qu'il a fallu modifier pour effectuer le calcul. C'est un nombre qui caractérise *quelque chose de la structure de l'écrit*.

On peut montrer que le terme C_a a quelque chose à voir avec la "souplesse" de la fonction, sa reconfigurabilité, sa programmabilité [2] [3]. Une même fonction, si elle est réalisée à l'aide d'une puce spécialisée pour cette fonction, dissipera moins que si elle est réalisée à l'aide d'un circuit reconfigurable qui pourrait effectuer aussi d'autres fonctions. Et elle dissipera d'autant plus que le circuit reconfigurable peut effectuer de plus nombreuses autres fonctions. C'est le logiciel qui chauffe! En fait c'est le couple (logiciel, matériel), mais la quantité dont il chauffe est liée à sa "logicialité", si on peut se permettre de nommer ainsi ce qui caractérise le logiciel : la souplesse de sa programmabilité.

Lorsqu'on simule la fonction d'une puce à l'aide d'un logiciel sur une autre puce, ça chauffe davantage et c'est plus lent (à technologie égale). La dissipation et le temps sont les deux paramètres physiques qui permettent de quantifier quelque chose de la structure de l'écrit qui est capté par le terme de "complexité".

C'est la *structure logique* qui a pour conséquence une *dissipation*. En fait, nous avons ici un moyen de relier la *logique de l'écrit* avec le temps physique et la dissipation thermique.

Cette notion de complexité, fondée sur la dissipation, est un moyen de mettre en évidence ce que nous appellerons des *degrés de structuration de l'écrit* et qui est donc quantifiable. Nous utiliserons plus loin cette notion.

Précisons un peu le type d'écrit concerné dans le calcul. Un circuit électronique numérique est décrit par un graphe (figure 2). Ce graphe peut aussi s'écrire sous

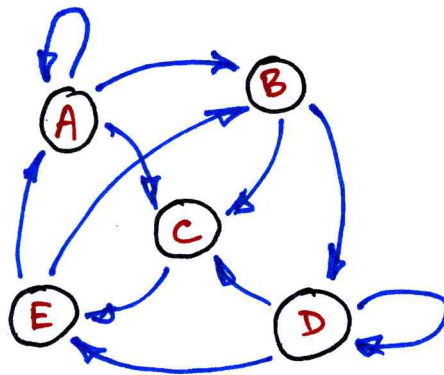


FIG. 2 – Graphe d'automate

forme linéaire, un texte, une expression algébrique qui décrit le langage rationnel équivalent à ce graphe. Ceci est traité par la "théorie des automates", qui débouche sur la définition de la "machine de Turing" qui sert à décrire ce que nous appelons

maintenant "calcul", et qui recouvre la totalité des fonctions pouvant être effectuées par un ordinateur [4].

Le besoin d'utiliser des puces plus programmables, moins spécialisées, besoin qui conduit à davantage de dissipation, est lié à deux faits apparemment très distincts :

1. Il est essentiel dans cette industrie de concevoir des puces qui peuvent s'utiliser dans des configurations les plus variées qu'il est possible car ainsi le marché en est plus grand. Cela permet de faire des économies d'échelle, car le coût de développement ne peut être amorti que sur un très grand nombre de pièces fabriquées.
2. Le modèle de calcul, c'est-à-dire l'objet mathématique qui décrit la fonction de ces puces, qui est celui de la machine de Turing, contient cette notion de programmabilité comme un point essentiel. C'est aussi le point qui fait que toute machine à calculer peut simuler n'importe quelle autre. On parle de modèle de "machine universelle".

Il est curieux de constater que cette structure logique, qui peut paraître comme la recette miracle "pour tout faire", tant sur un plan fondamental que sur le plan économique, est aussi celle qui conduit à une dissipation plus élevée.

La participation du calcul dans le changement climatique commence à ne plus être négligeable puisqu'il est estimé que 1,2 % de la consommation électrique nationale des USA est due aux centres informatiques, et encore ce chiffre ne prend pas en compte tous les centres de Google, dont le nombre de serveurs est estimé à 450 000 [5]. (Google installe ses nouveaux centres de serveurs à proximité des barrages hydro-électriques afin de profiter de tarifs plus avantageux.)

Comment comprendre cette dissipation de l'écrit ?

Ce que nous avons décrit brouille la distinction habituelle entre matériel et logiciel :

- Nous avons parlé d'un objet matériel qui est un écrit (logiciel),
- Un logiciel sans matériel n'existe pas,
- Ce qui chauffe dans le couple (matériel, logiciel), c'est la "logicialité".

Il s'agit donc là d'un mélange complet entre ces deux notions, alors qu'habituellement on les distingue comme on le fait pour concret/abstrait, corps/esprit, matériel/immatériel, suivant les dualismes classiques suivants. (Lorsque la structure logique d'un algorithme cause la dissipation thermique, s'agirait-il d'un effet psychosomatique ?)

Logiciel	/	Matériel
Esprit	/	Corps
Psychique	/	Somatique
Essence	/	Apparence
Pensée	/	Écriture

On s'aperçoit que l'écriture est à la fois en haut à gauche (logiciel) et en bas à droite. Ceci conduit à des contradictions ou bien des circularités qu'on a du mal à gérer, et qui en tous cas ne nous éclairent pas beaucoup lorsqu'il s'agit de comprendre cette dissipation du logiciel.

Cette difficulté apparaît à chaque fois que l'on essaye de raisonner sur des objets qui en représentent d'autres. Les images par exemple sont dans ce cas. Nous avons alors en effet un couple représentant/représenté, et le représentant peut lui-même être représenté. Le représenté peut aussi être représentant. Le texte écrit qui décrit une puce est dans cette situation., il a nécessairement un support matériel et il représente un autre matériel qui, lui, n'est pas défini autrement que par ce texte.

Comment avancer pour faire la physique de ces dispositifs ? La solution consiste-t-elle à supprimer ces dualismes? Probablement non. Mais il faut être conscient des circularités afin de ne pas se leurrer sur les fondations d'un système logique ou les fondations d'un système métaphysique, afin de ne pas être conduit à des contradictions qu'on n'est pas forcément prêt à soutenir.

Pourrait-on organiser ces dualismes autrement, en les recollant partiellement? Par exemple en reconnectant les deux occurrences de l'écriture? Il nous semble que ce serait un programme bien ambitieux qui impliquerait de lourdes modifications dans la façon de fonder logiquement la physique.

On peut rapidement remarquer au moins trois points :

1. Il est probable que la notion de *matière*, issue de Newton, est à reconsidérer. Notre exemple concernant la dissipation matérielle dûe au logiciel nous montre qu'il ne s'agit pas ici de la *masse*, mais d'une autre notion, davantage liée à quelque chose de structurel, une structure dans le langage qui décrit l'objet et qui conduit à la dissipation.
2. Il y a là l'intervention du *temps*. Cela peut se voir d'une part en considérant que ce qui concerne la dissipation a toujours partie liée au temps. D'autre part, dans nos recherches liées aux *circuits asynchrones* [6], nous avons eu par ailleurs l'occasion de voir que d'autres structures de synchronisation, définissant d'autres structures de temps, conduisent à une dissipation que l'on peut considérer autrement. Dans les circuits asynchrones, la synchronisation n'est pas effectuée à l'aide d'une horloge globale définissant un temps commun à tout le circuit,

mais à l'aide de synchronisations locales qui conduisent à un temps qui n'est plus un nombre mais un ordre partiel. Ce temps ressemble beaucoup à celui de la relativité [7]. Il est lié à une façon particulière d'écrire les calculs. En d'autres termes, changer de façon d'écrire le calcul peut conduire à changer à la fois le modèle de temps et le modèle de dissipation.

3. En physique, on cherche généralement à évacuer le *langage*, afin d'éviter d'avoir à considérer le "sujet", car on souhaite que la physique soit objective. Il nous semble qu'on pourrait introduire des considérations objectives sur le langage de l'expérience, comme on le fait en informatique lorsqu'on manipule les langages de programmation. Ceci permettrait d'introduire le langage en physique sans pour autant menacer l'objectivité. Il nous semble que cela pourrait permettre d'aborder une question telle que celle de la dissipation du calcul.

Il nous semble qu'il y a là un triplet (matière, temps, langage) qui possède la propriété que lorsqu'on touche à l'un des trois termes, les deux autres sont ébranlés. Nous avons vu par le passé un tel exemple d'ébranlement avec la théorie de la relativité (décrit ci-après). Mais il nous semble qu'on devrait pouvoir en provoquer un nouveau, en s'appuyant par exemple sur ces liens entre matériel et structure du logiciel.

Cherchons comment avancer, pour traiter notre question sur les relations entre matériel et logiciel, en explorant les pratiques scientifiques liées au langage dans les mathématiques et les sciences de la nature.

Mathématiques et langages logiques

Il semble clair que les mathématiques ne peuvent exister sans l'écriture. En effet, il est essentiel en mathématiques de pouvoir vérifier une preuve (démonstration d'un théorème). Une preuve est un texte figé dans lequel la succession des transformations est conforme à des règles rigides (syllogismes). Même si on peut accéder à des preuves simples par l'oral (calcul dit "mental"), très peu de preuves sont assez simples pour cela, et par ailleurs les mathématiques sont un échaffaudage cumulatif de ces preuves.

En grec, une voyelle, le préfixe privatif "a-", permet d'écrire la négation logique. Ce serait l'adaptation par les grecs de l'alphabet consonantique des phéniciens, en y ajoutant la graphie des voyelles ([8], page 34), qui aurait permis la naissance de la logique écrite, et ainsi l'essor des mathématiques. Par ailleurs, la notation graphique des voyelles par les grecs aurait permis de lire un texte qu'on ne comprend pas, introduisant par là une dissociation lecture/compréhension qui serait à l'origine du dualisme corps/esprit ([8], page 123).

Bertrand Russell suggère lui que, chez Platon, la théorie des idées (ou des universaux) est la solution trouvée pour donner un sens aux mathématiques de Pythagore ([9], page 26).

Le dualisme platonicien serait donc une conséquence de l'invention de l'écriture, en association avec la naissance des mathématiques. L'écriture serait ainsi à la fois à l'origine de la difficulté (le dualisme) et au coeur du symptôme, en tant que souffrant de ne pouvoir se situer résolument d'un seul côté de ce dualisme.

La difficulté liée au fait que l'écriture soit des deux côtés dans le dualisme ressort particulièrement lorsqu'il s'agit de choisir comme objet d'étude le langage lui-même. En informatique, afin de définir sans ambiguïté un langage logique, on a recours à un métalangage qui permet d'indiquer les contraintes syntaxiques sur l'objet langage étudié. Langage et métalangage peuvent être vus comme chacun d'un côté dans le dualisme, puisqu'il s'agit d'un objet et de sa description, mais pourtant ils sont tous les deux langages, parfois de même nature.

Les mathématiques constituent un langage qui ne parle de rien d'autre que de sa propre forme. C'est un effet de la construction axiomatique. Le langage des hommes (hors les mathématiques) est bourré d'ambiguïtés car métalangage et langage y sont confondus. Ce n'est pas qu'un inconvénient, c'est même ce qui permet de dire quelque chose qui ne porte pas que sur la forme du langage [10]. Pouvons-nous nous en inspirer afin d'aborder notre question portant sur la distinction matériel/logiciel qui se présente comme une question de physique nécessitant de prendre en considération la structure du langage ?

Sciences de la nature

En physique, et dans les sciences de la nature en général, on cherche à utiliser le dualisme ainsi :

$$\begin{array}{ccc} \text{Écriture} & / & \text{Objet décrit} \\ \text{Loi mathématique} & / & \text{Dynamique de la nature} \end{array}$$

On souhaite une description objective, c'est-à-dire indépendante de l'observateur. La description de la nature doit ne rien refléter du sujet qui la décrit. Ce qu'on affaiblit en : la représentation mathématique de la nature ne doit décrire que ce qui est commun à toutes les observations [11].

Pourtant, on est bien embarrassé des inévitables interactions entre l'observateur et l'objet observé. On parvient à éliminer les modifications évidentes (objectives?) de l'objet par l'observateur. Mais on oublie généralement (tant pour la mécanique quantique que pour la physique classique) que l'écriture mathématique des lois, en utilisant un langage logique qui induit sa propre structure :

- ne peut prétendre représenter complètement la nature, (et ne peut prétendre permettre de savoir si elle s’approche ou non d’une telle représentation complète),
- est sujette à des choix et des conventions qui résultent de la structure même du langage et qui de ce fait ne sont pas perçus comme des choix ou conventions.

Ainsi, le langage logique est amené à modifier notre perception de la nature, par l’action de l’homme consécutive à l’énonciation des lois.

Prenons un exemple qui a par ailleurs fait l’objet de nombreuses études. À l’origine de la théorie de la relativité, il y a la prise de conscience que le temps n’est pas le même partout, qu’une mesure de durée dépend du mouvement de l’observateur, et qu’ainsi donc le temps ne peut avoir une valeur objective. Il est néanmoins possible d’inventer des algorithmes de synchronisation des horloges, réintroduisant ainsi une part artificielle commune à tous les observateurs [11] [12] [13]. Ces algorithmes sont des programmes (au sens informatique, donc des écrits) fondés sur des conventions humaines. La théorie d’Einstein est fondée sur la convention que la mesure de la vitesse de la lumière est indépendante du mouvement de l’observateur par rapport à la source, et cette convention permet la mise en place d’un algorithme de synchronisation d’horloges, ce qui débouche sur la formulation de 1905. On peut remarquer à ce propos que cette nouvelle formulation *logicielle* (algorithmique) de l’espace-temps a conduit à la célèbre équivalence entre *matière* et énergie. Cette formulation algorithmique sur le temps conduit donc à changer notre conception de la matière.

Aujourd’hui, le système GPS est fondé sur la relativité générale. Il intègre des algorithmes de synchronisation conventionnels. C’est un texte écrit. Il a pour conséquence de modifier les routes choisies par les navires, de même qu’il modifie l’économie de nombreuses activités humaines.

Écriture et pollution ?

Ouvrons une parenthèse pour revenir à une discussion sur notre titre. Au-delà de la simple dissipation des ordinateurs, ce titre suggère un lien entre l’écriture et la pollution. Est-ce bien raisonnable ? Dit ainsi, c’est trop grossier pour être acceptable, ne serait-ce que parce que l’écriture existe depuis plus de cinquante siècles [8], alors que la pollution n’a vraiment commencé à augmenter rapidement qu’au vingtième siècle. Mais si on essaie de considérer un certain type d’écrit, lié à une certaine forme de culture scientifique et technique, n’y aurait-il pas un rapport entre ce que nous avons appelé ”quelque chose dans la structuration de l’écrit qui serait lié à une complexité” (et que quantifie la dissipation) et des conséquences sur l’organisation de la société et son économie ? Cette question nous semble plus motivante, même si tout est à construire d’une argumentation qui pourrait étayer une réponse affirmative.

Immédiatement, une difficulté surgit de l'éventualité d'une réponse affirmative. En effet, une telle réponse pourrait laisser croire qu'il s'agit d'une mise en cause de la culture scientifique et technique, ce qui, si on en reste là, serait tout-à-fait obscurantiste. Il faudrait donc, dès l'abord d'un tel programme, lui associer un complément, qui consisterait à se fonder sur une compréhension du mécanisme reliant structure de l'écrit et pollution, afin d'imaginer d'autres structures de l'écrit qui pourraient concilier la connaissance scientifique avec une meilleure issue pour la planète. C'est cette préoccupation qui nous guide dans ce texte. Comment faire évoluer les fondements logiques de la physique, afin de tenir compte de l'influence du langage, et afin que cette prise en compte ouvre vers autre chose qu'un désespoir.

La mesure en physique

Il nous semble qu'on peut avancer vers la prise en compte du statut du langage dans la physique, tout en gardant en mémoire la position contradictoire de l'écriture dans les dualismes, si l'on reconsidère ce qu'est la mesure dans les sciences de la nature.

Considérons un exemple simple de mesure en physique : la mesure de masse par une balance de Roberval (figure 3).

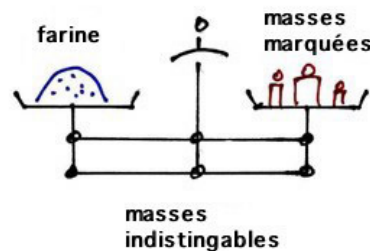


FIG. 3 – Balance de Roberval

Pour peser la farine, on pose des *masses marquées* dans le plateau de droite. On utilise un algorithme de construction d'une masse arbitraire à droite, qui itère par encadrement jusqu'à converger vers l'état symétrique du fléau. On dit alors (par convention) que la masse de la farine est égale à la somme des masses marquées. Ce qu'on appelle *mesurer* la masse de la farine :

- *n'est pas* prélever une information sur l'essence de la farine,

- mais *est* construire une autre masse (à l'aide d'un algorithme qui est un texte écrit) et comparer (indistingabilité).

Selon cette conception, la mesure n'est pas quelque chose (un transfert d'information?) qui irait uniquement de l'observé vers l'observateur, ou du représenté vers le représentant (un représentant écrit d'une valeur numérique?), mais c'est une interaction, dans une boucle itérative, et l'écriture est prise dans la boucle. Il est clair que ce qui est observé dépend étroitement de l'écrit (l'algorithme), et comme tel dépend de la créativité du physicien [14]. L'algorithme du GPS et ses conventions jouent le même rôle pour notre conception de l'espace-temps. Cet algorithme est à la fois ce qui construit notre référentiel spatio-temporel et ce qui nous y situe.

Cette conception de la mesure est une façon de s'accomoder des circularités dans le dualisme, mais au prix d'une acceptation de l'acte de création d'un écrit par l'observateur. Mesurer, ou percevoir, c'est créer, en sciences comme en arts. On peut citer Paul Klee [15] : « L'art ne reproduit pas ce qui est visible, mais rend visible ».

Ce point de vue permet de ne pas voir les sciences de la nature comme la découverte de ce qui serait *déjà là*, avant l'observation et la mesure. Si tout était déjà là, si l'homme ne créait pas dans la découverte, il pourrait y avoir un déterminisme de la découverte qui enlèverait toute responsabilité dans l'acte du scientifique, et plus généralement dans celui de l'écrivain.

Conclusion

Dans ce colloque dédié à Jack Goody, et centré plutôt sur les modifications de l'oralité causées par l'écriture, nous avons cherché à montrer qu'il pouvait y avoir à distinguer des degrés dans l'écriture, associés à des formes différentes de sociétés, degrés liés à une structure, et qui devraient pouvoir se quantifier, comme se quantifie la dissipation des ordinateurs à partir d'une notion de complexité algorithmique. Les algorithmes de l'informatique sont comme les "recettes" chez Goody [16], mais avec quelque chose de plus mathématique, qui devrait permettre d'explicitier cette notion de degrés ou de complexité dans la structuration de l'écrit.

Nous avons évoqué l'action directe de l'écriture dans la dissipation d'énergie par les ordinateurs. Certes, il s'agit d'une petite part dans le changement de climat, mais plus généralement il est clair que : sans écriture, pas de mathématiques, donc pas de développement scientifique et technique, donc pas de conséquences pour l'environnement. Pour aller plus avant, il serait intéressant de corréliser nos "degrés de structuration de l'écrit" avec des degrés de pollution entraînée par différentes structures de sociétés.

Notre texte se refuse d'être une mise en accusation de la culture scientifique et

technique. Nous avons voulu, en interrogeant l'opposition hâtive entre logiciel et matériel, mettre en évidence le fait que l'écriture n'est pas *immatérielle*, et que sa matérialité peut être quantifiée par une théorie physique. Nous souhaiterions progresser dans cette direction en interrogeant les fondements logiques de la physique et en les modifiant éventuellement afin de prendre en compte les effets de la structure du langage sur notre connaissance de la nature.

Si l'homme, en ne cherchant que l'objectivité dans sa connaissance de la nature est conduit à oublier sa responsabilité de découvreur, il pourrait considérer que ne s'offre à lui que le choix entre pollution et obscurantisme. Il nous semble que la conception de la mesure que nous avons exposée, comportant une nécessaire part de création dans l'acte du physicien, conduit à le rendre davantage responsable dans sa démarche de chercheur.

Références

- [1] <http://barthes.enssib.fr/colloque08/>
- [2] Philippe Matherat, « Où en est-on de la dissipation du calcul ? Retour à Bennett », *Annales des télécommunications*, Vol. 62, n^o 5-6, p. 690-713, mai-juin 2007, et <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00082436/fr/>
- [3] Philippe Matherat et Marc-Thierry Jaekel, Dissipation logique des implémentations d'automates - dissipation du calcul, *Technique et Science Informatiques*, 15-8, p. 1079-1104, 1996, et <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00180863/fr/>
- [4] Marvin L. Minsky, *Computation : Finite and Infinite Machines*, Prentice-Hall, 1967.
- [5] Jérôme Fenoglio, « Alerte à la surchauffe informatique », *Le Monde* du 24 juin 2007. http://www.lemonde.fr/cgi-bin/ACHATS/acheter.cgi?offre=ARCHIVES&type_item=ART_ARCH_30J&objet_id=995140
- [6] Matherat P. et Jaekel M.-T., *Concurrent computing machines and physical space-time*, Mathematical Structures in Computer Science , Vol. 13, numero 5, (oct. 2003), p. 771-798, CUP. <http://www.comelec.enst.fr/~matherat/publications/mscs03/>
- [7] Matherat P., *Le temps du calcul et le temps des ordinateurs*, <http://hal.archives-ouvertes.fr/ccsd-00089817>, 23 août 2006.
- [8] Clarisse Herrens Schmidt, *Les trois écritures*, Gallimard, 2007.
- [9] Bertrand Russell, *Wisdom of the West*, Rathbone Books, London, 1959.

- [10] Jacques Lacan, *Le séminaire, Livre III : Les psychoses*, Éditions du Seuil, 1981.
- [11] Bertrand Russell, « Philosophical Consequences of Relativity », *Britannica*, 13ème édition, 1926, et à http://www.britannica.com/heritage/article?content_id=1368. Traduction en français accessible à <http://perso.enst.fr/~matherat/publications/Russell/cons-phil.pdf>
- [12] Albert Einstein, « Zur Elektrodynamik bewegter Körper », *Annalen der Physik*, Vol. 17, p. 891–921, 1905.
- [13] Bertrand Russell, *ABC of relativity*, 1925. Réédition Routledge 1997.
- [14] Philippe Matherat, « Notre façon moderne de voir est conditionnée par la camera obscura - Réflexion sur les fondements logiques de la perception et de la mesure », *Intellectica*, Vol. 2007/1, n^o 45, p. 167-191, et <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00243158/fr/>
- [15] Paul Klee, *Confession d'un créateur*, 1920. Extrait de l'ouvrage édité par Taschen sur Paul Klee, 2006.
- [16] Jack Goody, *La raison graphique*, Les éditions de minuit, 1979.