



HAL
open science

Energie informatique et choix de matériel

Louis de Mesnard

► **To cite this version:**

Louis de Mesnard. Energie informatique et choix de matériel. [Rapport de recherche] Laboratoire d'analyse et de techniques économiques(LATEC). 1995, 17 p., Figure. hal-01527143

HAL Id: hal-01527143

<https://hal.science/hal-01527143v1>

Submitted on 24 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LATEC

LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE TECHNIQUES ÉCONOMIQUES

UMR 5601 CNRS

DOCUMENT DE TRAVAIL



Pôle d'Economie et de Gestion

2, boulevard Gabriel - 21000 DIJON - Tél. 03 80 39 54 30 - Fax 03 80 39 54 43

ISSN : 1260-8556

n° 9504

Energie informatique et choix de matériel

Louis de MESNARD

Février 1995

ENERGIE INFORMATIQUE ET CHOIX DE MATERIEL

*Louis de Mesnard*¹
Février 1995

Résumé. Le choix des ordinateurs se fait selon un minimax: on choisit l'ordinateur le plus puissant dans la catégorie la moins puissante. On montre ici que, dans un cas simple, si on prend en compte le temps d'utilisation des matériels, cette règle peut être remise en cause. On étudie ensuite un cas plus compliqué incluant certains paramètres techniques comme le cas des machines multiprocesseur et d'autres paramètres humains comme l'intensité de soumission des tâches.

Mots clés. Informatique, choix, puissance, énergie.

Summary. The choice of computers been made according to a minimax: one chooses the most powerful computer in the less powerful category. We show here that, in a simple case, if one takes into account the time of equipment utilization, this rule can be given in cause. We study then a case more complicated including some technical parameters like the case of multiprocessor machine and including other human parameters like the intensity of task submission.

Keywords. Computer, choice, power, energy.

¹ Faculty of Economics,
University of Dijon
4 Bd Gabriel
21000 Dijon, FRANCE
80.58.25.58
E-mail : lmesnard@satie.u-bourgogne.fr

I. Introduction

On a l'habitude de comparer les ordinateurs de différentes catégories par leur puissance. On sait que les unités de puissance ne sont vraiment pertinentes qu'au sein d'une même catégorie. Pourtant il est intéressant d'effectuer des comparaisons inter-catégories. En effet, le débat actuel sur les mérites respectifs de l'informatique lourde ou de l'informatique personnelle est d'une importance considérable, tant pour les utilisateurs finaux que pour les entreprises qui s'équipent en informatique ou pour les constructeurs d'ordinateurs.

La tendance actuelle est en effet trop souvent de trancher trop rapidement en faveur de l'informatique personnelle sans que l'argumentation soit bien étayée.

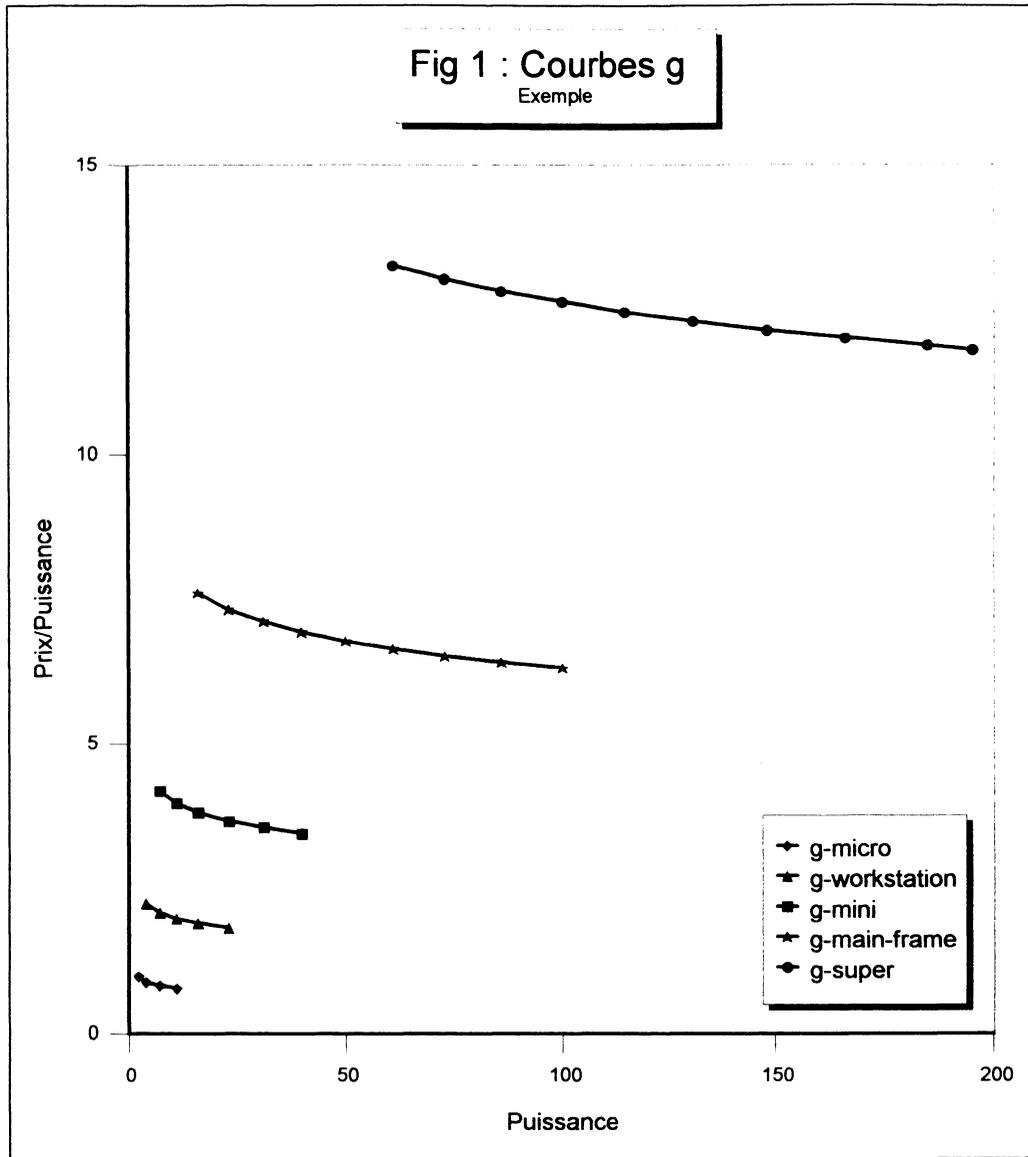
On caractérise les ordinateurs par le rapport prix / puissance, c'est à dire le prix d'une unité de puissance. Ce rapport est croissant avec la puissance, tous ordinateurs confondus, ce qui semblerait privilégier les ordinateurs les moins puissants.

La "loi de H. A. Grosch" ¹ spécifie qu'il vaut mieux, pour obtenir une puissance Π donnée, utiliser un seul ordinateur capable de fournir cette puissance Π , que n ordinateurs plus petits de puissance $\frac{\Pi}{n}$.

A première vue, toutes catégories d'ordinateurs confondues, le coût de chaque unité de puissance serait croissant. quand la puissance augmente.

En fait, une analyse plus fine par catégories d'ordinateur montre que le rapport prix / puissance est croissant lorsqu'on passe d'une catégorie d'ordinateur à l'autre, mais décroissant à l'intérieur d'une catégorie d'ordinateur. Il y a donc un arbitrage à faire entre prix et puissance: une même puissance peut être obtenue pour un prix différent selon la catégorie.

¹ Cf. H. A. GROSCH "Grosch's Law Revisited", *Computerworld*, April 16, 1975 et Ph. EIN-DOOR "Grosch's Law Revisited", *Communications of the ACM*, Vol. 28, No 2, February 1985, pp. 142-151.



Ainsi, le choix se fait en minimax: on doit choisir l'ordinateur le plus puissant (pour bénéficier des effets d'échelle) de la catégorie la plus faible, compatible avec les tâches demandées (il faut que la tâche à accomplir puisse l'être avec la puissance offerte, faute de quoi on devra choisir une puissance plus forte). On doit donc tenir compte de la tâche à accomplir, via le nombre de terminaux nécessaires, ou le type de travaux soumis.

Ceci constitue donc, par sa prise en compte des effets d'échelle, un rattrapage de la grosse informatique, mais seulement partiel puisque on conclut à l'achat de l'ordinateur le plus puissant, mais seulement dans la catégorie la plus faible possible.

Nous voulons montrer que le raisonnement peut être mené plus loin, en introduisant la notion d'énergie informatique, et non plus seulement celle de puissance. Pour cela, nous allons incorporer la notion de temps dans le raisonnement, car le mode d'usage, et partant le temps humain impliqué, varient avec la catégorie d'ordinateur.

II. Prise en compte de l'énergie informatique

A. L'énergie informatique

L'énergie est le produit d'une puissance par un temps.

L'énergie informatique, mesurée du point de vue de l'être humain, est le produit de :

- la puissance informatique Π à laquelle chaque terminal a accès,
- par le temps total T_u d'utilisation de cet ordinateur:

$$E = \Pi T_u$$

Le temps total d'utilisation T_u est le produit :

- du temps d'utilisation T_p de chaque terminal ou poste de travail connecté à l'ordinateur,
- par le nombre n de terminaux ou postes de travail connectés :

$$T_u = T_p n .$$

On en tire:

$$E = \Pi T_p n , \text{ noté } E = f(p) .$$

Remarque.

Si,

- on accepte de prendre comme nombre de terminaux la valeur n_{\max} ,
- et si on fait abstraction de la puissance (c'est à dire si on raisonne à puissance constante ou à machine constante),

alors, le raisonnement en termes d'unités d'oeuvre se rapproche du raisonnement en termes d'énergie informatique.

B. La loi amendée

Formellement, la loi suppose une liaison entre la puissance et le prix d'une unité de puissance, pour chaque catégorie de matériel, soit:

$$\frac{P}{\Pi} = g(\Pi, m),$$

où m est un indice de la catégorie de matériel, qui va servir à paramétrer toutes les variables.

Les courbes $g(\Pi, m)$ sont décroissantes en fonction de P pour m fixé, et croissantes en fonction de m , pour P fixé.

A une valeur de m correspond un jeu de valeurs des paramètres n , et T_P , qui deviennent des fonctions de m .

Le rapport $\frac{P}{E}$, noté $G(\Pi, m)$, s'écrit donc:

$$G(\Pi, m) = \frac{g(\Pi, m)}{T_P(m) n(m)}.$$

Pour un rapport Prix/Puissance donné, ce rapport Prix/Energie est donc décroissant avec :

- n , le nombre de terminaux,

- T_P , le temps passé au terminal.

Le faisceau de courbes $G(\Pi, m)$,

doit être comparé au faisceau de courbes $g(\Pi, m)$,

en fonction de la valeur du paramètre m .

La hiérarchie peut être inversée.

Pour le montrer, envisageons deux valeurs m_i et m_j , et voyons si les deux courbes correspondantes ont des points communs.

Les courbes $g(\Pi, m)$ ne s'interceptent pas, par hypothèse :

$$g(\Pi, m_i) = g(\Pi, m_j) \Rightarrow m_i = m_j .$$

La hiérarchie est inversée si :

$$g(\Pi, m_i) < g(\Pi, m_j) \Rightarrow G(\Pi, m_i) \geq G(\Pi, m_j) .$$

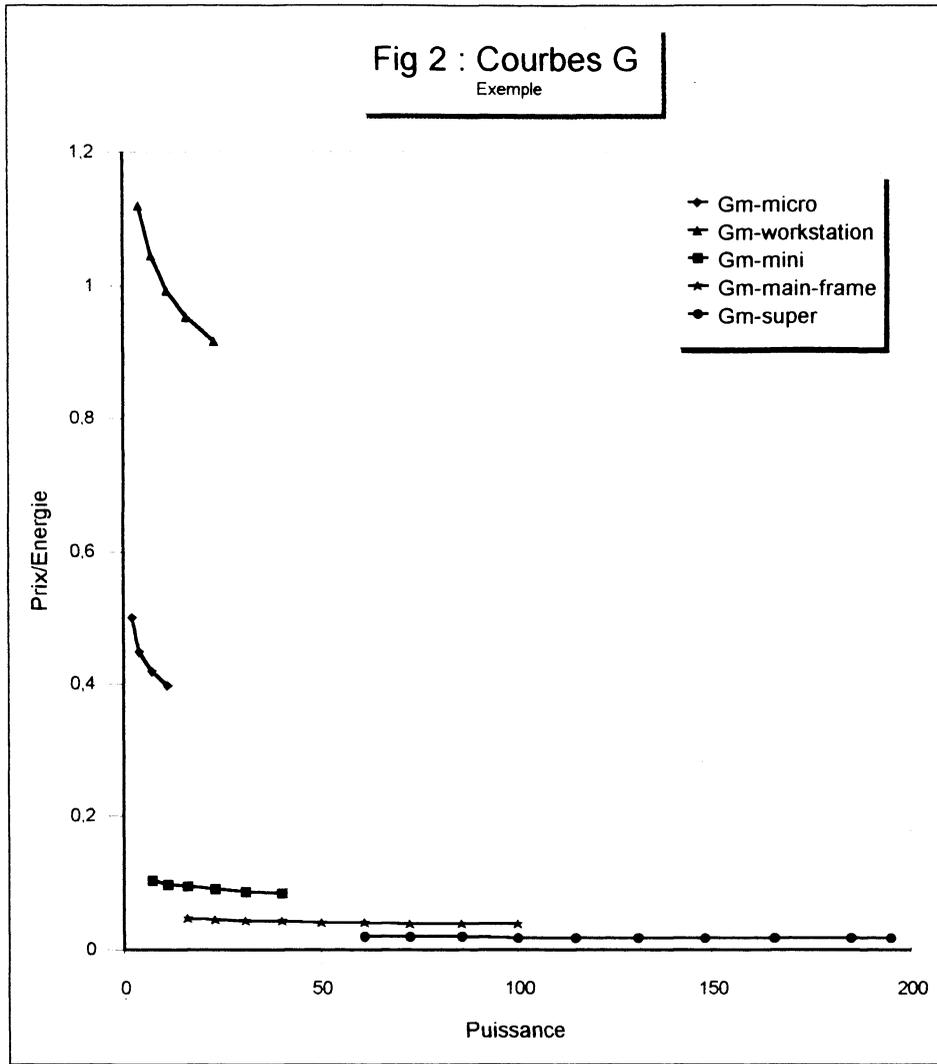
$$\Leftrightarrow \left\{ g(\Pi, m_i) < g(\Pi, m_j) \Rightarrow \frac{g(\Pi, m_i)}{T_P(m_i) n(m_i)} \geq \frac{g(\Pi, m_j)}{T_P(m_j) n(m_j)} \right\}$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \frac{g(\Pi, m_i)}{g(\Pi, m_j)} < 1 \Rightarrow \frac{g(\Pi, m_i)}{g(\Pi, m_j)} \geq \frac{T_P(m_i) n(m_i)}{T_P(m_j) n(m_j)} \right\} .$$

Prenons $g(\Pi, m) = m \Pi^{-x}$ avec $x \in]0, 1[$.

Alors, la condition d'inversion de la hiérarchie devient :

$$\left\{ \frac{g(\Pi, m_i)}{g(\Pi, m_j)} < 1 \Rightarrow \frac{m_i}{m_j} < \frac{T_P(m_i) n(m_i)}{T_P(m_j) n(m_j)} \right\} .$$



Ceci signifie que les choix optimaux sont complètement modifiés par la prise en compte de l'énergie informatique: le minimax ne s'applique plus. En effet, en cas d'intersection des courbes, la catégorie la plus forte sera en dessous de la catégorie la plus faible du côté des fortes puissances: on ne choisira donc plus la catégorie la plus faible quand la puissance est donnée, mais la catégorie la plus forte.

Ainsi, prenant en compte tant les éléments matériels qui déterminent la puissance disponible que les éléments humains relatifs au mode de travail avec l'ordinateur, on est conduit à reconsidérer la hiérarchie couramment admise.

Au moins pour les tâches pour lesquelles la grande et la petite informatique sont substituables, *la grande informatique peut se révéler la meilleure affaire en termes de coût unitaire de l'énergie informatique*, alors que l'opinion qui prévaut depuis plusieurs années est que la petite informatique est la meilleure affaire en termes de coût unitaire de la puissance informatique brute.

III. Prise en compte de la puissance disponible par terminal

Nous allons nous pencher plus précisément sur la notion de puissance en informatique, afin d'aboutir à un modèle plus conforme à la réalité en prenant en compte la puissance disponible Π_d , et non plus la puissance brute Π comme précédemment, c'est à dire l'effet du nombre n de terminaux (et de processeurs ou de machines coopérantes) et donc en définitive d'utilisateurs qui travaillent avec l'ordinateur.

La loi g devient $g_d = \frac{p}{\Pi_d}$ et exprime le rapport entre le prix d'une unité de puissance et la puissance disponible.

A. L'intensité de soumission des tâches

Le raisonnement simple exposé ci-dessus suppose implicitement qu'une machine de puissance Π , avec n terminaux, peut servir chacun de ces terminaux en lui consacrant une puissance Π .

Ceci est équivalent à supposer que le système fonctionne en temps partagé parfait: à l'échelle humaine, toute la puissance semble disponible pour chaque terminal, alors qu'elle est temporellement répartie entre plusieurs terminaux.

La coordination des machines multiprocesseurs est en général critique. Les problèmes de vitesse de transmission y seront importants: la vitesse de traitement, et partant la puissance, en dépend.

La vitesse de transmission porte sur les informations demandées à d'autres processeurs. Définissons par c le taux de non coopération entre processeurs, c'est à dire le pourcentage, parmi les informations traitées par un processeur, que celui-ci ne demandera pas à tous les processeurs autres que lui-même⁴.

Soit Q_0 la quantité d'information qu'un processeur doit traiter.

- On peut faire l'hypothèse normale selon laquelle chaque processeur distribue au plus à chacun des k processeurs, y compris lui-même, une quantité de travail égale à $\frac{Q_0}{k}$, et alors $c = \frac{1}{k}$.
- A l'opposé, si il n'y a aucune coopération, $c = 1$, et tout se passe comme si on avait k ordinateurs juxtaposés.

Supposons que le temps de calcul soit proportionnel au volume traité, le temps de calcul devient $\frac{c Q_0}{P_0}$,

P_0 étant la vitesse de traitement d'un seul processeur, c'est à dire sa puissance.

La mémoire sur une machine multiprocesseur est-elle centralisée ou distribuée?

autonome, indépendante de celles effectuées par les autres processeurs) et le cas des machines simplement parallèles (*SIMD: Single Instruction Multiple Data*) dans lesquelles les processeurs exécutent des tâches identiques sur des données différentes, comme des éléments d'une matrice (la collection des résultats de ces tâches donnera un résultat d'ensemble).

⁴ Nous adoptons une modélisation extrêmement simple, sans entrer dans des considérations de files d'attente. Cf. : G. PUJOLLE et S. FDIDA : *Modèles de systèmes et de réseaux*, Tome 2, *Files d'attente*, Eyrolles, 1989. Voir aussi, pour les performances d'un réseau : S. FDIDA et G. PUJOLLE : *Modèles de systèmes et de réseaux*, Tome 1, *Performance*, Eyrolles, 1989. Et voir encore : M. RAYNAL : *Systèmes répartis et réseaux : concepts, outils et algorithmes*, Eyrolles, 1987.

- L'existence d'une mémoire distribuée implique que la distance entre processeurs joue un rôle dans le temps d'accès à la mémoire.
- Lorsque la mémoire est centralisée, tous les processeurs ont un temps d'accès identique à toutes les données, mais les performances sont plus faibles, parce que lorsqu'un processeur accède à la mémoire, aucun autre ne peut y accéder en même temps.

Si,

- la vitesse de transmission sur le bus interne du processeur est V_i ,
- la vitesse de transmission entre processeurs est V_e ,
- un processeur échange $(1 - c) Q_0$ avec l'ensemble des autres processeurs,

il va falloir transmettre :

- d'une part $c Q_0$ informations élémentaires à la vitesse V_i ,
- $(1 - c) Q_0$ informations élémentaires en émission à la vitesse V_e d'autre part.

Ceci va prendre :

$$\frac{c Q_0}{V_i} + (1 - c) \frac{Q_0}{V_e} \text{ secondes,}$$

soit un temps total de traitement égal à l'addition du temps de calcul et du temps de transmission ⁵ :

$$\frac{c Q_0}{P_0} + \frac{c Q_0}{v_i P_0} + \frac{(1 - c) Q_0}{v_e P_0},$$

en définissant les vitesses de transmission V relativement aux vitesses de traitement, soit $v = \frac{V}{P_0}$.

⁵ Cf. G.H. GOLUB and Ch. F. VAN LOAN : *Matrix Computations*, Johns Hopkins University Press, 1989 (chapitre 6 "Parallel Matrix Computations").

Si le processeur était isolé (la puissance étant définie comme la quantité d'information traitée en une seconde), la puissance utile pour ce processeur serait égale au rapport de Q_0 au temps total de traitement:

$$\Pi_{u_0} = \frac{c Q_0}{\frac{c Q_0}{\Pi_0} + \frac{c Q_0}{v_i \Pi_0} + \frac{(1-c) Q_0}{v_e \Pi_0}} = \frac{c \Pi_0}{c + \frac{c}{v_i} + \frac{(1-c)}{v_e}}$$

Mais dans un ensemble de k processeurs, chaque processeur traite Q_0 ,

soit une quantité d'information $c Q_0$ qu'il a gardée plus $(1-c) Q_0$ reçue des autres.

La puissance utile d'un processeur est donc:

$$\Pi_{u_0} = \frac{Q_0}{\frac{Q_0}{\Pi_0} + \frac{c Q_0}{v_i \Pi_0} + \frac{(1-c) Q_0}{v_e \Pi_0}} = \frac{\Pi_0}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{(1-c)}{v_e}}$$

La puissance pour les k processeurs n'est pas la multiplication par k de la puissance d'un processeur, car il faut tenir compte de la bande passante du bus externe. Si ce bus est unique pour les k processeurs, alors toutes les informations transitent par ce bus, ce qui ralentit les communications externes.

Du coup, si $\Pi = k \Pi_0$,

$$\Pi_u = \frac{k Q_0}{\frac{k Q_0}{k \Pi_0} + \frac{k c Q_0}{k v_i \Pi_0} + \frac{k (1-c) Q_0}{v_e \Pi_0}} = \frac{k \Pi_0}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k (1-c)}{v_e}} = \frac{\Pi_0}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k (1-c)}{v_e}}$$

Pour une même puissance Π en service, la puissance utile suit la courbe de forme usuelle: elle croît avec le nombre de processeurs, mais avec un rendement décroissant.

La règle empirique d'Amdahl-Case montre que v_e ne doit pas être choisi trop inférieur à 1 si l'on veut obtenir un système performant ⁶.

Notons que :

⁶ Cf. J.L. HENNESSY et D.A. PATTERSON : *Architecture des ordinateurs*. McGraw-Hill, 1992.

- Nous faisons ici abstraction des capacités de stockage d'information. Il est clair qu'une machine personnelle est dotée de moins de capacité qu'un *mainframe*.

Ceci signifie qu'on fait l'hypothèse implicite suivante: la capacité de stockage est proportionnelle au nombre de terminaux connectés.

- De plus, on fait abstraction de la localisation des données, c'est à dire de la nécessité de répartir les données sur la mémoire de plusieurs machines interconnectées, ce qui oblige à transférer ces données avant même de les traiter.

Remarque. La même mesure de puissance reste valide lorsqu'on passe d'une catégorie d'ordinateur à l'autre. Ceci revient à négliger les différences de nature dans les mesures de puissance lorsque l'on passe d'une catégorie à l'autre.

D. La puissance disponible par terminal

En intégrant:

- l'intensité de soumission, qui s'applique à la puissance disponible dans son ensemble,
- l'overhead dû aux terminaux, qui s'applique à la puissance traitée par les processeurs mais non à la puissance intervenant dans l'expression de la vitesse de traitement,
- les aspects multi-machines,

la puissance disponible par terminal devient:

$$\Pi_d = \frac{\Pi (1 - H_T)^n [1 + (n - 1) a]^{-1}}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k(1 - c)}{v_e}}$$

E. L'énergie informatique

On tire de l'équation ci-dessus la nouvelle expression de l'énergie informatique disponible :

$$E_d = \Pi_d T_p n$$

$$\text{soit, } E_d = \frac{\Pi (1 - H_T)^n [1 + (n - 1) a]^{-1}}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k(1 - c)}{v_e}} T_p n .$$

F. Les nouvelles lois

A une valeur de m correspond maintenant un jeu de valeurs des paramètres :

$n, H_T, k, c, v_i, v_e, a, T_p$, qui deviennent des fonctions de m .

$$\text{La loi } g \text{ devient } g_d(\Pi, m) = \frac{P}{\Pi_d} = \frac{P}{\frac{\Pi (1 - H_T)^n [1 + (n - 1) a]^{-1}}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k(1 - c)}{v_e}}} .$$

$$\text{La loi } G \text{ devient } G_d(\Pi, m) = \frac{P}{E_d} = \frac{P}{\Pi_d T_p n} = \frac{P}{\frac{\Pi (1 - H_T)^n [1 + (n - 1) a]^{-1}}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k(1 - c)}{v_e}} T_p n} .$$

Le rapport entre g_d et G_d est évidemment le même que celui existant entre g et G :

$$G_d(\Pi, m) = \frac{g_d(\Pi, m)}{T_p n} .$$

Mais on a encore :

$$G_d(\Pi, m) = \frac{g(\Pi, m)}{\frac{(1 - H_T)^n [1 + (n - 1) a]^{-1}}{1 + \frac{c}{v_i} + \frac{k(1 - c)}{v_e}} T_p n}$$

Donc, pour un rapport $\frac{\text{prix}}{\text{puissance brute}}$ donné, le rapport $\frac{\text{prix}}{\text{énergie disponible}}$ augmente avec :

- a , l'intensité de soumission des tâches : ce paramètre "humain" joue défavorablement d'une manière contra-intuitive parce qu'il oblige au partage de la puissance et donc diminue la puissance disponible pour chaque humain; il faut noter que ce paramètre ne jouait aucun rôle dans l'approche techniciste de la section II ;
- H_T , l'overhead dû aux terminaux;
- k , le nombre de processeurs;

Il diminue avec :

- T_p , le temps passé au terminal : il reste toujours intéressant d'utiliser intensivement un terminal;
- v_i , la vitesse de transmission interne relative;
- v_e , la vitesse de transmission externe relative.

L'effet varie pour certains paramètres :

- n , le nombre de terminaux : l'effet du nombre de terminaux est devenu incertain essentiellement à cause de l'overhead dû aux terminaux et de l'intensité de soumission des tâches, alors qu'avant, le nombre de terminaux faisait toujours baisser le rapport Puissance/Prix;
- c , le taux de non coopération entre processeurs.

Pour le cas le plus simple de machines simples et en négligeant l'overhead dû aux terminaux ($H_T = 0, k = 1, c = 1, \dots$), nous obtenons :

$$G_d(\Pi, m) = \frac{g(\Pi, m)}{\frac{[1 + (n-1)a]^{-1}}{1 + \frac{1}{v_i}} T_p n}.$$

IV. Conclusion

La notion d'énergie informatique est nettement plus pertinente que la notion de puissance informatique. Parler de puissance, c'est négliger une autre notion, essentielle pour l'Homme, le Temps.

Le nouvel indicateur "prix d'une unité d'énergie informatique" bouscule ainsi la hiérarchie établie à l'aide de l'indicateur traditionnel "prix d'une unité de puissance informatique". Les critères de choix peuvent être remis en cause dans les entreprises dans lesquelles le choix se pose entre grands ordinateurs et petits ordinateurs.

Ceci est souvent soupçonné par les responsables informatiques et financier de ces entreprises, à savoir que le coût des petits ordinateurs est peut-être plus fort que ce qui est en général avancé, sachant que ces machines sont souvent sous utilisées (d'autres éléments peuvent aussi venir en compte: le coût de la maintenance, le coût des logiciels, etc.). Il reste évidemment à chiffrer et estimer le modèle.