

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 109 (1983)
Heft: 9

Artikel: Puissance de la nature et intelligence de l'homme
Autor: Dreyfus-Graf, Jean A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74940>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Puissances de la nature et intelligence de l'homme

I. Loi d'Einstein et rendements massiques de machines à combustible

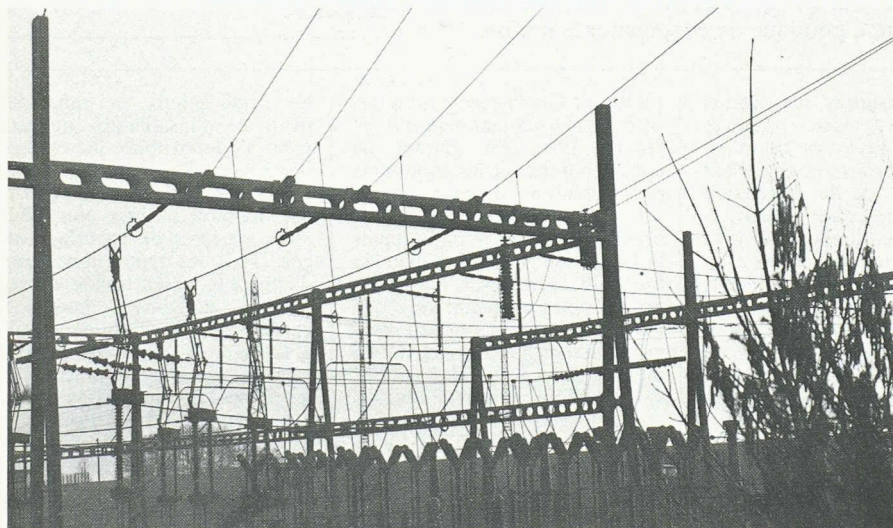
par Jean A. Dreyfus-Graf, Genève

Les discussions concernant l'énergie sont à l'ordre du jour, que ce soit pour des considérations économiques — le prix du pétrole, par exemple — ou écologique — le souci de préserver tant l'environnement que les sources d'énergie non renouvelables.

Malheureusement, ces débats sont trop souvent fragmentaires et les arguments mal étayés. Entre le souci des producteurs d'énergie de couvrir la demande de la façon la plus rationnelle et celui des écologistes enclins à mettre en cause notre type même de société pour protéger la nature (quelle nature?), l'incompréhension est totale. On ne parle de toute évidence pas de la même chose.

L'article qui suit incite à la réflexion en plaçant d'une part les problèmes énergétiques dans leur contexte effectif et en analysant nos sources d'énergie d'autre part. Une véritable conception de l'énergie ne saurait être élaborée sans une telle réflexion à un haut niveau.

Rédaction



Résumé

Une machine qui crée une puissance thermique P_t watts (W) annihile en même temps une masse M_a kilogrammes par heure (kg/h), selon la formule universelle $M_a = P_t : 2,5 \cdot 10^{13}$.

Celle-ci est dérivée de la loi d'Einstein concernant l'équivalence entre l'énergie (photons immatériels) et la masse (atomes matériels). Si la machine brûle en même temps une masse M_{b1} de combustible et M_{b2} de comburant, c'est-à-dire

une masse totale M_b (kg/h) = $M_{b1} + M_{b2}$, son rendement massique $R_m = M_a/M_b$ caractérise la masse M_r (kg/h) = $M_b - M_a$ qui est rejetée dans l'environnement sous des formes dégradées.

Selon le tableau I, nous comparons les rejets de 7 types de machines très différentes, en admettant que chacune d'elles crée une puissance thermique $P_t = 3000$ mégawatts (MW_t), qui annihile une masse $M_a = 3 \cdot 10^9$ (W) : $2,5 \cdot 10^{13} = 1,2 \cdot 10^{-4}$ (kg/h).

Les masses rejetées M_r par les machines 1 à 6 sont environ égales aux masses brûlées M_b .

Pour que chacun des types de machines 1 à 6 crée 3000 mégawatts thermiques ($3 \cdot 10^9 W_t$), il faudrait aligner les nombres suivants de ces machines :

- 17 millions d'hommes (à $180 W_t$), rejetant 15 millions de kilogrammes par heure (kg/h);
- 35 000 automobiles (à $86 kW_t$), rejetant 3,7 millions de kg/h.;
- 4,3 centrales chimiques de Vouvry-Chavalon (à $700 MW_t$), rejetant 3,9 millions de kg/h.;
- ~1 centrale nucléaire de Gösgen ($2800 MW_t$), rejetant 3,7 kg/h (1 million de fois moins);
- ~1 centrale à surgénération de Creys-Malville ($2950 MW_t$), ne rejetant plus que 0,3 kg/h.;
- les rejets de la future centrale à fusion seraient encore 10 fois moindres (0,03 kg/h).

Le rendement massique d'une centrale nucléaire à fission d'uranium enrichi (Gösgen, $R_m = 3,2 \cdot 10^{-5}$) est environ 1 million de fois meilleur que celui d'une centrale à combustion chimique de charbon ou de mazout (Vouvry-Chavalon, $R_m = 3,1 \cdot 10^{-11}$).

Pourtant le rendement massique optimum de la fusion (0,4%) sera encore très éloigné de la limite idéale (100%) correspondant à la rencontre de la matière avec l'antimatière. L'écart énorme qui subsiste entre 0,4% et 100% dévoile l'immensité des champs d'investigation qui s'offrent toujours à l'intelligence de l'homme.

TABLEAU I: Les rejets de différents types de machine

Machine	Type	Combustible (+ comburant) pour créer $3000 MW_t$	Masse annihilée M_a kg/h	Rendement massique $R_m = M_a/M_b$ kg/kg	Masse brûlée $M_b = M_a/R_m$ kg/h
1. homme	180 W_t	pain, etc. (+ air*)	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^7$
2. automobile	86 kW_t	essence (+ air*)	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-11}$	$3,7 \cdot 10^6$
Centrale					
3. chimique	Vouvry-Chavalon	mazout (+ air*)	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$	$3,9 \cdot 10^6$
Nucléaire					
4. fission	Gösgen	uranium enrichi	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	3,7
5. surgénération	Creys-Malville	uranium + plutonium	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0,3
6. fusion	projet	deuterium, etc.	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0,03
7. annihilation	laboratoire	anti-matière + matière	$1,2 \cdot 10^{-4}$	1	$1,2 \cdot 10^{-4}$

* La masse brûlée de l'air est environ 14 fois plus grande que celle du combustible.

1. Introduction

L'intelligence de l'homme a pour mission suprême de comprendre le mécanisme des lois auxquelles la nature le soumet. C'est en quoi l'homme se distingue essentiellement de tous les êtres de l'univers. Les animaux eux-mêmes savent rire, pleurer, jouer, chanter, parler, ruser, mentir, construire et fabriquer, mais ils se soumettent servilement aux lois de la nature, sans jamais chercher à les décortiquer, ni les domestiquer.

Pour comprendre les lois de la nature, il faut d'abord apprendre à les mesurer.

Le système international (SI) repose sur les 4 unités de mesure fondamentales suivantes: *longueur* = mètre (m), *temps* = seconde (s), *masse* = kilogramme (kg), *courant électrique* = ampère (A). Diverses autres unités en sont dérivées, telles que: *vitesse* = mètres par seconde (m/s), *accélération* = mètres par seconde au carré (m/s^2), *force* = masse $\times$ accélération = newton (N), *énergie* = force $\times$ longueur = (Nm) = wattsecondes (Ws), *puissance* = énergie:temps = watts (W), *température* = degrés kelvin (K), etc.¹

Pour pouvoir mesurer l'intelligence, il faudrait ajouter le «bit» (binary digit, logarithme binaire d'événements équiprobables, «choix oui-non»), qui est l'unité de mesure de l'antihazard et, par conséquent, de l'antidésordre.

La nature éprouve une fâcheuse tendance à promouvoir la loi du hasard et à rechercher le maximum de désordre (maximum d'entropie selon la loi de Boltzmann).

L'intelligence en général, et celle de l'homme en particulier, s'y opposent. Sur le plan spirituel, les religions, avec le christianisme en tête, sont d'autant plus antinaturelles que leurs préceptes (charité, renoncement, chasteté, etc.), combattent davantage les instincts de l'animalité.

D'une manière générale, seules les affirmations quantitatives (et non pas qualitatives seulement) sont aptes à servir de base à des connaissances scientifiques, car elles seules admettent la correction de leurs propres erreurs.

Dans les domaines de la métaphysique, n'importe qui peut prétendre n'importe quoi et le contraire de n'importe quoi, avec un égal bonheur. Exemple: les perpétuelles disputes entre les partisans de la prédestination et ceux du libre-arbitre (jansénistes contre jésuites, fatalistes contre existentialistes, etc.).

A l'opposé, dans les domaines de la physique, les controverses sont rapidement arbitrées par les résultats numériques. Exemple: l'équivalence de l'énergie (Ws) et de la masse (kg), affirmée

par Einstein dès 1905, et contestée jusqu'en 1930, est confirmée maintenant par une majorité écrasante de mesures.

Il existe un parallélisme troublant entre le manichéisme «bien-mal» ou «esprit-chair» des métaphysiciens et le dualisme «énergie (Ws) — masse (kg)» ou «onde-corpuscule» des physiciens. Mais seul le dualisme des physiciens repose sur des bases scientifiques.

Nous avons l'intention d'exposer progressivement les lois principales de la nature et de l'antihazard (intelligence). Nous commencerons par la loi d'Einstein de l'équivalence entre l'énergie (Ws) et la masse (kg), en l'appliquant à diverses machines thermiques, telles que l'homme, l'automobile et des centrales chimiques ou nucléaires.

2. Création d'énergie et annihilation de masse

La loi de la création de l'énergie immatérielle E à partir de l'annihilation d'une masse matérielle m_a , découverte par Einstein, est la plus universelle de toutes. Elle domine tous les phénomènes qui peuvent se présenter autour de nous, depuis les plus simples, tels que le fonctionnement d'une machine, jusqu'aux plus complexes, tels que le comportement d'un être vivant.

Il est impossible de créer une énergie E (Ws) sans annihiler en même temps une masse m_a (kg), multipliée par la vitesse de la lumière $c = 3 \cdot 10^8$ (m/s) au carré, selon la *formule universelle d'énergie (FUE)*

$$(FUE) E (Ws) = m_a (kg) \cdot c^2 = m_a (kg) \cdot 9 \cdot 10^{16}.$$

Réciproquement, puisque $m_a = E : 9 \cdot 10^{16}$, il est impossible d'annihiler une masse m_a sans créer en même temps une énergie E .

Dans cette formule, la masse m_a est mesurable en kilogrammes (kg). Quant à l'énergie, elle peut être soit *mécanique*, mesurable en newtonmètres (Nm), soit *électrique*, mesurable en wattsecondes (Ws), en joules (J) ou en kilowattheures (kWh), soit *thermique*, mesurable en kilocalories (kcal). La conversion s'effectue selon la formule:

$$1 (Nm) = 1 (Ws) = 1 (J) = 1 (kWh) : 3,6 \cdot 10^6 = 1 (kcal) : 4189.$$

Pourquoi la *vitesse de la lumière* c intervient-elle? Parce qu'il n'existe aucune communication, ni événement physique, sans l'intervention de photons (ou ondes électromagnétiques), se déplaçant à la vitesse c , qui sont le support même du temps (s).

Le coefficient constant, $c^2 = 9 \cdot 10^{16}$ (c'est-à-dire 90 millions de milliards), par lequel il faut diviser l'énergie E pour obtenir la masse annihilée m_a , est tellement énorme, que cette masse devient généralement minuscule et infé-

rieure au seuil de perceptibilité par nos sens.

Mais il nous faudra précisément reconnaître, tout au long de cet exposé, que la nature ne nous a pas dotés d'une perception capable de détecter les lois les plus importantes de cette même nature. Nos sens ne perçoivent que des mirages superficiels de notre univers, tels que la masse brûlée m_b (kg) de combustible (charbon, mazout, uranium, plutonium, etc.), qui a libéré l'énergie E (Ws). Or la quasi-totalité de ces matières brûlées se retrouvent dans l'environnement, sous des formes d'autres matières, qui sont simplement dégradées. Par exemple, cendres, azote, oxydes de carbone et de soufre, etc., dans le cas de combustion chimique, ou produits de fission dans le cas de combustion nucléaire.

Seule la partie annihilée m_a (kg) de la masse brûlée m_b (kg) correspond à une transformation réelle de matière en énergie (Ws), c'est-à-dire d'un être matériel, tel qu'un atome, en un être immatériel, tel qu'un photon.

3. Création de puissance et annihilation de masse par heure

La puissance permanente P (watts), c'est-à-dire l'énergie E (wattsecondes) moyenne par unité de temps (secondes), présente l'avantage qu'un seul nombre peut caractériser les performances d'une machine, indépendamment de la durée (secondes, heures, années).

Etant donné que nous voulons comparer, de la manière la plus simple, les qualités de machines très différentes, nous abandonnerons progressivement le concept d'énergie (Ws) et nous le remplacerons par celui de puissance (W).

En conséquence, nous remplaçons, dans la formule (FUE) d'Einstein, l'énergie E (Ws) par la puissance P (W) et la masse annihilée m_a (kg) par le débit de masse annihilée M_a (kg/s), ou M_a (kg/h:3600). Nous préférons les heures (h) aux secondes (s), mais il faut alors introduire le facteur «3600», qui est le nombre de secondes dans une heure.

Nous obtenons ainsi la *formule universelle de puissance (FUP)*, qui servira de base au présent exposé, et qui est illustrée dans la figure 1:

$$P (W) = M_a (kg/s) \cdot c^2 = M_a (kg/h) \cdot (3 \cdot 10^8)^2 : 3600, \text{ c'est-à-dire: } (FUP) \\ P (W) = M_a (kg/h) \cdot 2,5 \cdot 10^{13} \text{ ou réciproquement } M_a (kg/h) = P (W) : 2,5 \cdot 10^{13}.$$

En suivant le schéma de la figure 1, on observe ce qui suit:

La masse brûlée par heure M_b (kg/h) = $M_{b1} + M_{b2}$ comprend la masse du combustible M_{b1} et celle du comburant M_{b2} . Considérons, à titre d'exemples, les puissances thermiques spécifiques P_i/M_{b1} (kW/kg/h) dégagées par divers combustibles (tableau II).

¹ Voir «Ingénieurs et architectes suisses», n° 6 du 17 mars 1983, p. 95: *La métrologie et les unités de mesure*, par Alfred Jaggi.

Il faut distinguer les 2 cas :

a) Combustible chimique: le combustible est, par exemple, du pain, de l'essence, du charbon ou du mazout. Il exige l'apport d'un comburant externe, tel que l'air (oxygène). En moyenne, la masse brûlée de ce comburant M_{b2} (kg/h) est 14 fois plus grande que celle du combustible M_{b1} (kg/h). La masse brûlée totale $M_b = M_{b1} + M_{b2} = M_{b1} \cdot (1 + 14) = 15 \cdot M_{b1}$ est donc 15 fois plus grande que celle du combustible seul.

b) Combustible nucléaire: le combustible est, par exemple, l'uranium enrichi (fission) ou le deutérium (fusion). Il n'a besoin d'aucun comburant externe, le comburant étant déjà compris dans le combustible (neutrons).

Ainsi $M_b = M_{b1}$ puisque $M_{b2} = 0$.

La masse brûlée M_b se scinde toujours en 2 parties: la masse annihilée M_a , créant la puissance P , et la masse rejetée dans l'environnement M_r . Dans celle-ci, on retrouve généralement la quasi-totalité de la masse brûlée, puisque $M_r = M_b - M_a$ et que la masse annihilée M_a est habituellement très petite à cause du très grand diviseur $2,5 \cdot 10^{13}$.

Ainsi qu'esquissé sous la partie centrale de la figure 1, on peut se représenter la formule $P_t = M_a \cdot c^2$ (qui ressemble à celle de l'énergie cinétique), en imaginant 2 masses $M_a/2$ qui se précipitent l'une vers l'autre, à la vitesse relative de la lumière $c = 300\,000$ km/s et qui créent la puissance P_t en s'annihilant. Cette image est toutefois très grossière, car la formule ci-dessus reflète le mystère le plus profond de l'univers à 4 dimensions, qui est le théâtre d'une danse perpétuelle entre la création de l'immatériel P (watt) et l'annihilation du matériel M_a (kg/s).

En réalité, M_a est un défaut de masse, correspondant à des parties d'atomes qui ont disparu pour faire place à des photons.

Aucune communication ne peut s'effectuer sans l'intervention de photons, ces être insaisissables, qui s'enfuient à la vitesse c de la lumière, qui constituent le temps (la 4^e dimension) et qui prennent tantôt la forme de particules, tantôt celle d'ondes électromagnétiques dont les fréquences d'oscillation couvrent un éventail pratiquement illimité.

A titre d'exemples, ces fréquences, mesurées en cycles par seconde, ou hertz (Hz), peuvent être 10 pour la biologie,

50 pour l'électricité industrielle, 1 million pour la radio, 100 millions pour la télévision, 10^{12} à 10^{15} pour la chaleur et la lumière, 10^{24} à 10^{27} pour les rayons gamma, nucléaires et cosmiques.

Vers 10^{39} (Hz), correspondant à la distance 10^{-31} (m), ainsi qu'à l'énergie particulaire 10^{16} (Ws) et à la température absolue 10^{28} (K), il se produit une fusion des interactions électromagnétiques, faibles et fortes (Big Bang). Au-delà de 10^{43} (Hz), correspondant à la distance de Planck 10^{-35} (m), à 10^{10} (Ws) et à 10^{32} (K), c'est-à-dire à la relation d'incertitude de Heisenberg, tout devient flou.

4. Rendement massique R_m et rendement thermique R_t

Tandis que le rendement massique $R_m = M_a/M_b$ caractérise la masse M_r (kg/h) = $M_b - M_a$ qui est rejetée dans l'environnement, le rendement thermique $R_t = P_e/P_t$ indique la puissance thermique P_r (W) = $P_t - P_e$ rejetée dans l'atmosphère, c'est-à-dire la différence entre la puissance thermique totale P_t et la puissance électrique P_e (ou mécanique P_m) qui en est extraite.

TABEAU II: Puissance thermique spécifique de divers combustibles

Combustibles chimiques					Combustibles nucléaires				
pain 2,9	houille 6,9	mazout 11,6	essence 12,3	hydrogène 28,4	uranium enrichi $8,2 \cdot 10^5$	plutonium $1 \cdot 10^7$	deutérium, etc. $1 \cdot 10^8$	antimatière $2,5 \cdot 10^{10}$	kW/kg/h

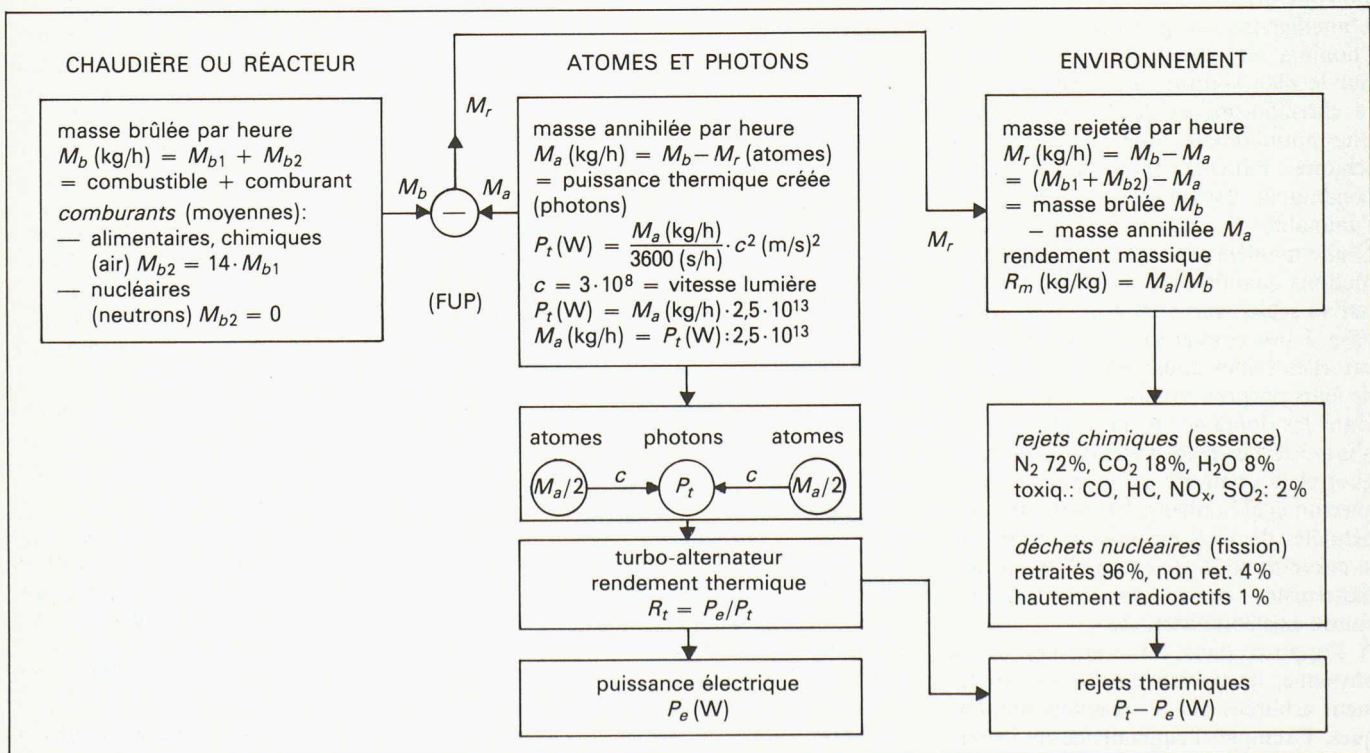


Fig. 1. — Schéma du rendement massique $R_m = M_a/M_b$. La masse brûlée M_b (= combustible M_{b1} + comburant M_{b2}) se scinde en 2 parties: la masse annihilée M_a (qui crée la puissance P_t selon la formule universelle FUP) et la masse rejetée dans l'environnement, $M_r = M_b - M_a$. Le rendement massique R_m est le rapport M_a/M_b , et caractérise la masse rejetée M_r .

Pour se représenter la formule FUP, on peut imaginer 2 masses $M_a/2$ (atomes), qui se précipitent l'une vers l'autre, à la vitesse de la lumière c , et qui créent la puissance P_t (photons) en s'annihilant. En réalité, M_a est un défaut de masse atomique. Il est impossible de créer une puissance P_t sans annihiler une masse M_a , multipliée par la vitesse c de la lumière au carré, et réciproquement.

Nous reviendrons, dans un exposé ultérieur, sur le rendement thermique R_t , qui est soumis à d'autres lois universelles, telles que de Carnot, de Clausius et de Boltzmann. Celles-ci gouvernent les relations entre la puissance désordonnée (chaleur) et la puissance ordonnée (électrique ou mécanique).

Il suffit de savoir ici que, dans le cas de centrales chimiques ou nucléaires, utilisant des turbo-alternateurs, le rendement thermique R_t ne varie que dans des limites étroites, comprises entre 33% et 43%. Ainsi les deux tiers, au maximum, de la chaleur produite sont perdus. Une partie pourrait en être récupérée par des installations auxiliaires, telles que le chauffage à distance. Si celui-ci était ajouté, par exemple, à la centrale (controversée) de Kaiseraugst, il chaufferait gratuitement toute la ville de Bâle et ses environs.

Le rendement massique R_m est bien plus important que le rendement thermique R_t , car il varie, par exemple, entre 10^{-5} pour la centrale nucléaire de Gösgen et 10^{-11} pour la centrale chimique de Vouvry-Chavallon, soit dans un rapport de 1 million.

Dans les exemples suivants de machines, dont les caractéristiques principales sont résumées dans la figure 2, nous ne mentionnerons que brièvement les rendements thermiques R_t , et nous développerons en détail les rendements massiques R_m .

5. Exemples de machines, avec leurs rendements massiques

Exemple n° 1. — Machine humaine

a) *Considérations d'énergie E wattsecondes (Ws).* Si votre bras élève à la hauteur 1,5 mètre (m) une masse de 20 kilogrammes (kg), contre l'accélération terrestre de 9,81 (m/s²), vous aurez exercé une force de $20 \times 9,81 = 196$ newton (N), le long du chemin de 1,5 (m). En conséquence, vous aurez produit une énergie mécanique $E_m = 196$ (N) $\times$ 1,5 (m) = 294 newtonmètres (Nm) ou wattsecondes (Ws). Le rendement thermique R_t de votre machine humaine étant très faible ($R_t = E_m/E_t = 0,08$), vous avez dû créer, en même temps, une énergie thermique $E_t = 294$ (Ws):0,08 = 3675 Ws = 0,88 kcal. Ceci en brû-

lant, par exemple, 0,1 gramme de votre graisse, correspondant à 0,33 gramme de pain (combustible) et $0,33 \times 14 = 4,6$ grammes d'air, la masse brûlée étant au total $m_b = 5$ grammes. Selon la formule (FUE) d'Einstein, la création de l'énergie thermique E_t a été payée par l'annihilation de la masse $m_a = 3675$ (Ws): $9 \cdot 10^{16} = 4 \cdot 10^{-14}$ kg. Cette perte de votre poids est si petite (40 milliardièmes de milligramme) qu'elle échappe à votre perception. Pourtant elle seule est importante, car elle représente la seule partie de la masse brûlée ($m_b = 5$ grammes) qui n'est pas rejetée dans l'environnement sous des formes dégradées.

Le rendement massique $R_m = m_a/m_b$ est donc une caractéristique fondamentale de tout générateur d'énergie. Dans le cas de la machine humaine, ce rendement massique $R_m = m_a/m_b = 4 \cdot 10^{-14}:0,005 = 8 \cdot 10^{-12}$ est extrêmement faible (8 millièmes de milliardième).

b) *Considérations de puissance P watts (W).* Pendant 8 heures sur 24, la machine humaine peut fournir une puissance mécanique ou électrique de 45

Machine	Puissance		Rendement thermique P_e/P_t R_t W/W	Combustible (puissance thermique spécifique) P_t/M_{b1} kW/kg/h	Masse brûlée par heure (combustible + comburant) $M_b = M_{b1} + M_{b2}$ kg/h	Masse annihilée par heure $M_a = M_b - M_r$ M_a kg/h	Rendement massique M_a/M_b R_m kg/kg
	thermique créée P_t watt (W)	électrique (ou mécanique) extraite $P_e(P_m)$ watt (W)					
1. homme (3700 kcal/jour)	180 W _t	15 W _m	0,08	pain, etc. (2,9)	0,06 + 0,84 = 0,9	$7,2 \cdot 10^{-12}$	$8 \cdot 10^{-12}$
2. automobile (68 ch)	86 kW _t	20 kW _m	0,23	essence (12,3)	7 + 98 = 105	$3,4 \cdot 10^{-9}$	$3,2 \cdot 10^{-11}$
3. centrale chimique Chavalon	700 MW _t	300 MW _e	0,43	mazout (11,6)	60 000 + 840 000 = 900 000	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$
4. centrale nucléaire, fission Gösgen, etc.	2800 MW _t	920 MW _e	0,33	uranium enrichi (8,2 · 10 ⁵)	3,4 + 0 = 3,4	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
5. centrale nucléaire surrégénération Creys-Malville	2950 MW _t	1240 MW _e	0,42	uranium + plutonium (1 · 10 ⁷)	0,3 + 0 = 0,3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
6. centrale nucléaire, fusion projets	2950 MW _t	1240 MW _e	0,42	deut. + tr. + hydrogène (1 · 10 ⁸)	0,03 + 0 = 0,03	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$
7. antimatière: recherche fondamentale, CERN, etc.	—	—	—	matière + antimatière (2,5 · 10 ¹⁰)	1 + 1 = 2	2	1 = 100%

W = watt kW = kilowatt = 10^3 W MW = mégawatt = 10^6 W.

Fig. 2. — Rendements massiques de diverses machines. Le rendement massique $R_m = M_a/M_b$ est le rapport entre la masse annihilée M_a (qui crée la puissance P_t) et la masse brûlée M_b (= combustible M_{b1} + comburant M_{b2}). Il caractérise la masse $M_r = M_b - M_a$ qui est rejetée dans l'environnement, sous des formes dégradées.

Le rendement massique d'une centrale nucléaire à surrégénération de plutonium (Creys-Malville, 0,04%) est 12 fois meilleur que celui d'une centrale nucléaire à uranium enrichi (Gösgen, 0,003%), et 13 millions de fois meilleur que celui d'une centrale thermique à mazout (Vouvry-Chavalon $3,1 \cdot 10^{-9}\%$).

En tenant compte du retraitement des déchets, une centrale de 1000 MW électriques, du type Gösgen, ne rejette finalement que 1200 kg/an, alors qu'une centrale de même puissance, du type de Vouvry-Chavalon, rejetterait 27 milliards de kg/an, c'est-à-dire 23 millions de fois plus.

Le rendement massique d'une centrale nucléaire à fusion (projet, 0,4%), sera encore 10 fois meilleur que celui de Creys-Malville (0,04%).

Le rendement de 100%, limite idéale assignée par la loi universelle d'Einstein, ne peut être atteint que par la rencontre de la matière avec l'antimatière (annihilation totale).

L'écart béant qui subsiste entre nos espoirs actuels de fusion (0,4%) et la limite idéale d'annihilation (100%), dévoile l'immensité du champ d'investigation qui s'offre encore à l'intelligence de l'homme.

watts (W). Ceci vous permet, par exemple, chaque jour de vous élever de 1890 mètres en montagne, si vous pesez 70 kg, ou d'alimenter une lampe d'éclairage ou un chauffage de 45 watts. Si cette puissance est étalée pendant 24 heures sur 24, elle signifie une puissance électrique permanente $P_e = 45 \times 8:24 = 15$ watts. Celle-ci est extraite d'une puissance thermique permanente $P_t = 180$ watts, en raison du faible rendement thermique $R_t = 8\%$ de la machine humaine. Elle correspond, en effet, à 3700 kilocalories par jour (kcal/j), exigeant une masse brûlée $M_b = M_{b1} + M_{b2} = 0,9$ kilogramme par heure (kg/h), où $M_{b1} = 0,06$ (kg/h) de combustibles divers (pain, par exemple, 2,9 kWh/kg) et $M_{b2} = 0,84$ (kg/h) de comburant (air).

Selon la formule universelle (FUP), la création de la puissance thermique $P_t = 180$ watts est toujours payée par l'annihilation de la masse $M_a = 180:2,5 \cdot 10^{13} = 7,2 \cdot 10^{-12}$ (kg/h). On retrouve le rendement massique extrêmement faible $R_m = m_a:m_b = M_a:M_b = 7,2 \cdot 10^{-12}:0,9 = 8 \cdot 10^{-12}$, qui est celui de la plupart des machines vivantes.

c) *Les esclaves.* Nous ne nous contentons pas de la puissance mécanique de 15 watts, que la nature nous permet de produire. Notre civilisation, notre culture, notre santé, notre longévité, dépendent d'un supplément énorme de puissance, comme résumé dans les fig. 3 et 4. Si vous n'êtes ni sous-développé, ni analphabète, mais un Européen moyen, par exemple, vous exigez 4500 watts supplémentaires. Tout se passe comme si vous aviez besoin de 300 esclaves ($4500:15 = 300$) pour vous chauffer, vous nourrir, vous élever, vous éclairer, vous transporter et vous distraire.

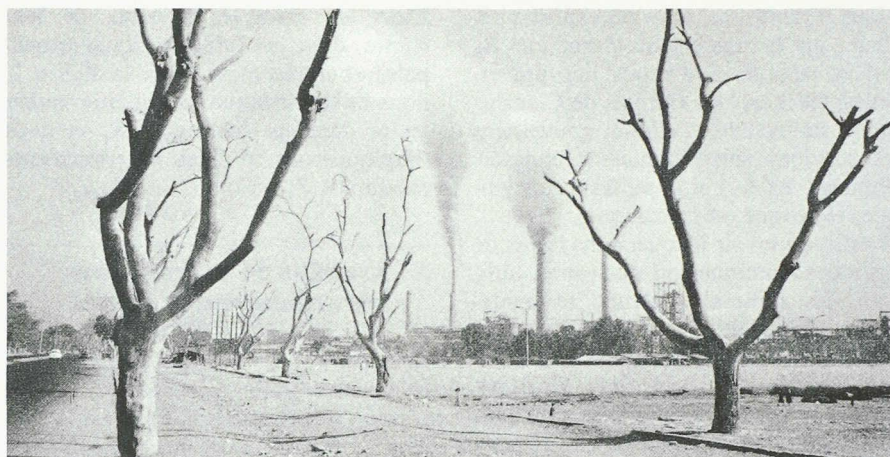
Si chacun des quelque 5 milliards d'habitants de la terre voulait se payer 300 esclaves humains, dont le rendement massique $R_m = 8 \cdot 10^{-12}$ (= 8 millième de milliardième) est absolument insuffisant, il en résulterait 1500 milliards d'esclaves, dont les rejets seuls suffiraient déjà à rendre notre planète parfaitement inhabitable.

Nous allons examiner les rendements massiques de divers types d'esclaves artificiels, qui se nourrissent, non pas de pain, mais d'essence, de mazout, d'uranium, de plutonium, d'hydrogène et d'antimatière.

Exemple n° 2. — Automobile avec moteur à explosion (essence)

Si votre automobile déclare 68 chevaux-vapeur (ch), ou 52 kilowatts (kW), elle crée, en moyenne, une puissance thermique $P_t = 86$ kW = $8,6 \cdot 10^4$ W, d'où peut être extraite une puissance mécanique $P_m = 20$ kW = $2 \cdot 10^4$ W, avec un rendement thermique $R_t = P_m:P_t = 20:86 = 23\%$.

En admettant que votre automobile brûle $M_{b1} = 7$ kilogramme par heure



(kg/h) d'essence (combustible) et $M_{b2} = 98$ kg/h d'air (comburant), elle brûle au total $M_b = M_{b1} + M_{b2} = 7 + 98 = 105$ kg/h de matière, dont la quasi-totalité est rejetée dans l'environnement sous des formes dégradées: 72% d'azote N_2 , 18% d'acide carbonique CO_2 , 8% d'eau H_2O , 2% de gaz toxiques divers, tels que CO, HC, NO_x .

Selon la formule universelle (FUP), la création de la puissance thermique $P_t = 86$ kW est payée par l'annihilation de la masse $M_a = 8,6 \cdot 10^4:2,5 \cdot 10^{13} =$

$3,4 \cdot 10^{-9}$ kilogrammes par heure (kg/h).

Le rendement massique est donc $R_m = M_a:M_b = 3,4 \cdot 10^{-9}:105 = 3,2 \cdot 10^{-11} = 3,2 \cdot 10^{-9}\%$, c'est-à-dire 3,2 milliardième de pour cent. Il reste minuscule, n'étant que 4 fois meilleur que celui de la machine humaine ($8 \cdot 10^{-12}$).

Pour créer, par exemple, une puissance électrique de 1000 mégawatts (environ 1 «Gösgen»), il faudrait aligner 50 000 automobiles à 68 ch, qui rejetteraient perpétuellement 5,25 millions de kilo-

Année	Mondiale			Pays développés	
	Population millions hab.	Puissance gigawatts (GW) = 10^9 watts (W) (= 1 Gösgen électrique env.)	Puissance moyenne par hab. watt (W)	Espérance de vie années	Alphabétisation pourcent
0	300	6	20	20	20
1340	450	9	20	23	20
1400	374 (peste)	7	20	—	20
1650	500	10	20	25	20
1750	700	35	50	32	30
1850	1200	240	200	40	65
1900	1600	640	400	48	83
1940	2500	2 000	800	62	97
1980	4400	8 800	2000	73	98
2000	6400	20 000	3000	—	—

Fig. 3. — Evolution mondiale de la population et de la puissance consommée (dont 70% pour la chaleur). Corrélation entre la puissance moyenne par habitant, l'espérance de vie et l'alphabétisation (dans les pays développés).

Pays (1975)	Puissance watts (W) par habitant	Espérance de vie années	Alphabétisation pourcent	
USA	12 000	76	98	Pays développés
Canada	11 000	74	98	
URSS	5 000	69	98	
France, Suisse	4 500	73	98	
Japon	3 600	74	98	
Chine	700	62	54	Pays en voie de développement
Brésil	600	58	62	
Inde	200	41	33	
Tanzanie	80	40	30	
Rwanda	20	38	25	

Fig. 4. — Corrélation par pays (1975) entre la puissance consommée par habitant, l'espérance de vie et l'alphabétisation (dans les pays développés et dans les pays en voie de développement).

grammes par heure de matières dégradées dans l'environnement.

Exemple n° 3. — Centrale électrothermique à combustion chimique (mazout)

La centrale électrothermique, à combustion chimique, de Vouvry-Chavalon crée une puissance thermique $P_t = 700$ mégawatts, d'où est extraite une puissance électrique $P_e = 300$ mégawatts, avec un rendement thermique $R_t = P_e : P_t = 300 : 700 = 43\%$.

Elle brûle chaque heure une masse $M_{b1} = 60\,000$ kg/h de mazout (combustible) et une masse $M_{b2} = 14 \times 60\,000 = 840\,000$ kg/h d'air (comburant), c'est-à-dire $M_b = 900\,000$ kg/h au total.

La quasi-totalité en est rejetée dans l'environnement sous diverses formes dégradées, solides, liquides et gazeuses, plus ou moins toxiques. Seules quelques petites parties, telles que l'acide carbonique, en sont recyclables par des processus biologiques.

Selon la formule universelle (FUP), la création de la puissance thermique $P_t = 700$ mégawatts $= 7 \cdot 10^8$ watts (W) est payée par l'annihilation de la masse $M_a = 7 \cdot 10^8 : 2,5 \cdot 10^{13} = 2,8 \cdot 10^{-5}$ kilogrammes par heure (kg/h).

Le rendement massique est donc $R_m = M_a : M_b = 2,8 \cdot 10^{-5} : 9 \cdot 10^5 = 3,1 \cdot 10^{-11} = 3,1 \cdot 10^{-9}\%$. Il reste encore minuscule.

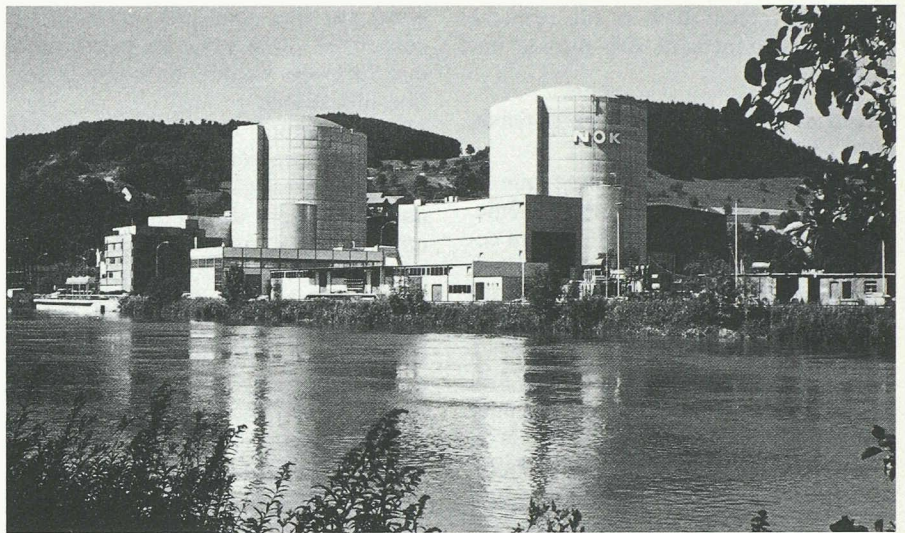
Si une centrale du type de Vouvry-Chavalon devait produire 1000 mégawatts électriques (environ 1 «Gösgen»), correspondant à 2325 mégawatts thermiques (rendement thermique $R_t = 43\%$), elle brûlerait 3 millions de kilogrammes par heure, dont 200 000 kg/h provenant du mazout (combustible) et 2,8 millions de kg/h émanant de l'air (comburant). Remarquons ici qu'en raison de l'augmentation du prix du mazout, la production de la centrale de Vouvry-Chavalon a été réduite de 80% depuis 1980. Tout se passe comme si sa puissance thermique (permanente) était réduite de 700 à 140 mégawatts, et sa puissance électrique (permanente) de 300 à 60 mégawatts.

Exemple n° 4. — Centrale électronucléaire à fission (uranium enrichi)

La centrale électro-nucléaire de Gösgen crée une puissance thermique $P_t = 2800$ mégawatts, d'où est extraite une puissance électrique $P_e = 920$ mégawatts, avec un rendement thermique $R_t = P_e : P_t = 920 : 2800 = 33\%$.

Son mode de combustion étant nucléaire, et non plus chimique, elle ne consomme aucun comburant, tel que l'oxygène de l'air. Ainsi $M_{b2} = 0$. Elle ne brûle, pendant chaque heure, qu'une masse relativement petite de combustible $M_{b1} = M_b = 3,4$ kg/h, constitué par de l'uranium enrichi.

Selon la formule universelle (FUP), la création de la puissance thermique $P_t = 2800$ mégawatts $= 2,8 \cdot 10^9$ watts (W) est



payée par l'annihilation de la masse $M_a = 2,8 \cdot 10^9 : 2,5 \cdot 10^{13} = 1,1 \cdot 10^{-4}$ kilogramme par heure (kg/h).

Le rendement massique est donc $R_m = M_a : M_b = 1,1 \cdot 10^{-4} : 3,4 = 3,2 \cdot 10^{-5}$, c'est-à-dire 1 million de fois meilleur que celui de la centrale chimique de Vouvry-Chavalon ($3,1 \cdot 10^{-11}$).

De plus, et contrairement aux rejets de centrales chimiques, dont les parties gazeuses les plus nocives s'échappent dans l'atmosphère, les rejets des centrales nucléaires sont solides et aisément contrôlables.

Considérés tout au long d'une année, la centrale de Gösgen brûle 30 000 kilogrammes d'uranium enrichi, dont 96% sont retraités, c'est-à-dire réutilisables. Parmi les 4% restant (1200 kg), 3% (900 kg) sont faiblement ou moyennement radioactifs, et 1% (300 kg) est hautement radioactif, occupant un volume final de produits vitrifiés de 3 m³. A l'échelle planétaire, de tels rejets sont parfaitement négligeables: il suffirait de les enterrer dans des régions inhabitables pour qu'on n'en entende plus parler.

A titre comparatif, une centrale chimique, du type de Vouvry-Chavalon, qui produirait 1000 MW électriques (environ 1 «Gösgen»), brûlerait chaque année (à 8760 heures) environ 1,8 milliard de kilogrammes de mazout et 25,2 milliards de kilogrammes d'air, c'est-à-dire une masse totale de 27 milliards de kilogrammes, qui serait presque entièrement rejetée dans l'environnement, sous des formes dégradées.

La masse (incontrôlable) de ces rejets serait donc 23 millions de fois plus lourde que celle (contrôlable) d'une centrale nucléaire, du type de Gösgen, dont les rejets définitifs se réduisent à 1200 kilogrammes, quand on tient compte du retraitement.

Exemple n° 5. — Centrale électronucléaire à surrégénération (uranium + plutonium)

La centrale électronucléaire à surrégénération de Creys-Malville créera une

puissance thermique $P_t = 2950$ mégawatts, d'où sera extraite une puissance électrique $P_e = 1240$ mégawatts avec un rendement thermique $R_t = 1240 : 2950 = 42\%$.

Grâce au processus de surrégénération, qui produit automatiquement du plutonium à partir de l'uranium, dans le réacteur lui-même, cette centrale ne brûlera qu'une masse $M_b = 0,3$ kg/h, qui est (proportionnellement) 12 fois plus petite que celle de Gösgen, et 13 millions de fois plus faible que celle de Vouvry-Chavalon.

Selon la formule universelle (FUP), la création de la puissance thermique $P_t = 2950$ mégawatts $= 2,95 \cdot 10^9$ watts (W) sera payée par l'annihilation de la masse $M_a = 2,95 \cdot 10^9 : 2,5 \cdot 10^{13} = 1,2 \cdot 10^{-4}$ kilogramme par heure (kg/h). Le rendement massique sera donc $R_m = M_a : M_b = 1,2 \cdot 10^{-4} : 0,3 = 4 \cdot 10^{-4} = 0,04\%$, c'est-à-dire 12 fois meilleur que celui de Gösgen (sans tenir compte du retraitement) et 13 millions de fois meilleur que celui d'une centrale électrochimique à charbon ou à mazout, telle que Vouvry-Chavalon.

Exemple n° 6. — Centrale électronucléaire à fusion (hydrogène, etc.)

Le combustible d'une centrale électro-nucléaire à fusion sera, non plus un élément lourd, tel que l'uranium, mais un élément léger, tel que l'hydrogène, le deutérium, le tritium ou le lithium.

Quand une telle centrale sera réalisée (peut-être dans 10 à 20 ans), elle présentera un rendement massique $R_m = M_a : M_b = 1,2 \cdot 10^{-4} : 0,03 = 4 \cdot 10^{-3} = 0,4\%$, encore 10 fois meilleur que celui de Creys-Malville, car elle ne brûlera qu'une masse $M_b = 30$ grammes par heure, c'est-à-dire, proportionnellement, 130 millions de fois moins que Vouvry-Chavalon.

La centrale à fusion marquera un progrès décisif par rapport à toutes les autres. En effet, elle brûlera des éléments légers, dont les réserves sont pra-

tiquement inépuisables, et elle rejettera dans l'environnement des masses encore réduites.

Exemple n° 7. — Antimatière et rendement massique idéal (100%)

Il faut bien se rendre compte que le meilleur rendement massique lui-même, escomptable actuellement et qui sera celui de la fusion nucléaire, $R_m = 4 \cdot 10^{-3}$, restera encore très faible. En effet, un rendement de 0,4% signifie que les 99,6% restant seront toujours rejetés dans l'environnement. Nous sommes donc encore très éloignés de la limite théorique idéale de 100%, admise par la formule (FUE) d'Einstein. Cette limite correspondrait à la rencontre de la matière avec l'antimatière. En supposant qu'une masse de 1 kg de matière quelconque (graisse, mazout, uranium, hydrogène) rencontre 1 kg d'antimatière quelconque («antigrasse», «antimazout», «antiuranium», «antihydrogène»), il en résulterait l'annihilation d'une masse de 2 kg, créant l'énergie formidable de 50 milliards de kilowatt-heures, c'est-à-dire de 50 000 «Gösgen» environ pendant 1 heure. ($E = 2 \text{ (kg)} \times 9 \cdot 10^{16} = 18 \cdot 10^{16} \text{ (Ws)} = 18 \cdot 10^{16} \text{ (Ws)} : 3,6 \cdot 10^6 = 5 \cdot 10^{10} \text{ (kWh.)}$)

Dans ce cas, la masse annihilée M_a serait égale à la masse brûlée M_b et le rendement massique $R_m = M_a : M_b = 2 : 2$ atteindrait 100%.

La production d'antimatière se trouve encore au stade de la recherche fondamentale, dans des laboratoires, tels que ceux du CERN.

6. Machines utilisant des énergies renouvelables

Dans le présent exposé, nous n'avons considéré que les machines qui brûlent un combustible, tel que chimique (pain, essence, charbon, mazout) ou nucléaire (uranium, plutonium, deuterium, hydro-

gène), car elles sont indispensables à la couverture de la majeure partie (quelque 90%) des besoins de notre civilisation industrielle.

Nous traiterons dans un exposé ultérieur la partie restante (quelque 10%), concernant les machines qui ne brûlent pas directement de combustible, et qui utilisent des «énergies renouvelables», telles qu'hydraulique, solaire, géothermique, éolienne, biochimique, marémotrice, etc.

Cependant, il ne faut pas croire que les «énergies renouvelables» soient gratuites: elles sont tributaires du niveau général de notre civilisation industrielle. Une centrale hydraulique, par exemple, exige des dépenses d'infrastructure et de renouvellement telles que le coût de son kilowattheure est du même ordre que celui des centrales chimiques ou nucléaires (environ 8 centimes).

Quant à une centrale solaire de 1000 mégawatts électriques (environ 1 «Gösgen»), elle consommerait davantage d'énergie qu'elle n'en produirait, à cause du renouvellement de l'aluminium de ses miroirs, notamment, et de son entretien. Son rendement massique serait donc négatif. De plus, elle occuperait une surface au moins 1000 fois plus étendue que celle d'une centrale à combustible, et le coût de son kilowattheure serait de 50 à 100 fois plus élevé (expériences de Las Vegas et d'Almeria).

7. Conclusion

Notre exposé a démontré l'importance primordiale, autant que cachée, de la formule universelle d'Einstein (FUE) concernant l'énergie, et de la formule (FUP), qui en est dérivée, concernant la puissance. Celle-ci permet de définir le rendement massique $R_m = M_a : M_b$. Ce rapport entre la masse annihilée M_a (kg/h), qui crée seule la puissance P

Bibliographie

- A. GARDEL, *Energie, économie et prospective*, Pergamon Press, Paris 1979.
W. SEIFRITZ, *Sanfte Energietechnologie — Hoffnung oder Utopie?*, éd. Thiemeig, Munich, 1980.
Adaptation française: *Energie solaire... espoir ou utopie?* Editions Roulet, Genève, 1983.
J. MONOD, *Le hasard et la nécessité*, Editions du Seuil, 1970.
J. A. DREYFUS-GRAF, *Machines commandées par la parole et entropies (degrés de désordre)*, CERN Colloquium, Genève, septembre 1982.

(W), et la masse brûlée M_b (kg/h), caractérise la masse de la matière $M_r = M_b - M_a$ qui est rejetée dans l'environnement, sous des formes dégradées.

Nous avons vu que le meilleur rendement massique, escomptable actuellement, sera celui de la fusion nucléaire, avec 0,4%. Ce qui signifie que les 99,6% de la masse brûlée continueront d'être rejetés dans l'environnement. On sera donc encore très loin de la limite idéale de 100%, qui correspond à l'annihilation totale, par la rencontre de la matière avec l'antimatière.

L'énormité du fossé qui subsiste entre 0,4% et 100% dévoile l'immensité du champ d'investigation qui s'ouvre encore devant l'intelligence de l'homme.

Nous nous réservons d'en préciser les perspectives ultérieurement.

Par la suite, nous avons aussi l'intention d'exposer les autres lois universelles de la nature, et notamment celle de l'antihasard (mesurable en bits par seconde) qui correspond à l'intelligence elle-même.

Adresse de l'auteur:

Jean Dreyfus-Graf, ing. EPFZ
Avenue de la Grenade 5
1207 Genève

Carnet des concours

A propos de la publication des projets primés dans les concours d'architecture

Ingénieurs et architectes suisses procède, dans la règle, de la façon suivante:

- Dans les pages brunes, en début de chaque numéro, vous trouvez un «tableau des concours» donnant tous les renseignements utiles au sujet de l'inscription, du sujet à traiter, de la date de reddition et du retrait des documents, etc.
- Dans les pages brunes également, le lecteur trouve, sous la rubrique «carnet des concours», les noms des lauréats, les montants des prix, la com-

position du jury et, autant que possible, les dates de l'exposition des projets et le lieu où l'on peut les examiner.

- Parfois, pour des concours importants, nous publions une rubrique «concours» à l'intérieur des pages rédactionnelles, avec les planches des projets primés et la photographie de la maquette. Outre des extraits du rapport du jury, nous publions une analyse et des commentaires qui nous sont propres.

Le volume rédactionnel disponible et le caractère pluridisciplinaire de notre revue nous fixent des limites, dans ce domaine comme dans tous les autres. C'est pourquoi il ne nous est pas possible de publier systématiquement tous les projets primés ainsi que les achats. Nous nous réservons donc de ne présenter

que les premiers projets classés ou les plus significatifs.

Nous comptons sur la compréhension de nos lecteurs, et notamment des lauréats qui ne verraient pas leur projet publié. Une autre revue a pour vocation de se consacrer uniquement à la publication des projets des concours d'architecture; nous recommandons à nos confrères de se procurer les numéros qui les intéressent, et nous nous efforçons de faire connaître le sommaire de cette revue, avec laquelle nous entretenons les contacts les meilleurs.

François Neyroud
architecte SIA

Il est à relever que des facteurs indépendants de notre compétence (retard dans les annonces d'ouverture ou de résultats de concours, documentation non disponible, peuvent retarder ces publications.
(Réd.)