

Zeitschrift: Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales
Herausgeber: Société d'Etudes Economiques et Sociales
Band: 32 (1974)
Heft: 1

Artikel: L'économie de la chaleur liée aux activités humaines
Autor: Verstraete, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-137246>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

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

L'économie de la chaleur liée aux activités humaines

Pierre Verstraete
ingénieur physicien EPFL Lausanne

Bonnard et Gardel,
Ingénieurs-conseils S.A.

La récente prise de conscience de l'urgente nécessité d'une meilleure gestion des ressources naturelles et en particulier des moyens de production d'énergie a été déclenchée par la perception de limites là où précédemment on pensait disposer de réserves inépuisables.

Le caractère unique de notre environnement – limité et non reproductible – a fait simultanément comprendre, au moment où des atteintes étendues et irréversibles lui étaient portées, qu'il fallait à tout prix préserver ce qui restait intact et aménager ce qui avait été atteint.

Ces deux soucis caractéristiques de notre époque sont particulièrement bien illustrés par le développement de l'activité humaine caractérisée très grossièrement par la consommation d'énergie et donc finalement par la production de chaleur. C'est précisément le problème des rejets de chaleur dans l'environnement qui sera traité ci-après.

Aux côtés des sources d'énergie fossiles qui sont, de loin, les plus importantes pour satisfaire à nos besoins, l'électricité prend une place qui s'accroît constamment.

Or, l'équipement pratiquement complet des ressources hydroélectriques dans de nombreux pays, notamment en Europe, conduit à construire des centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire pour faire face à la demande d'énergie électrique.

Un problème majeur résulte du fait que, dans ces centrales, selon les techniques actuellement appliquées, la chaleur fournie par le combustible ne peut être transformée qu'à raison de 30 à 45 % en énergie électrique.

L'énergie résiduelle, rejetée dans les eaux de surface ou dans l'atmosphère, est de ce fait le plus souvent perdue.

Devant l'ampleur de la production d'énergie électrique et les perspectives de développement des besoins en énergie qui paraissent difficilement évitables, les rejets de chaleur, déjà responsables en certains endroits d'une véritable « pollution thermique » posent un problème écologique très grave.

Après une comparaison des énergies produites par l'homme avec celles mises en jeu par les phénomènes naturels, les origines et les effets de la pollution thermique seront examinés. Devant le développement de ces phénomènes et les perspectives qu'ils ouvrent, différentes possibilités d'utilisation et de valorisation de la chaleur de déchet sont discutées, ainsi que diverses possibilités de couvrir certains besoins énergétiques par des sources naturelles.

L'intégration de ces moyens dans une politique globale de gestion des moyens énergétiques, et plus particulièrement de la chaleur, constitue une condition d'économie d'une part et de préservation du milieu d'autre part.

Dans le bilan énergétique de la Terre, le Soleil joue de loin le rôle le plus important et les activités humaines peuvent y apporter d'une part des perturbations nuisibles mais très localisées dans l'espace et d'autre part des écarts appréciables par rapport à un équilibre dans le temps.

Le Soleil constitue de loin la plus importante source énergétique primaire puisqu'il est à l'origine de la plupart des formes d'énergie que nous connaissons et utilisons. Celles-ci résultent en effet de transformations immédiates ou différées d'énergie solaire par le truchement de divers mécanismes naturels ou, au contraire, mis en œuvre par l'homme.

Les sources d'énergie qui ne proviennent pas du Soleil sont beaucoup moins puissantes, mais leur rôle potentiel ne saurait être négligé. Il s'agit de l'énergie géothermique provenant de la Terre elle-même et des réactions de fission des noyaux lourds et de fusion des noyaux légers qui dégagent l'énergie nucléaire.

Si l'effet bénéfique immédiat de la chaleur solaire pour l'homme et la nature a été reconnu de tout temps, ce n'est qu'au cours de ces dernières décennies que cette forme d'énergie a pu être utilisée immédiatement pour satisfaire à des besoins autres, notamment le pompage d'eau dans les puits, le dessalement de l'eau de mer, la métallurgie, le chauffage et la climatisation des habitations, la production d'électricité.

Il s'agit cependant encore de réalisations de caractère expérimental, de faible capacité et d'un rendement le plus souvent dérisoire.

Ce sont donc les utilisations différées de l'énergie solaire qui sont les plus courantes.

Ainsi, l'énergie hydroélectrique constitue la restitution, avec un retard de l'ordre d'une année, de l'énergie solaire à l'origine de l'évaporation de l'eau des mers.

La transformation de l'énergie solaire par les réactions de photosynthèse est à l'origine des développements de tous les végétaux, ceux qui servent à l'alimentation et ceux qui fournissent nos principaux combustibles: le bois, le lignite, le charbon et aussi, dans une certaine mesure, le gaz naturel et le pétrole.

Ces simples exemples montrent que le retard intervenant dans l'utilisation de l'énergie solaire va de quelques années dans le cas des combustibles végétaux à plusieurs millions d'années pour les combustibles fossiles.

On voit ainsi que le cycle de la chaleur ne peut être étudié en toute rigueur par un bilan énergétique instantané et que les temps historiques et géologiques, au cours desquels l'énergie solaire a été dispensée et partiellement accumulée, devraient être considérés dans un bilan global de façon à faire intervenir en outre l'inventaire des réserves de combustible végétal et fossile et son évolution dans le temps.

Le problème peut cependant être approché grâce aux simplifications qui résultent des ordres de grandeur relatifs des phénomènes en jeu.

Ainsi, les grandeurs comparées, de la puissance solaire et de celle produite par l'homme principalement à partir de l'énergie solaire différée et du flux géothermique, sont données ci-après.

<i>Soleil</i>	<i>Watt/m²</i>
– en dehors de l'atmosphère	
intensité à incidence normale (constante solaire)	1 350
– à la surface de la Terre	
valeur moyenne	220
intensité moyenne intervenant dans la photosynthèse	0,13
<i>Puissance produite par l'homme</i>	
– valeur moyenne sur toute la surface de la Terre	0,016
– valeur moyenne sur la surface des continents	0,054
<i>Flux géothermique</i>	0,062
<i>Energie des vents</i>	0,011
<i>Energie des marées</i>	0,003
<i>Incendies de forêts</i>	0,001

Ces quelques valeurs montrent à l'évidence que, à l'échelle globale de la Terre, la puissance produite par l'homme ne constitue qu'une part infime de l'intensité du rayonnement solaire qu'elle reçoit.

Par contre, elle représente plus du tiers de l'énergie solaire intervenant dans la photosynthèse. Cette simple remarque confirme que la production d'énergie se fait principalement au détriment des réserves accumulées au cours des temps (bois et combustibles fossiles) à partir des réactions photosynthèse.

Ce bilan global montre également que l'activité humaine ne peut en moyenne modifier de façon sensible les conditions thermiques à la surface de la Terre.

Il en va tout autrement si on considère les puissances relatives à l'activité humaine à l'échelle locale ou régionale. La production d'énergie en certains endroits ou régions de grande activité est donnée ci-après:

	<i>Puissance watt/m²</i>	<i>Surface km²</i>
Manhattan	630	59
Moscou	127	878
Los Angeles	21	3 500
Région Washington-Boston	4,4	87 000
Rhénanie-Wesphalie	4,2	34 000
RFA.	1,36	246 000
Europe occidentale et centrale	0,74	1 665 000
USA	0,24	7 760 000

Ainsi à Manhattan, la chaleur dégagée correspond pratiquement au triple de l'apport solaire, alors que la valeur correspondante est un dixième de cet apport à Los Angeles.

La question se pose immédiatement de savoir quelles sont les conséquences de ces sources locales intenses de chaleur sur le climat et tout d'abord sur la température moyenne.

L'équilibre entre l'apport solaire et la puissance rayonnée par la Terre conduit à l'établissement d'une température moyenne globale à long terme de 15° C sur toute la Terre, alors que dans nos régions la température moyenne est proche de 10° C.

Il est alors aisé de calculer, par application de la loi de Stefan Boltzmann, que si la puissance rayonnée par la Terre s'accroît de 2% de l'apport solaire, donc de 4,4 watt/m², la température moyenne augmentera de 1,4° C dans la région en question.

Or, la valeur de l'accroissement envisagé ici est celle qui correspond au dégagement de chaleur anthropogène en Allemagne.

Cette valeur qui est considérable n'est cependant destinée qu'à fixer un ordre de grandeur, car le calcul mentionné néglige d'une part l'effet de serre¹ et celui de la pollution de l'air qui ont tendance à l'accroître, et d'autre part les échanges d'air par les vents qui contribuent à la réduire.

Elle montre cependant que la production d'énergie peut affecter de façon sensible le climat d'une région et cette tendance sera d'autant plus marquée que l'augmentation de cette production se poursuivra et affectera des régions plus étendues.

De par les effets néfastes qui en résultent, il est déjà justifié de parler à cet égard de pollution thermique.

La pollution thermique a ainsi été identifiée à l'échelle d'une région comme une perturbation de la température résultant de l'activité humaine dans cette région et du dégagement de chaleur qu'elle détermine.

Sans vouloir porter ici une appréciation sur la justification de l'activité humaine et sur son développement qui sont à l'origine des modifications du bilan thermique local ou régional, on peut affirmer que cette activité peut être mesurée assez exactement par la totalité de l'énergie consommée, soit l'énergie mécanique et électrique et celle servant aux différentes formes de chauffage.

En fait, il y a lieu de distinguer l'énergie qui est utile à l'homme de celle inutile, qui accompagne cette activité ou en résulte. Ce sont ces rejets thermiques inutilisés qui constituent, surtout lorsqu'ils sont effectués de façon concentrée, tels des déchets qui s'accumulent en se décomposant lentement, la pollution thermique. Ce terme est réservé principalement aux rejets de chaleur résiduaire dans les eaux de surface, car c'est dans ce milieu qu'apparaissent les premiers effets néfastes. Ils sont imputables pour la quasi totalité aux centrales électriques thermiques utilisant du combustible fossile ou nucléaire.

En effet, toutes les centrales thermiques rejettent de la chaleur dans l'environnement. Le rendement de ces installations atteint couramment 44% pour les centrales thermiques et est voisin de 31% pour les centrales nucléaires les plus courantes (réacteurs à eau). En la rapportant à l'énergie électrique produite, la chaleur résiduelle représente 125% pour les premières et 220% pour les secondes.

Lorsque l'énergie thermique de la vapeur a été convertie en énergie mécanique dans la turbine, la vapeur est transformée en eau dans le condenseur. La condensation de la vapeur nécessite un refroidissement considérable, obtenu le plus couramment en faisant circuler de grandes quantités d'eau froide à travers les tubes du condenseur.

¹ Phénomène par lequel le rayonnement solaire est faiblement absorbé par l'atmosphère alors que le rayonnement calorifique de la Terre, de grande longueur d'onde (infrarouge) est fortement absorbé par l'atmosphère.

Dans le procédé le moins coûteux et le plus répandu, l'eau de refroidissement du condenseur de la turbine est prélevée dans les eaux les plus proches: lacs, rivières, estuaire ou mer. Après un réchauffement de 5 à 15° C environ suivant les caractéristiques des installations, l'eau est le plus souvent renvoyée là où elle a été prélevée en évitant cependant que l'eau rejetée ne soit directement prélevée à nouveau pour être réutilisée dans l'installation.

Ces installations sont actuellement tellement développées tant aux Etats-Unis qu'en Europe que les limites maximales sont déjà souvent atteintes en ce qui concerne les lacs et les rivières et que des limitations sévères ont été édictées quant à l'implantation de nouvelles installations. Les estuaires et les sites côtiers offrent encore des possibilités intéressantes et aux Etats-Unis, des projets très avancés prévoient même la construction de centrales nucléaires de très grandes puissances sur des îlots flottants artificiels, placés en mer à quelques kilomètres des côtes. Cette solution, qui permet de résoudre aisément le problème des rejets thermiques, porte également remède à la pénurie de sites favorables sur terre ferme et contribue ainsi à résoudre les difficultés résultant des préoccupations de l'opinion publique à l'égard des centrales nucléaires.

Pour les centrales sur site continental, le refroidissement direct par eau n'est plus toléré que dans des cas isolés bénéficiant de conditions favorables et il ne reste le plus souvent d'autres solutions que d'effectuer les rejets thermiques dans l'atmosphère par des tours de réfrigération humides ou sèches ou encore par la création de lacs ou d'étangs artificiels.

Dans les tours de réfrigération humides, l'eau de refroidissement est en contact direct avec un courant d'air et le transfert de chaleur à l'atmosphère a lieu principalement par évaporation.

Dans les tours de réfrigération sèches, l'eau de refroidissement circule dans des éléments réfrigérants qui, tels de véritables radiateurs, cèdent la chaleur au courant d'air ambiant qui les balaie.

Les lacs ou étangs artificiels ne peuvent guère être envisagés en Europe puisque une centrale de 1000 MW, taille des centrales nucléaires actuelles, nécessiterait un plan d'eau de l'ordre de 800 hectares (8 km²) et une profondeur de 3 à 4 mètres.

Il est important de souligner que si ces différents procédés de refroidissement des centrales thermiques peuvent apporter des solutions valables en complétant les possibilités de refroidissement direct, elles comportent elles aussi des limitations ou des inconvénients résultant non seulement de leurs effets thermiques sur l'environnement (brouillard, nuages, verglas) mais aussi de considérations esthétiques. Il en est ainsi de la taille des tours de refroidissement qui peuvent atteindre 150 m de hauteur, ou encore de la difficulté de trouver des sites se prêtant à la création d'étangs de refroidissement de grande étendue.

La pollution thermique est donc le tribut que doivent payer les centrales thermiques, et ceci en fonction du principe de Carnot qui fixe le rendement maximal théorique des machines thermiques en fonction des températures des sources chaudes et froides qui caractérisent leur fonctionnement.

La production d'énergie par d'autres voies échappe à cette contrainte.

C'est en premier lieu le cas des usines hydroélectriques qui extraient sous forme d'électricité l'énergie cinétique de l'eau, qui aurait été autrement dissipée sous forme de chaleur dans la turbulence des écoulements des torrents et des rivières.

Ainsi peut-on dire que malgré les rejets thermiques des premières centrales nucléaires de puissance mises en service en Suisse, les eaux des fleuves et des rivières quittent le pays à une

température en moyenne inférieure à la valeur correspondante avant l'exploitation des aménagements hydroélectriques.

Or, l'ensemble des usines hydroélectriques de la Suisse représente une puissance moyenne de quelque 4000 MW. Par conséquent, en rejetant dans les rivières la même énergie sous forme de chaleur résiduelle des centrales thermiques, on pourrait assurer le fonctionnement de centrales thermiques ou nucléaires d'une puissance totale de plus de 2000 MW sans dépasser en moyenne la température initiale des cours d'eau.

La considération des valeurs moyennes ne tient cependant pas compte des échauffements locaux et des effets bénéfiques ou négatifs qu'ils entraînent ainsi que nous le verrons par la suite.

Il existe d'autres moyens de produire de l'énergie électrique qui ne connaissent pas les limitations du principe de Carnot et qui pourraient en principe avoir des rendements supérieurs à ceux des installations thermiques. On citera principalement la conversion directe par voie thermoélectrique, les installations magnétohydrodynamiques, les piles à combustible. Il s'agit toutefois de procédés qui n'ont pas atteint le stade industriel et commercial, si ce n'est pour des utilisations très particulières.

A l'encontre des décharges de matières diverses qui sont à l'origine des pollutions courantes, les rejets thermiques dans les eaux de surface n'apportent pas de matières étrangères au milieu, l'eau, et n'ont donc pas d'action contaminante directe.

Cependant les modifications de température qu'ils entraînent peuvent être telles que des effets particulièrement nuisibles peuvent être observés sur l'eau, la faune et la flore.

Tout d'abord, en ce qui concerne l'eau, certaines propriétés importantes pour sa qualité sont affectées par l'élévation de la température.

Il en est ainsi de la densité et de la viscosité qui déterminent la vitesse de dépôt des sédiments et la formation de stratifications naturelles. La tension de vapeur et par conséquent l'évaporation sont aussi fonction de la température. La solubilité des gaz, donc notamment de l'oxygène, dans l'eau diminue avec la température. Enfin la vitesse des réactions chimiques ou biochimiques par contre augmente avec la température.

Ainsi l'augmentation de la température conduit à une réduction de la teneur en oxygène alors que la consommation de cet élément se trouve augmentée du fait de l'accélération des réactions. La situation critique qui peut en résulter se traduit par une accumulation de déchets et l'apparition d'une pollution au sens courant du terme et qui du fait du déficit en oxygène ne peut être éliminée naturellement.

Pour ce qui est des effets des rejets de chaleur sur la flore et la faune, il faut rappeler que chaque espèce aquatique ne peut vivre que dans un certain intervalle de température en dehors duquel elle est amenée à disparaître. Un déplacement de la température moyenne a ainsi pour conséquence de modifier l'équilibre numérique entre les espèces, les effets peuvent être suivant les cas bénéfiques ou au contraire catastrophiques.

Qu'il suffise à cet égard de mentionner les destructions importantes d'huîtres sous l'effet des rejets thermiques sur les côtes de Floride ou au contraire les expériences faites à la centrale

nucléaire de Hunterston en Ecosse qui ont démontré que grâce au réchauffement des eaux provoqué aux environs de la centrale, des soles pouvaient atteindre leur poids en moins de deux ans alors qu'il faut normalement attendre quatre ans pour obtenir ce résultat.

Dans le développement constant de la consommation globale d'énergie, la part de l'électricité devient toujours plus grande. Or l'accroissement de la production d'électricité se fera principalement au cours des prochaines années en faisant appel aux combustibles fossiles ou nucléaires, les forces hydroélectriques économiquement utilisables étant pour la plupart déjà mises en valeur.

Dans ces conditions, les rejets de chaleur des centrales thermiques augmentent plus rapidement que la consommation globale d'énergie.

Dans les régions de forte activité humaine, donc de grande consommation d'énergie, les eaux de surface sont déjà pratiquement saturées du point de vue thermique et la pollution qui en résulte, sensible en bien des endroits atteint souvent déjà les maximums admissibles, au sens des prescriptions, sur les principaux lacs et fleuves de ces régions.

On prévoit cependant que les rejets de chaleur vont décupler d'ici trente-cinq ans.

Comment peut-on faire face à cette situation en tenant compte de la préservation de l'environnement?

Suivant les conclusions du Club de Rome, la recherche d'une solution devrait être orientée vers une limitation de la croissance. Cela paraît évident au premier abord étant donné les limites des différents domaines finis (surface et ressources terrestres) dans lesquels se poursuit notre développement.

Cependant, en supposant que la croissance des activités humaines puisse être effectivement limitée et que le niveau de vie actuel soit maintenu constant, il a été établi que les exigences de la protection de l'environnement, avec les récupérations et les recyclages des déchets qu'elles impliquent, conduiront à un doublement de la consommation d'énergie.

Donc la limitation de la croissance et la protection de l'environnement, constituent en fait une contradiction fondamentale en ce qui concerne les besoins en énergie, donc finalement en chaleur.

Quel que soit le développement de l'activité humaine, la seule protection de l'environnement entraînera donc des besoins d'énergie de plus en plus importants et vu les moyens à disposition actuellement à cette fin, un accroissement de la charge thermique résiduelle.

Une économie d'énergie et par conséquent de chaleur est donc un élément primordial d'une politique de la chaleur. Avant de formuler celle-ci, nous tâcherons de montrer quels sont les moyens d'action que nous offre actuellement la technique pour réduire les rejets de chaleur résiduelle.

Pour mettre en évidence la différence qui peut exister entre la chaleur utile et celle que l'on considère comme déchet, il peut être opportun de rappeler que l'évolution des systèmes thermodynamiques est régie par deux principes qui sont la conservation de l'énergie et le sens de l'évolution des systèmes de l'ordre vers le désordre, du chaud vers le froid.

L'énergie ne peut donc pas être détruite, elle est seulement convertie en une autre forme moins noble.

Cette dégradation est toujours accompagnée d'une perte sous forme de chaleur et c'est finalement sous cette forme que se retrouve la totalité de l'énergie mise en jeu.

On peut de plus parler de la « qualité » de la chaleur suivant la température à laquelle se trouve le milieu ou le corps qui l'emmagasine.

La chaleur peut être utilisable si cette température est suffisamment élevée ou au contraire constituer des « déchets thermiques » si elle est trop basse pour pouvoir être utilisée dans des conditions techniques et économiques acceptables.

Tel est le cas de la chaleur résiduelle des centrales thermiques fossiles ou nucléaires actuelles dont l'utilisation est difficile en raison de la température relativement basse, environ 30° C, des eaux de refroidissement des condenseurs des turbines et de leur débit élevé (de l'ordre de 50 m³/s pour les installations de grande puissance).

Au lieu de rejeter cette chaleur dans l'environnement, c'est-à-dire dans les eaux de surface ou dans l'atmosphère et par conséquent de perdre l'énergie correspondante, on peut chercher à l'utiliser et ainsi réduire d'autant la chaleur produite et épargner le combustible correspondant.

Une difficulté à cet égard réside dans la recherche d'utilisateurs permanents.

Les applications tendant à accélérer la croissance des animaux (poissons, crustacés et mollusques) ont déjà été mentionnées.

Sur des sites continentaux, des applications à l'agriculture ont été expérimentées avec succès.

Des essais effectués à l'Université de l'Orégon ont montré qu'en enfouissant dans le sol des tuyaux dans lesquels circule l'eau de refroidissement des centrales on pouvait par exemple augmenter le rendement de la culture du maïs de 34 % et celui du soya de 66 %. L'utilisation de conduites poreuses permet en outre de compenser l'évaporation de l'eau du sol dont l'assèchement peut ainsi être évité.

L'analyse économique du système est encourageante et est le mieux illustrée par le fait que non seulement le rendement des récoltes est accru de façon sensible mais encore que deux récoltes par an peuvent être obtenues au lieu d'une seule.

Le chauffage des routes et des ponts pour éviter la formation de verglas constitue aussi un débouché important mais d'une utilisation très limitée dans le temps.

Un pas supplémentaire en vue de la valorisation de la chaleur résiduelle des centrales thermiques consiste à concevoir ces installations de façon à pouvoir disposer de cette énergie dans des conditions d'utilisation moins défavorables, c'est-à-dire à température plus élevée.

Les usages urbains et industriels fournissent alors un autre débouché intéressant. Les centrales électriques deviennent ainsi parties intégrantes des villes ou des centres industriels à proximité immédiate desquels elles doivent être implantées.

On mentionnera tout d'abord le chauffage des habitations par des réseaux d'eau chaude sous pression à des températures de 120 à 180° C.

Ainsi le quartier de Farsta près de Stockholm dispose d'un tel réseau alimenté en eau chaude par la centrale nucléaire de Agesta qui fournit aussi de l'énergie électrique.

Le même circuit d'eau chaude peut être utilisé en été pour fournir l'énergie d'installations de climatisation. Ces deux types d'installations complémentaires dans le temps permettent une utilisation de chaleur tout au long de l'année.

Une perspective intéressante est ouverte actuellement par l'utilisation de différentes tranches de température du fluide de refroidissement (hélium) des centrales nucléaires équipées de réacteurs à gaz à haute température. La tranche supérieure, de 1100 à 800°C serait utilisée pour la gazéification du charbon, la tranche intermédiaire jusqu'à 150 ou 200°C étant réservée à la production d'énergie électrique tandis que la tranche inférieure serait réutilisée pour divers besoins de chauffage industriel, urbain ou agricole.

On mentionnera encore des centrales thermiques, nucléaires ou fossiles équipées en vue de la production combinée d'électricité et d'eau douce à partir d'eau salée.

L'idée peut d'ailleurs être développée en réalisant l'intégration de telles installations dans des complexes agro-industriels permettant la création de centres de vie autonomes en des endroits totalement dépourvus de ressources naturelles.

Ainsi la vapeur soutirée des turbines est utilisée pour le dessalement de l'eau de mer, le chauffage des serres et d'étangs piscicoles, la production d'algues destinées à nourrir les poissons et d'engrais pour fertiliser des champs situés alentour des installations.

Ces complexes nucléaires, appelés « Nuplex », permettraient moyennant le seul apport de combustible nucléaire (quelque mètres cubes par an) et l'utilisation d'eau de mer de fournir des moyens de vie autonomes à plusieurs milliers de personnes en des régions côtières actuellement dépourvues de ressources.

Les utilisations envisagées ci-dessus tendent à une gestion meilleure de la chaleur impliquée dans les activités humaines et produite à partir de divers combustibles contribuant donc dans une mesure minimale à augmenter le dégagement de chaleur sur la Terre.

Les possibilités techniques d'utilisation de la chaleur résiduelle des centrales électriques sont donc diverses; moins nombreuses sont celles qui n'apparaissent pas pour le moment économiquement prohibitives.

On sera certainement amené à les analyser dans un proche avenir en appliquant des critères économiques différents de ceux adoptés actuellement et dans lesquels les effets sociaux ainsi que la protection de l'environnement devront entrer en ligne de compte.

Certains systèmes apparaîtront alors comme intéressants et leur mise en œuvre se trouvera pleinement justifiée.

Le Soleil constitue une somme d'énergie puissante et à notre échelle pratiquement inépuisable mais dont l'utilisation directe pour les besoins de l'homme est très peu développée.

Ceci est d'autant plus regrettable que cette source présente les avantages de ne pas faire appel aux réserves énergétiques de la terre et de ne pas modifier sensiblement son bilan thermique global et donc de ne pas causer, sinon à l'échelon local, de rejets de chaleur susceptibles de provoquer une pollution thermique.

L'utilisation de cette source d'énergie est cependant difficile en raison des variations journalières et saisonnières de son intensité ainsi que des fluctuations liées aux conditions météorologiques (nuages, précipitations, etc.).

De plus, son intensité relativement faible conduit à des installations réceptrices de grande étendue si une puissance élevée est requise.

L'énergie solaire est cependant déjà utilisée dans des régions où l'insolation est intense et qui sont éloignées de centres de production d'énergie de types conventionnels.

Il existe ainsi des installations de pompage d'eaux souterraines, des usines de dessalement d'eau saumâtre ou d'eau de mer utilisant l'énergie solaire. Ces installations, de puissance faible ou moyenne et le plus souvent isolées, sont certainement susceptibles d'un développement important.

Le coût toujours plus élevé des combustibles traditionnels, les perspectives d'une éventuelle pénurie à plus ou moins long terme et les préoccupations relatives à la pollution thermique liés à la production d'électricité pour les centrales thermiques conduisent à intensifier les recherches en vue d'utilisations domestiques diverses, principalement chauffages, production d'eau chaude et climatisation à partir d'énergie solaire.

Des groupes de maisons expérimentales ont été ainsi réalisés en France, en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis dans lesquels l'énergie solaire couvre une part importante des besoins en énergie, l'appoint étant apporté par des sources conventionnelles (électricité, combustible fossile, etc.).

Les perspectives ouvertes par ces travaux conduisent à penser que plus de la moitié des besoins en énergie de chauffage et climatisation pourraient être couverts par l'énergie solaire et cela même sous les latitudes de la zone tempérée.

En conclusion, il convient tout d'abord de remarquer que la consommation d'énergie dans le monde avec les rejets de chaleur correspondants ne constituent jusqu'à présent que des perturbations insignifiantes dans le bilan thermique de la Terre dans son ensemble.

Cependant, la concentration de la production et de la consommation conduit à la formation d'îlots de chaleur et l'évacuation des chaleurs de déchets provoque des phénomènes de pollution thermique qui affectent déjà, dans les régions développées, la quasi totalité des eaux de surface et commencent à avoir des effets locaux sensibles sur le climat.

Le développement de la consommation d'énergie dans des régions toujours plus étendues accentuera ces phénomènes ainsi que les conséquences néfastes déjà perceptibles sur l'environnement. Il imposera qu'une véritable politique de gestion globale de l'énergie et de la chaleur soit progressivement mise en œuvre à l'échelon national et international.

Les éléments d'une telle politique seront une réduction de la consommation d'énergie, une augmentation du rendement des aménagements de production d'électricité et l'utilisation aussi complète que possible de l'énergie réduisant ainsi les rejets de chaleur inutilisée.