Le marché de l'eau chaude

Jean-Marie Delbecq, Philippe Neveu

▶ **To cite this version:**

Jean-Marie Delbecq, Philippe Neveu. Le marché de l'eau chaude. Sciences de l'ingénieur [physics]. 1975. hal-01909970

HAL Id: hal-01909970

https://minesparis-psl.hal.science/hal-01909970

Submitted on 31 Oct 2018

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.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE

DES MINES DE PARIS

Consultation
sur place

LE MARCHÉ DE L'EAU CHAUDE

Dossier long Ingénieurs Elèves
Promo X 1969

[48]

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES
Bibliothèque
N°
IE 1

Jean-Marie DELBECQ

Philippe NEVEU

Octobre 1974 - Juin 1975

N° d'inventaire 129105

E C O L E N A T I O N A L E S U P E R I E U R E
D E S M I N E S D E P A R I S

LE MARCHÉ DE L'EAU CHAUDE

[48]

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES
Bibliothèque
N° IE 1

Jean-Marie DELBECQ Philippe NEVEU

Directeurs de Dossiers :

MM. B. GIRAUD Diteim

J. SYROTA Agence pour les Economies d'Energie

Octobre 1974 - Juin 1975

N° d'Inventaire 129105

AVANT - PROPOS

Ce fascicule est le résultat d'un travail d'information mené auprès de nombreux organismes professionnels suivi d'enquête auprès des industriels concernés.

Ce sujet d'actualité après la crise pétrolière et la création de l'Agence pour les Economies d'Energie s'est révélé laborieux à traiter par suite d'une relative inexistence de statistiques.

Nous avons cependant essayé d'être assez complets dans le recensement des branches industrielles malgré le peu de temps dont nous disposions et le trop petit nombre de visites effectuées.

Nous tenons à remercier en particulier tous les organismes de collecte statistique, les chambres syndicales et les directeurs d'usines qui nous ont permis de réaliser cette étude.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I - RECENSEMENT DES UTILISATIONS DE BASSES CALORIES

11. Utilisations industrielles

111. Classification par usages

112. Résultats de l'enquête par branches

12. Le logement

13. L'agriculture

II - INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAUX CHAUDES

21. Géothermie

22. Centrales thermiques

23. Effluents industriels

24. Transport de l'eau chaude

III - DEVELOPPEMENT DES "BOURSES D'EAUX CHAUDES"

31. L'attitude des protagonistes

32. Conditions à réunir

33. Panoramas régionaux

CONCLUSION

INTRODUCTION

Le sujet des "bourses d'eaux chaudes" est assez nouveau pour qu'on s'interroge sur ses origines. Certes il y a eu dans le passé un certain nombre de réalisations, mais dans des cas très particuliers. Ainsi, lorsque le maître de forges possédait les logements de ses ouvriers, les hôpitaux et les écoles, il n'y avait guère d'obstacle à un chauffage à partir de l'usine.

Mais avec le pétrole bon marché des années soixante, il n'était plus question de continuer dans cette voie. La crise du pétrole de 1973 a entraîné une révision difficile des habitudes antérieures. A une relative facilité succède un effort électro-nucléaire qui doit réduire notre dépendance vis-à-vis de l'étranger en 1985 ; une attention accrue est portée au développement d'énergies dites nouvelles (géothermique, éolienne, solaire), et pour le court terme on limitera la consommation par des investissements visant à économiser l'énergie.

Parallèlement, le problème des rejets thermiques des grosses centrales nucléaires devient préoccupant du point de vue des conséquences sur l'environnement. D'où l'idée de supprimer ces rejets en valorisant les calories produites. Mais alors, pourquoi ne pas récupérer aussi tous les effluents industriels qui atteignent des températures supérieures ?

On peut aussi ressentir le besoin d'une étude sur ce sujet à partir de considérations sur les ressources géothermiques de la France. Ces ressources sont en général à un niveau de température compris entre 50° et 100°. Si elles couvrent de vastes zones dans les bassins parisien et aquitain, en Alsace et en Limagne, certaines régions importantes comme le Nord, la Basse-Seine ou la métropole lorraine en sont dépourvues. Dans la mesure où l'intérêt de la géothermie est reconnu en région parisienne, il est normal de chercher des ressources en eaux chaudes équivalentes dans les régions pauvres en géothermie. Ces ressources ne peuvent être que les rejets industriels.

L'utilisation des basses calories de toute origine est en premier lieu liée au secteur résidentiel et tertiaire. Mais c'est sur le secteur industriel que nous avons porté la plus grande attention. En effet, on sait calculer avec précision les besoins du logement et on connaît assez bien leur évolution. Au contraire, on sait encore fort peu de choses sur les besoins industriels, qui sont bien plus variés. Or, l'industrie présente par rapport au logement l'avan-

...

tage de consommer toute l'année, avec un taux de charge élevé. Il importe donc de recenser les industries qui pourront constituer des clients intéressants dans le cadre des "bourses d'eaux chaudes".

Le coeur de notre étude a eu pour but un recensement partiel de ces industries. Nous avons ensuite examiné sous plusieurs angles la possibilité de mettre en place des marchés d'eaux chaudes et de surmonter les divers obstacles économiques ou structurels.

...

I - RECENSEMENT DES UTILISATIONS DE BASSES CALORIES

11. UTILISATIONS INDUSTRIELLES

111. Classification des consommations industrielles

En dehors du chauffage des habitations et des serres, de nombreux processus industriels font intervenir de l'eau entre 40° et 95° ou de la vapeur qui se condense.

On peut les classer en diverses catégories selon le niveau thermique :

1) de 40° à 95°

a) lavages (industries de la laine, des teintures et apprêts, blanchisseries, usines de pâte à papier),

b) maintien en température (chocolaterie, photographie, traitement de surfaces, ...),

c) pasteurisation (produits alimentaires).

2) de 110° à 150° (vapeur)

stérilisation (produits pharmaceutiques et alimentaires).

3) processus d'évaporation et de séchage

a) évaporation à multiples effets (fabrication de sucre, de pâte à papier, de lait concentré, ...),

b) séchage (textiles, papiers-cartons, pâte à papier, lait en poudre, blanchisseries),

c) lyophilisation (produits alimentaires et pharmaceutiques).

REMARQUES

1 a - lavages

L'eau chaude à 90° est le plus souvent obtenue par barbotage de vapeur ; or il est possible de récupérer près de 60 % des calories d'un lavage par un échangeur à contre-courant et en installant un bac de stockage si les besoins sont intermittents ; le reste des calories serait fourni par apport extérieur d'eau chaude. Le lavage des installations à eau tiède est souvent effectué par les condensats d'évaporation (industrie laitière) ; dans quelques cas cependant il nécessiterait un appoint d'eau chaude de l'extérieur.

...

1 b - maintien en température

Il est en général satisfait par apport de vapeur ; il pourrait l'être par de l'eau chaude mais l'installation serait plus coûteuse. Etant donné la faible consommation énergétique de ce poste, l'investissement sera en général trop élevé.

1 c - pasteurisation

La pasteurisation des produits alimentaires (70° à 90°) devrait consommer peu d'énergie si l'on récupérait les calories contenues dans le produit pasteurisé chaud au lieu de le refroidir en pure perte. Le principe est le même que pour le lavage et les gains sont comparables.

1 d - chauffage, préchauffage

L'eau chaude doit être utilisée à la place de la vapeur chaque fois que le niveau thermique le permet. Citons notamment les besoins en eau d'appoint des chaudières, dus aux pertes des circuits, représentant parfois jusqu'à 20 % des besoins totaux en eau. On réaliserait dans les industries concernées une économie de l'ordre de 1 % sur les combustibles brûlés sous chaudière si de l'eau chaude servait comme appoint.

2 - stérilisation

La stérilisation nécessite des températures trop élevées pour que l'eau chaude puisse satisfaire les besoins ; le rendement est d'autre part médiocre ce qui incitera sans doute les producteurs à utiliser l'électricité (qui a l'avantage de préserver le goût d'origine des produits alimentaires). Comme les condensats vapeur sont récupérés et renvoyés à la chaudière, ce processus industriel n'offre pas de débouchés pour le marché de l'eau chaude.

3 a - évaporation

Elle constitue, avec le séchage, un poste important pour la consommation d'énergie. L'évaporation est dite à multiples effets car la vapeur produite dans un évaporateur sert à chauffer le suivant. L'écoulement est assuré par chute de pression entre chaque évaporateur et par un condenseur en fin de chaîne. Le nombre n d'effets est un compromis entre un investissement lourd et une économie d'énergie intéressante ; (le coût d'investissement croît comme kn et la consommation d'énergie décroît approximativement comme $\frac{c}{n}$). L'optimum se situe entre 3 et 6 effets.

...

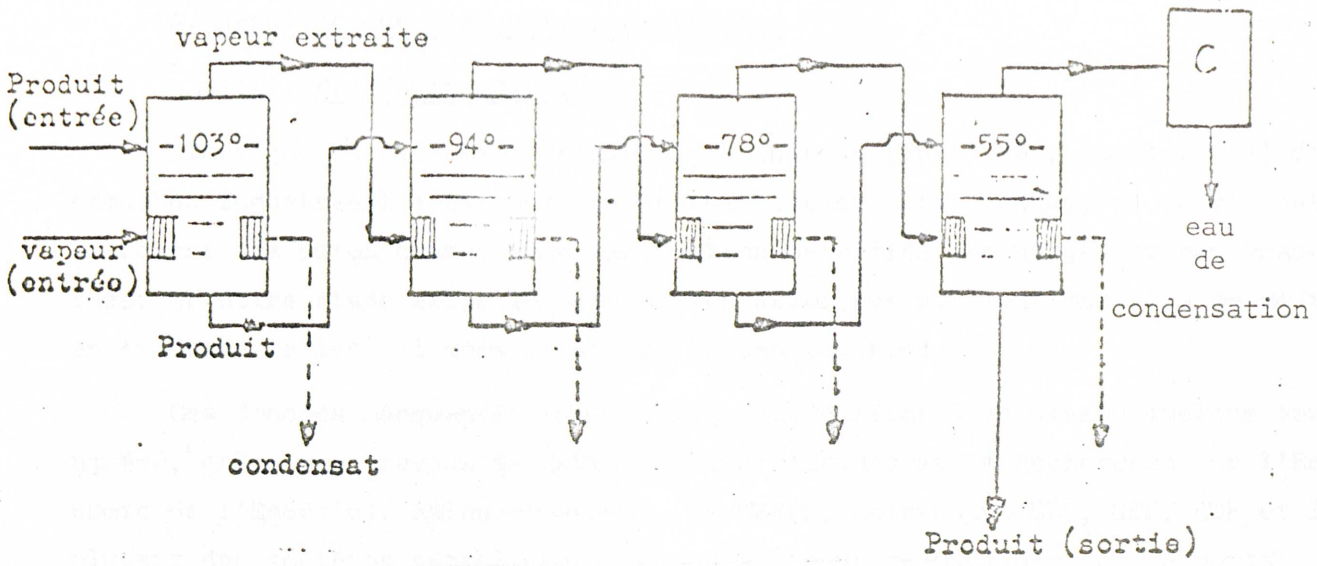


schéma d'un évaporateur à 4 effets

L'évaporation fournit environ n fois plus de condensats qu'elle n'utilise de vapeur chaudière. C'est un processus intéressant lorsque les condensats trouvent une utilisation à l'intérieur de l'usine. Sinon l'eau chaude en excès devrait servir à combler les besoins du voisinage.

3 b - séchage

Un paragraphe spécial est consacré en annexe à ce processus étant donné l'importance de la consommation énergétique qu'il entraîne et le mauvais rendement avec lequel il est appliqué. Le séchage pourrait être aussi bien producteur d'eau chaude (récupération des calories de l'air humide) qu'utilisateur (préchauffage de l'air de séchage). Il est cependant en général plus satisfaisant d'installer un mécanisme interne de recyclage.

3 c - lyophilisation

La lyophilisation comporte une phase de réfrigération (- 40°C) et deux phases de séchage. Le vide très poussé (0,01 torr) permet d'utiliser des températures de l'ordre de 40°. Les calories pourraient être fournies par l'eau chaude mais les temps de chauffage seraient longs.

...

112. Résultats de l'enquête par branches

1121. Procédure suivie

Alors que la consommation globale d'énergie (fuel, gaz, électricité) des branches industrielles est une donnée relativement bien connue, il en va tout autrement dès qu'on cherche une ventilation détaillée par usages et par branches. Or notre étude exige la distinction selon les utilisations afin de mettre en évidence celles qui consomment des basses calories.

Ces données manquantes semblent en fait exister à un niveau quelque peu agrégé, grâce aux travaux du CEREN (Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Economie de l'Energie). Malheureusement, le CEREN, comprenant EDF, GDF, CDF et la plupart des sociétés pétrolières, ne pouvait nous communiquer ses rapports d'enquête de branche, réservés à ses membres.

Devant l'ignorance des autres organismes de statistiques consultés (INSEE, BIPE), ainsi que la lenteur avec laquelle se mettaient en route les visites approfondies imposées par l'arrêté ministériel du 20 mai 1974 (l'arrêté du 7 novembre 1974 imposait la visite avant le 1er mars 1975 seulement pour les établissements ayant consommé plus de 10 000 tonnes de fuel lourd en 1973), il fallait se résoudre à mener directement une enquête auprès des industriels ou se contenter d'évaluations hasardeuses.

L'enquête, concentrée géographiquement sur les départements du Nord et de la Seine et Marne, fut menée de janvier à mai 1975 avec les étapes suivantes :

- sélection des branches intéressées à partir de la bibliographie rassemblée,

- prise de contact systématique par lettre, puis entrevue, avec les responsables des chambres syndicales,

- établissement d'une liste d'usines à contacter à partir des fichiers des Agences de Bassin, des Arrondissements Minéralogiques et des éléments fournis par les chambres syndicales,

- envoi de questionnaires détaillés aux établissements industriels,

- visite d'une vingtaine d'usines avec introduction par l'Arrondissement Minéralogique ou la chambre syndicale,

...

- exploitation des résultats,

- envoi aux industriels d'une fiche de synthèse présentant nos conclusions relatives à leur branche.

La mise en oeuvre et l'achèvement de cette enquête délicate ont représenté les trois quarts du temps consacré à ce dossier. Rien d'étonnant quand on sait le peu d'intérêt que manifestent les industriels à l'égard des questionnaires de toute origine (un taux de réponse de 10 % est une vraie performance). Il fallait donc les relancer par un coup de téléphone, une lettre de rappel (sous enveloppe du MIR) et enfin une visite de l'usine si elle en valait la peine.

1122. Quelles questions poser ?

Le sujet de notre étude - Peut-on développer un marché des basses calories ? - paraît exclure du champ de l'enquête toutes les opérations internes à l'usine. Seuls importent les effluents chauds de certaines usines et les besoins d'autres usines. Celà est vrai dans l'instantané. Mais une étude même à court terme doit tenir compte des possibilités d' "auto-fourniture d'eau chaude", c'est-à-dire de recyclage de calories au sein d'une même usine, ce qui complique singulièrement le problème.

Nous sommes alors conduits à poser sur chacun des appareils consommateurs d'énergie des questions si précises que peu d'industriels sont à même de répondre à bref délai.

D'autre part, ils ne sont guère motivés pour lancer dans leurs ateliers une campagne systématique de mesures de débits et de température. Dans certains cas, quelques chiffres peuvent être tirés du dernier rapport de visite de l'APAVE. Lorsque l'installation thermique a été modernisée récemment en grande partie, les études technico-économiques préalables sont alors aptes à fournir l'essentiel des renseignements.

Enfin nous avons opté dans notre questionnaire pour une présentation claire des renseignements visés, en renonçant aux voies détournées ou biaisées, en insistant sur l'aspect original du problème étudié pour le distinguer nettement des autres questionnaires sur l'énergie et en faisant miroiter la promesse d'une gratuité de l'eau chaude.

...

1123. Validité des résultats

Dans la plupart des cas, notre méthode a consisté :

- à partir des données quantitatives plus ou moins approchées mais complètes, obtenues dans l'usine que nous avions visitée, pour évaluer les possibilités de fourniture de basses calories recyclées et externes,

- à contrôler sur quelques points au niveau des consommations spécifiques globales d'eau et d'énergie, tous usages confondus, la cohérence des chiffres de base avec les statistiques connues (CEREN),

- à recouper encore d'autres points, notamment les niveaux de température, grâce aux résultats des questionnaires et à d'autres enquêtes (cabinet TETRA, Toulouse).

Cette méthode peut sembler hasardeuse car :

- chaque usine étant un cas particulier, une étude basée sur un nombre d'usines aussi restreint ne peut être significative. Cela est particulièrement vrai dans la branche des Teintures et Apprêts où les températures et volumes de bain dépendent de la nature du textile et de sa présentation,

- l'âge de l'usine ainsi que sa taille sont d'autres facteurs très importants de dispersion.

Nous la tolérons cependant pour plusieurs raisons :

- le résultat final cherché n'est nullement un chiffre précis. A quoi bon connaître à 1 000 m3 près le besoin potentiel d'eau chaude de telle branche ? Il faut également savoir pour chaque établissement si, oui ou non, la fourniture d'eau chaude est possible. Or, cette question est si complexe (facteurs géographiques, économiques) que seule une évaluation très vague peut être fournie ;

- en outre, les usines prises en référence sont de grosses unités de la branche. Elles en constituent, par leur production, une part non négligeable ;

- les recoupements avec les statistiques de branche sont très satisfaisants.

...

1124. Commentaire sur les résultats obtenus
(voir tableau et fiches à la fin de cette section)

Quelques constatations s'imposent :

a) L'auto-fourniture d'eau chaude est un phénomène important qui pourra réduire l'étendue des transferts d'eau chaude d'une usine à l'autre. La raison technique en est simple. Hormis le cas du chauffage des locaux, l'eau chaude n'est que rarement utilisée comme porteur de calories, cela est le rôle de la vapeur ou de l'eau surchauffée. Elle sert en fait de milieu solvant (teintures, lavages, cuissons). Dès que le milieu solvant est jugé épuisé, on le rejette à l'égout, à la température initiale ou presque. Si on peut éviter de mélanger cette eau avec des eaux froides de rinçage, il est relativement facile de récupérer les calories, d'où un taux de recyclage pouvant atteindre 60 % et une économie de fuel dépassant 20 % dans certains cas.

b) Les niveaux de température descendent rarement en dessous de 60°C.

Les cas limites où on peut accepter des calories à 60°C sont :

- la margarinerie, pour le maintien en température de certaines huiles (ex : coprah),
- le lavage de la laine,
- la tannerie,
- la malterie (séchage du malt par de l'air à 60° environ),
- dépôts et polissages électrolytiques,
- les terminaux méthaniers.

En général, une température de 80° à 90° est nécessaire. C'est en effet la température usuelle des eaux de chauffage et de lavage (dites sanitaires), ainsi qu'un niveau de départ convenable pour les eaux de teinture et de cuisson.

c) Dans les branches étudiées, la part des basses calories dans la dépense d'énergie thermique est importante. Elle peut aller jusqu'à 100 % (malterie, margarinerie) et ne descend pas en dessous de 20 %. Mais il s'agit là d'un marché potentiel. La malterie visitée n'utilisait qu'un peu d'eau chaude, pour le chauffage des bureaux, alors que la touraille était équipée de brûleurs à gaz. La margarinerie n'utilisait que de la vapeur. Cela est la situation courante.

...

La situation est plus favorable à une conversion à l'eau chaude, lorsque les appareils consommateurs de basses calories sont effectivement alimentés par de l'eau chaude, laquelle est préparée en chaufferie à partir de vapeur ou d'eau surchauffée. Ceci peut être le cas en laiterie ou dans les usines textiles, ainsi que dans les usines de conserveries et de salaisons dotées d'installations récentes.

d) La localisation des établissements varie nettement selon la branche. Certains sont traditionnellement implantés près des consommateurs, dans les agglomérations, d'autres dans l'espace rural où ils collectent leur matière première. Ce dernier type d'implantation est a priori moins propice à une éventuelle fourniture de calories externes, sauf par la géothermie.

En font partie :

- les laiteries fabriquant du beurre, du fromage et de la poudre de lait,
- les sucreries et distilleries,
- la plupart des conserveries de légumes.

Dans l'autre catégorie figurent :

- les brasseries et malteries,
- les usines de salaisons et conserves de viandes et poissons,
- les huileries et margarineries,
- les laiteries fabriquant des produits frais (yaourts).

Enfin les ateliers textiles sont situés le plus souvent dans une agglomération où ils trouvent une main d'oeuvre abondante.

e) Il peut exister dans toute usine, pourvu qu'elle possède un générateur de vapeur et quelle que soit sont activité de fabrication, une utilisation générale d'eau chaude, qui est le préchauffage de l'eau d'appoint du générateur (eau de compensation des purges et des condensats non récupérés) ou même le rechauffage des retours de condensats s'ils sont particulièrement refroidis. Nous avons préféré ne pas en tenir compte car, nous semble-t-il, ceci constitue un gaspillage qu'il faut éliminer par des moyens appropriés, à savoir :

...

- conditionnement et traitement correct des eaux d'alimentation du générateur, afin de réduire au minimum le débit de purge,

- récupération systématique des condensats, en évitant l'évaporation à l'atmosphère, en supprimant au maximum les barbotages de vapeur,

- refroidissement de l'eau de purge afin de préchauffer l'eau d'appoint grâce à un échangeur.

Si ces conditions sont remplies, les retours de condensats doivent être à plus de 80°C (donc, pas de réchauffage) ainsi que l'eau d'appoint (pas de préchauffage).

Hélas, force est de constater que bon nombre d'usines, aussi bien alimentaires que textiles, sont encore loin de donner cet exemple. On en arrive à des taux de purge de plus de 10 % et à des taux de retour de condensats de 50 % alors qu'il n'y a aucune consommation de vapeur "vive".

f) Le caractère saisonnier d'une activité industrielle est d'une grande importance. Ainsi, une laiterie dont l'activité se réduit en hiver et se gonfle au printemps et en été peut améliorer sensiblement le taux de charge d'une installation destinée au chauffage de logements, en résorbant le creux estival. Il en est de même pour les conserveries de légumes. Quant aux confitureries elles parviennent à étaler leur activité sur toute l'année en conservant les fruits par le SO_2.

Le taux de charge d'un chauffage de logements isolés convenablement en région parisienne varie entre 2 000 et 2 400 heures par an. Par contre, une utilisation purement industrielle d'eau chaude conduirait à un taux de charge de l'ordre de 5 000 heures par an. A même débit horaire maximal le volume annuel consommé sera donc à peu près double dans une utilisation industrielle. Autrement dit, pour un même investissement en échangeurs et tuyauteries, le tonnage annuel de fuel économisé peut être doublé.

g) La liste présentée dans le tableau ci-dessous ne prétend évidemment pas à l'exhaustivité. N'oublions pas que l'enquête a été menée dans deux départements seulement. Par exemple, nous n'avons pu étudier les industries des jus de fruits concentrés, des bouillons et potages, des cafés solubles, de l'abattage dans lesquelles, nous en sommes sûrs, il y a utilisation d'eau chaude.

...

D'autre part, les branches de la féculerie et de l'amidonnerie nous sont apparues intéressantes, mais nous n'avons pu en approfondir l'étude. Il serait bon de combler cette lacune.

Les industries de chimie fine (pharmaceutiques, cosmétiques) sont effectivement des utilisatrices d'eau chaude pour des distillations, concentrations et maintiens en température. Mais les besoins des établissements sont trop réduits pour qu'il soit rentable de les alimenter isolément. De plus, les productions sont variées et le recyclage interne de calories toujours possible. Notons enfin que les dépenses d'énergie y représentent une part de la valeur ajoutée inférieure à 1 %. D'autres activités parachimiques, telles les fabrications d'enzymes et de protéines artificielles, se font à moins de 100°, mais elles exigent essentiellement un refroidissement car ces cultures biologiques sont exothermiques.

Les traitements de surface des métaux (galvanoplastie), demandent parfois des bains d'eau chaude (60° par exemple). Mais là encore, les volumes concernés sont très faibles et la profession est disséminée en une profusion de petits ateliers. Dans les industries de matériaux de construction, on peut noter que la prise du béton préfabriqué s'effectue à une température de 80° - 90°.

...

FICHES DE SYNTHESE PAR BRANCHES

Produit	Taille de l'unité de référence	Economie d'ordre interne de basses calories en tef/an	Economie par apport externe de basses calories en tef/an	Volume d'eau chaude annuel en m3	Température en degrés Celsius	Economie potentielle par apport externe au niveau de la branche en tef/an
Yaourts et entremets lactés	500 000 hl/an (lait)	600	350	100 000 m3	85 - 90	3 500
Chocolat	12 000 t/an	300	800	600 000 m3	90	12 000
Margarine	100 000 t/an	200	1 600	500 000 m3	80 - 90	2 700
Malt	500 000 q/an	500	2 500	500 000 m3	85 - 90	25 000
Bière	1 000 000 hl/an	150	500	110 000 m3	85 - 90	11 000
Levure (avec concentration des moûts)	15 000 t/an	400	600	120 000 m3	85 - 90	3 000
Conserves (plats cuisinés)	16 000 t/an	300	250	75 000 m3	85	4 000
Textile (teinture et apprêts)	10 000 t/an	5 000	2 000	500 000 m3	85 - 90	80 000
Laine (lavage)	10 000 t/an	1 875	300	135 000 m3	50	2 500
Textile (blanchisserie)	1 100 t/an	980	600	120 000 m3	90	12 000
Papier	4 500 t/an	3 000	180	50 000 m3	85	18 000
Lait en poudre	1 350 000 hl/an	1 000	300	150 000 m3	90 - 100	4 500
Confiture de fruits	9 000 t/an	250	200	80 000 m3	95 - 100	2 000

FABRICATION DES PRODUITS LAITIERS

Unité de référence : 450 000 litres de lait par jour.

Production : 15 tonnes de fromage à pâte pressée, 100 000 litres de lait stérilisé, 30 000 kg de lait en poudre.

I - REMARQUES GENERALES

Les principaux postes de consommation d'énergie calorifique en laiterie sont la pasteurisation (70° - 90°), la stérilisation (120° - 150°), l'évaporation sous vide (80°), le séchage (180° - 220°) et le chauffage des fromages à pâte cuite (50°).

II - ECONOMIES REALISABLES

1) Economies internes réalisables

- pasteurisation : amélioration de l'échangeur lait chaud - lait froid. Gain de 450 kg fuel/jour à 2 500 kg fuel/jour dans le cas d'absence totale de cet échangeur ;

- récupération des calories de l'air chaud après séchage et recyclage éventuels de cet air ; ces calories peuvent aussi servir à la stérilisation. Gain approximatif : 2 500 kg fuel/jour ;

- récupération des condensats à 60° de l'évaporation pour divers usages : chauffage des locaux, lavages. Gain : entre 400 et 1 200 kg fuel/jour.

2) Economies réalisables par apport externe d'eau chaude à 80°

Elles sont limitées car elle ne concernent qu'une plage de température restreinte (40° - 80°). En effet, l'industrie laitière est productrice d'eau à 40°. Elles sont en concurrence avec les économies internes. La principale utilisation est le préchauffage de l'air des séchoirs à 70°. Economie possible : 1 000 kg fuel/jour.

MARCHE POTENTIEL : 500 m3 d'eau chaude par jour. Dans des unités de production ne comportant pas de fabrication de lait en poudre, l'apport externe est plus intéressant car le recyclage interne des calories de l'évaporation ou du séchage n'existe pas.

FABRICATION DE YAOURTS ET ENTREMETS A BASE DE LAIT

Unité de référence : 500 000 hl de lait par an.

Consommation de fuel : environ 2 000 tef/an.

I - REMARQUES GENERALES

Les trois postes de consommation de calories sont : le traitement du lait (pasteurisation, stérilisation), le lavage sanitaire et le chauffage des locaux.

L'ensemble est donc un gros consommateur d'eau chaude.

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) par récupération interne de basses calories : jusqu'à 600 tef/an

a - récupération des calories des effluents de lavage, dans le but de préchauffer l'eau de lavage (par un échangeur à plaques) : 350 tef/an, soit 140 000 F/an.

b - préparation d'eau à 80°C grâce au refroidissement des produits autres que les yaourts après stérilisation (aménagement des stérilisateurs et installation d'une bâche d'eau à 80°). Gain approximatif : 200 tef/an, soit 80 000 F/an.

c - préchauffage du lait à 20° - 22° avant pasteurisation grâce aux effluents à 25° des condenseurs frigorifiques. Gain : 50 tef/an, soit 20 000 F/an

2°) par apport externe de calories : 350 tef/an

La fourniture d'eau chaude à 85° permettrait de préparer l'eau de lavage (grâce à un échangeur à plaques et une bâche de stockage). Si les mesures internes signalées en 1°) a - ont été prises, l'apport externe représentera 350 tef/an, soit 140 000 F/an. Sinon, le gain sera de 700 tef/an, soit 280 000 F/an.

MARCHE POTENTIEL pour l'eau chaude externe (d'origine géothermique ou industrielle) :

de l'ordre de 100 000 m3 par an d'eau à 85°.

FABRICATION DU CHOCOLAT

Unité de référence : 50 tonnes/jour.

Consommation de fuel : 8,4 tonnes/jour.

I - ECONOMIES INTERNES REALISABLES

Récupération des calories de l'air chaud sortant de la torréfaction (90°) ; les calories pourraient être utilisées pour le chauffage des locaux ou pour le conchage. Gain : 1,2 tonne de fuel/jour.

II - ECONOMIES REALISABLES PAR APPORT D'EAU A 90°

- maintien en température du conchage (70 à 85°) en remplacement de la vapeur de la chaudière. Gain : 1,3 tonne de fuel/jour,

- chauffage des locaux. Gain : 2 tonnes de fuel/jour,

- appoint d'eau chaude à la chaudière (5 %). Gain faible (0,03 tonne de fuel/jour).

MARCHE POTENTIEL pour l'eau chaude : 600 000 m3/an.

III - AUTRES ECONOMIES POSSIBLES N'UTILISANT PAS L'EAU CHAUDE

- pompes à chaleur, ondes électriques pour la torréfaction,

- turbines à contre-pression pour la production d'électricité.

SUCRERIES

Unité de référence : 450 tonnes de sucre par jour pour 3 250 tonnes de betteraves traitées.

I - PRINCIPAUX POSTES ENERGETIQUES

- diffusion : eau à 75°
- réchauffage de 25° à 75° après diffusion
- réchauffage de 70° à 90° après chaulage
- carbonatation et filtration : 95°
- évaporation à 5 effets (120°, 110°, 105°, 90°, 65°)
- cuisson sous vide (cristallisation) : 80°
- séchage : 65°
- chauffage des locaux : 80°
- électricité (turbine à contre-pression) 400°, 36 bars, 21 kwh par tonne de betteraves (3,5 kg de fuel),
- utilisation du coke dans les fours à chaux : 4,2 kg/tonne
- déshydratation des pulpes de betteraves de 18 % à 91 % de teneur en matière sèche : 16 kg de fuel par tonne de betteraves.

Consommation totale par tonne : 33 kg de fuel
(+ 16 kg de fuel pour déshydratation + 4,2 kg de coke).

II - REMARQUES

Hormis l'évaporation, les besoins calorifiques se situent en dessous de 100°.

L'utilisation des effluents de l'évaporation suffit à satisfaire les besoins à moindre niveau thermique : les condensats du 1er corps d'évaporation retournent à la chaudière, ceux du 2ème corps alimentent le diffuseur, ceux du 3ème corps le cristalliseur, ceux du 4ème corps le séchage.

...

III - ECONOMIES REALISABLES

a) par récupération interne .

- recyclage des fumées du four de séchage des pulpes, gain : 10 tonnes de fuel par jour,

- recyclage de calories perdues (vapeur du cristalliseur, condenseur), gain : 5 tonnes de fuel par jour.

b) par apport externe d'eau à 80°

- chauffage des locaux : environ 4 tonnes de fuel par jour.

LA MARGARINERIE

Taille de l'unité de référence : 100 000 tonnes/an

Consommation de fuel : 1 800 tef/an.

I - REMARQUES GENERALES

Tous les usages de chaleur sont à basse température (maintien en température des huiles stockées, préparation des eaux de lavage et de fabrication, chauffage des locaux). L'eau chaude peut donc remplacer avantageusement la vapeur dans toute l'usine.

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) par récupération interne de basses calories : 200 à 250 tef/an

a - la substitution d'eau chaude à 90° en circuit fermé à la vapeur (dont les condensats sont plus ou moins bien récupérés) doit permettre une économie de l'ordre de 200 tef/an, soit environ 80 000 F/an.

b - éventuellement, par l'installation d'une petite pompe à chaleur utilisant l'eau à 25 - 30° issue des condenseurs frigorifiques comme source froide, préparation de l'eau à 45 - 50° incorporée dans la margarine. Gain : 50 tef/an, soit 20 000 F/an.

2°) par apport externe de basses calories : 1 600 tef/an, soit 650 000 F/an.

Il est clair que la totalité des besoins pourraient être couverts par la fourniture d'eau chaude à 80 - 90°, refroidie à 50 - 60°, ce qui exigerait un volume de 500 000 m3 par an environ.

MARCHE POTENTIEL

Le débouché pour de l'eau chaude externe à 80 - 90° (d'origine géothermique ou industrielle) est de l'ordre de 500 000 m3 par an.

LA MALTERIE

Taille de l'unité de référence : 500 000 quintaux par an.

I - REMARQUES GENERALES

Le poste principal de consommation d'énergie thermique est le touraillage (séchage du malt et coup de feu).

Le chauffage de l'air de séchage se prête très bien à l'utilisation d'eau chaude.

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) par récupération interne de basses calories : 500 tef/an, soit 200 000 F/an.

Utilisation de l'air de refroidissement des condenseurs frigorifiques pour le touraillage.

2°) par apport externe de basses calories : 2 500 tef/an (ordre de grandeur), soit 1 000 000 F/an.

Un débit de 100 m3/h d'eau à 85° suffirait pour procurer plus de la moitié des besoins de chauffage de l'air.

MARCHE POTENTIEL : une malterie de 500 000 quintaux par an est susceptible d'utiliser au moins 500 000 m3 par an d'eau à 85° (refroidie en moyenne à 35°), de provenance géothermique, de rejet de centrale ...

FABRICATION DE LA LEVURE

Taille de l'unité de référence : 15 000 t/an de levure pressée.

I - REMARQUES GENERALES

Nous nous occupons ici de l'activité de fabrication de levure au sens strict.

Nous laissons de côté la concentration des moûts que toutes les usines ne pratiquent pas encore, ainsi que la distillation des vinasses.

Cette industrie est largement excédentaire en très basses calories. Par contre la concentration des moûts, grosse consommatrice de calories, pourrait constituer un débouché pour de l'eau chaude externe.

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) par récupération interne : environ 400 tef/an

a - par amélioration du système de refroidissement des cuves de fermentation à l'aide d'échangeurs à plaques : 75 tef/an, soit 30 000 F/an.

Cette amélioration accroît en outre sensiblement la productivité de l'usine.

b - par récupération des calories de la mélasse après stérilisation (grâce à une plus grande dilution) : 150 tef/an, soit 60 000 F/an.

c - par un refroidissement poussé (à 40°) de l'air insufflé dans les cuves de fermentation : 180 tef/an, soit 72 000 F/an.

2°) par apport d'eau chaude externe : 600 tef/an, soit 240 000 F/an.

Il s'agit de réchauffer les moûts avant concentration. Ceci peut nécessiter 120 000 m3/an d'eau à 85 - 90° utilisée dans un échangeur à plaques.

MARCHE POTENTIEL

Une levurerie de 15 000 t/an pourrait évacuer 450 000 m3/an d'eau à 28 - 30° et utiliser 120 000 m3/an d'eau à 85 - 90°.

BRASSERIE

Taille de l'unité de référence : 1 000 000 hl/an, 4 000 tef/an.

I - REMARQUES GENERALES

Les ateliers de fabrication de la bière sont excédentaires en basses calories.

Leur excédent pourrait être fourni à la canetterie pour le lavage des bouteilles.

Globalement, l'ensemble de l'usine semble susceptible d'utiliser des basses calories d'origine externe (en quantité limitée).

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES (à court terme)

1°) par récupération interne de basses calories : 150 tef/an, soit 60 000 F/an.

Condensation des vapeurs émises à la cheminée de la chaudière de cuisson pour "surchauffer" à 80°C une part de l'eau de lavage des bouteilles.

2°) par apport externe de basses calories : 450 à 500 tef/an, soit près de 200 000 F/an.

a - apport d'eau à 85° permettant grâce à un échangeur de "surchauffer" l'eau sodée du lavage de bouteilles. Gain : 250 tef/an.

b - seconde utilisation en cascade de l'eau précédente, pour le chauffage des locaux, chaque fois qu'il en est besoin. Gain : 100 à 150 tef/an.

c - pour la pasteurisation de la bière et la fourniture intégrale du chauffage même par temps froid, il faut encore 120 m3/jour d'eau externe à 85°. Economie réalisable : 100 tef/an.

MARCHE POTENTIEL

La fourniture d'eau chaude externe à 85° (géothermie, rejets de centrales et d'usines) peut atteindre 110 000 m3/an.

BLANCHISSERIE

Unité de référence : 11 000 tonnes de linge par an.

I - REMARQUES GENERALES

Dans une blanchisserie, le principal poste consommateur d'énergie est le séchage à air chaud (115°) couvrant 90 % des besoins totaux, le lavage et le trempage couvrant les 10 % restants.

Les besoins en eau pour le lavage et le rinçage s'élèvent à 150 m3/h, à raison de 9 h par jour.

Consommation annuelle de fuel : 2 750 tonnes (production de vapeur à 5 bars, 150°C).

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) Récupération interne

a - Les eaux de lavage ne doivent pas être mélangées aux eaux de rinçage ni être renvoyées directement à l'égout. Par un échangeur à contre-courant on peut préchauffer jusqu'à 70° les eaux de lavage par les rejets d'eau (90°) du lavage précédent. On peut ainsi économiser 60 % de l'énergie nécessaire au lavage. Gain : 180 tonnes de fuel par an.

b - Amélioration du système de séchage ; le linge humide, après centrifugation, contient encore de l'eau pour la moitié de son poids. La consommation de vapeur de séchage est de 3 kg de vapeur par kg d'eau contenu dans le linge. Ce rendement médiocre pourrait être amélioré par recyclage des calories de l'air sortant, humide et chaud, ou par l'emploi de pompes à chaleur. Gain : 800 tonnes de fuel par an.

2°) Apport externe

Le chauffage des locaux est réalisé par la vapeur de la chaudière ; on peut envisager le chauffage par eau chaude à 80°. Gain : 480 tonnes de fuel par an.

Si on dispose d'eau chaude à 90°, on peut assurer la fourniture du restant des calories nécessaires au lavage. Gain : 120 tonnes de fuel par an.

MARCHE POTENTIEL de l'eau chaude à 90° : 200 000 m3 par an.

...

BLANCHIMENT, TEINTURES ET APPRETS

Taille de l'unité de référence : 10 000 t/an.

Consommation d'énergie (sauf électricité) 15 à 25 000 tef/an (selon la nature du produit traité).

I - REMARQUES GENERALES

Cette industrie peut réaliser des économies substantielles de combustibles par récupération des basses calories des effluents des bains. Ce recyclage ne pouvant pas être parfait, un appoint d'eau chaude externe est très intéressant.

En outre, la consommation des séchoirs à air chaud, que nous estimons de 15 % à 30 % de la consommation de calories, peut être notablement réduite.

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) par récupération interne de basses calories : 5 000 tef/an.

a - récupération des calories des effluents chauds des bains pour le préchauffage de l'eau de remplissage des bains : 3 000 tef/an (1 200 000 F/an).

b - recyclage d'air aux séchoirs, éventuellement installation de pompes à chaleur : 2 000 tef/an (800 000 F/an).

2°) par apport externe d'eau à 80 - 90°

De l'ordre de 50 litres par kg de textile au moins pour le chauffage de l'eau de remplissage des bains : 2 000 tef/an (800 000 F/an).

MARCHE POTENTIEL : pour de l'eau chaude externe à 85° (géothermie, rejets de centrale et d'usine) : 500 000 m3/an.

LAVAGE DE LA LAINE

Taille de référence : 10 000 t de laine lavée/an.

I - REMARQUES GENERALES

La plus grosse consommation de chaleur est due au séchage de la laine lavée (de l'ordre de 1 kg de fuel pour 10 kg de laine), sur lequel des économies sensibles sont réalisables.

II - ESTIMATION DES ECONOMIES TECHNIQUEMENT POSSIBLES

1°) par récupération interne de basses calories : 575 tef/an à court terme

a - par recyclage partiel de l'air de séchage : 500 tef/an, soit 200 000 F/an,

b - par recyclage des calories de l'air de séchage à l'aide d'une pompe à chaleur : 1 300 tef/an (520 000 F/an) (à moyen terme seulement),

c - par une meilleure récupération des calories des effluents de lavage ; environ 75 tef/an, soit 30 000 F/an.

2°) par apport externe d'eau chaude : 300 tef/an (120 000 F/an)

De l'eau à 50°C conviendrait pour chauffer l'eau alimentant les bacs de rinçage par échangeur à plaques (volume : 135 000 m3/an).

MARCHE POTENTIEL de l'eau chaude : 135 000 m3/an d'eau à 50°C (géothermie, rejets de centrales, d'usines, ...).

FABRICATION DE PAPIER A PARTIR DE PATE A PAPIER

Unité de référence : 45 000 tonnes de papier par an.

Consommation totale de fuel : 15 000 tonnes par an.

I - REMARQUES GENERALES

Dans la fabrication du papier-carton, c'est le séchage qui nécessite la quasi-totalité des besoins calorifiques. L'électricité fournit le complément des besoins énergétiques (700 kwh/tonne produits en général par une turbine à contre pression).

La vapeur produite à la chaudière à 450° et 35 bars se détend jusqu'à 2,5 bars environ. Le séchage utilise cette vapeur à 2,5 bars pour chauffer intérieurement les cylindres tournants; la teneur en eau est abaissée de 60 % à 5 % ; l'eau contenue dans le papier est vaporisée et l'air humide est renvoyé à la cheminée.

II - ECONOMIES INTERNES REALISABLES

Le séchage a un mauvais rendement (il faut environ 3 kg de vapeur pour évaporer 1 kg d'eau). Il serait souhaitable de recycler les calories de l'air chaud et humide et la chaleur latente d'évaporation de l'eau contenue dans cet air. Gain : 3 000 tonnes de fuel par an.

III - ECONOMIES EXTERNES REALISABLES PAR APPORT D'EAU A 80°

L'appoint en eau froide à la chaudière est de l'ordre de 20 %. Un approvisionnement en eau chaude permettrait d'économiser 42 th par tonne, soit 4 kg de fuel par tonne de papier. Gain total : 180 tonnes de fuel par an.

MARCHE POTENTIEL : 60 000 m3/an d'eau chaude à 85°.

AIR LIQUIDE

Unité de référence : 6 000 l/h d'oxygène liquide, 9 000 l/h d'azote liquide.

REMARQUES

Le seul besoin en eau pour la fabrication est le refroidissement des compresseurs ; caractéristiques : 500 m3 par jour passant de 18 à 44°, soit un besoin de 13.10^6 frigories/jour ; les calories sont éliminées au réfrigérant atmosphérique.

Récupération possible :

- interne : chauffage des locaux.

Gain : 470 tonnes de fuel par an.

12. L'UTILISATION DANS LE LOGEMENT

Nous étudierons en premier lieu les caractères propres des besoins de chauffage et d'eau sanitaire. Nous essaierons de dresser ensuite un inventaire du marché potentiel dans le secteur domestique.

121. Caractères des besoins domestiques

1211. Facteur de charge

Le principal besoin domestique, le chauffage, exige une puissance très variable, que l'on peut formuler par :

$$P = G.V. \sum(\sigma_r - \sigma_e)$$

$$\text{avec } \sigma_r = \sigma_i - \frac{P1 + A_v P_e}{G \times V} \qquad \text{(source COSTIC)}$$

G = coefficient volumique de déperditions (kcal/h/m3/deg)

V = volume chauffé (m3)

σ_i = température intérieure

σ_e = température extérieure

P_1 = chaleur gratuite interne (kcal/h)

P_e = puissance moyenne de rayonnement piégée à travers 1 m2 de vitrage

A_v = surface de vitrage (m2)

Nous étudierons au paragraphe suivant la possibilité d'agir sur G pour réduire la puissance consommée. C'est le terme $(\sigma_r - \sigma_e)$ qui nous intéresse ici, c'est-à-dire le terme qui est éminemment variable avec le temps.

En effet, σ_i et σ_e varient toutes deux indépendamment ; de plus, P_e dépend de l'ensoleillement.

A l'aide de chroniques météorologiques du site considéré (heure par heure), on peut calculer les degrés-heures annuels par la formule :

$$(\sigma_r - \sigma_e) \text{ pour } \sigma_r \geqslant \sigma_e$$

...

Plus simplement, pour une estimation rapide, il existe des tables de degrés-jours à C_r fixé. On peut ainsi calculer le facteur de charge, c'est-à-dire le nombre d'heures à la puissance maximale correspondant à la consommation annuelle. Sous nos climats (sauf en haute montagne), ce facteur ne dépasse pas 2 500 heures.

Cela est un handicap pour un système de chauffage à investissement lourd. Il convient alors d'utiliser ce système pour le chauffage de base, et d'assurer le chauffage de pointe par un système d'appoint (fuel, gaz ou électricité). On peut ainsi, avec 50 % de la puissance en base, fournir environ 80 % de l'énergie, et porter le facteur de charge du chauffage de base à plus de 4 000 heures.

Quant à la préparation de l'eau chaude sanitaire, elle consomme moins d'énergie que le chauffage (puissance : 0,5 th/h contre 10 th/h ; consommation annuelle : 3 000 th contre 20 000 th). Elle se prête mieux que le chauffage à l'emploi d'un système à investissement lourd, grâce à son facteur de charge élevé (5 à 6 000 heures). (Les variations de puissance demandée sont "lissées" grâce à un ballon-tampon).

1212. Exigences de confort et de régulation

Les exigences de confort conduisent généralement à surchauffer le logement (21, 22°C), ce qui laisse une marge de manoeuvre face aux brusques variations de température extérieure ou d'ensoleillement. C'est du moins l'habitude développée ces dernières années. L'inertie du mode de chauffage ne permettant pas une régulation rapide, on surchauffe et on refroidit si besoin est en ouvrant la fenêtre.

D'où l'avantage des chauffages à régulation individuelle et en particulier du "tout électrique", sur le chauffage collectif à régulation centralisée assise sur la température extérieure. Mais ce n'est pas le "tout électrique" qu'il faut vanter, c'est le principe de la régulation décentralisée, d'ailleurs imposé par le décret du 10 avril 1974 fixant les règles générales de construction. L'idéal serait de régler au plus juste à tout instant, en se basant sur la température intérieure de chaque pièce, afin d'obtenir le confort souhaité.

Un point fort important à nos yeux : régler la température à un niveau plus bas la nuit que le jour (de 1° à 2°). Ceci est compatible avec le confort et comporte deux avantages :

...

- économie de chauffage
- amélioration du facteur de charge (car la température extérieure est très généralement plus basse de nuit que de jour).

En tous cas, tout abaissement de température intérieure se traduira par une réduction des degrés-jours, ce qui est indiscutablement favorable, mais aussi par une chute sensible du facteur de charge. Or ce fait, qui est moins évident, tendra à décourager par ailleurs les investissements lourds (géothermie, pompe à chaleur).

1213. L'importance de l'isolation

Nous nous référons ici à l'étude menée par le CCUE (cf. Annales des Mines, déc. 74) qui démontrait que l'isolation optimale économiquement était largement supérieure à celle pratiquée. Cette étude a d'ailleurs servi de base à la réglementation du 10 avril 1974.

Pour un logement neuf construit selon les nouvelles normes, l'économie de chauffage serait de l'ordre de 50 % par rapport à un logement ancien de même type. On peut espérer également un renforcement de l'isolation des logements anciens (notamment ceux construits de 1965 à 1974).

A la limite, l'isolation peut conduire à la suppression du chauffage. Les chaleurs "gratuites" internes compensent alors les déperditions. C'est déjà le cas de certains immeubles de bureaux. Il se pose alors des problèmes aigus pour la régulation : refroidissement des lampes, contrôle de la chaleur solaire captée, climatisation en été. Ce degré de raffinement ne peut être transposé dans le secteur domestique.

Il convient de signaler deux faits :

- le renforcement de l'isolation des logements neufs aux nouvelles normes coûte moins de 1 000 F/tef économisée par an, soit moins que l'énergie électronucléaire.

Qui plus est, la situation antérieure était absurde, car on s'aperçoit avec le CCUE qu'un renforcement notable de l'isolation des logements collectifs conduit à une baisse de l'investissement, par le gain réalisé sur la puissance thermique installée. Pourquoi a-t-on attendu la crise du pétrole pour modifier les normes ?

...

- une isolation meilleure fera baisser la température de référence d'où une chute du facteur de charge. Même remarque qu'au paragraphe précédent.

122. Le parc de logements et son évolution

1221. Aujourd'hui

La France compte quelques 18 millions de logements, en construit de 5 à 600 000 par an, et démolit environ 200 000 logements vétustes chaque année. Il convient d'étudier la structure du parc actuel selon le type de chauffage. Nous en retenons que 18 % des logements bénéficient d'un chauffage collectif d'immeuble et que 46 % ne disposent pas de chauffage central (sans compter les résidences secondaires dans ce nombre).

La consommation d'énergie primaire des secteurs résidentiel et tertiaire s'élevait en 1973 à 56,5 M tep, près du tiers des besoins nationaux. Sur ce total, 33 M tep étaient consacrés au chauffage des logements et 5 M tep à la préparation de l'eau chaude sanitaire.

1222. En 1985

Compte tenu d'une amélioration de l'isolation et de la régulation dans les logements anciens du rythme de 600 000 logements par an, on peut arriver à une consommation de 84 M tep en 1985 (au lieu de 103 M tep prévus avant la crise du pétrole), représentant 35 % des besoins nationaux. La structure du parc de logements aura évolué sans aucun doute vers les immeubles à chauffage collectif. Les grands ensembles dont s'ornent de nombreuses ZUP édifiées à la fin des années 60 seront plus rares et feront place à de petits collectifs d'une vingtaine de logements ou à des maisons individuelles accolées. Il y aura d'ici à 1985 un développement important du tertiaire.

1223. Que pouvons-nous en conclure pour notre étude ?

Le secteur résidentiel et tertiaire est sans conteste le premier utilisateur de l'énergie à basse température. Ce sont surtout les constructions neuves qui nous intéressent, car elles peuvent être conçues en fonction d'un chauffage à partir d'eau plus tiède que chaude (40° à 70°). Si l'habitat collectif dense semble devoir régresser, il en sera de même du pavillon individuel. Rien ne s'oppose donc a priori au développement de réseaux de chauffage urbain, si ce n'est

...

par un curieux effet de "boomerang", l'action de renforcement de l'isolation, susceptible de décourager les investissements en matière de chauffage.

Notons cependant qu'une régulation bien conçue, avec réduction des températures intérieures pendant les heures de nuit, dans les logements et surtout dans les bureaux, joue en sens inverse pour améliorer le facteur de charge.

Le marché des logements collectifs anciens pourra être touché également lorsqu'une ressource d'eau à plus de 90° sera disponible localement (à une distance inférieure à une limite dépendant du débit nécessaire). De telles ressources existent, à proximité de zones urbanisées (raffineries, usines sidérurgiques). A défaut de ressources à 90°, il serait possible d'utiliser des eaux à 60-70°, en remontant leur niveau thermique par une pompe à chaleur.

...

13. L'UTILISATION EN AGRICULTURE

L'utilisation de l'eau chaude en agriculture intervient pour le chauffage des serres et le chauffage des sols afin de produire hors saison des légumes ou des fleurs. Nous examinerons les caractéristiques (niveaux thermiques, besoins saisonniers) de ce marché et les économies de fuel réalisables par apport externe d'eau chaude.

131. Besoins de chauffage en agriculture

1311. Le chauffage des serres

Il présente des caractères semblables au chauffage des logements. Les déperditions sont approximativement proportionnelles à l'écart entre les températures internes et externes, à la surface d'échange de la serre et à un coefficient d'échange thermique lié aux matériaux employés (verres ou plastiques). Ce dernier coefficient, ainsi que les pertes par manque d'étanchéité, augmente rapidement avec la turbulence de l'air.

Les déperditions calorifiques sont donc très variables selon le climat extérieur.

Exemple : consommation de fuel selon la date de mise en sol.

Région / Plantes	Midi	Loire	Nord
Laitue	Automne 1 kg/m2 Hiver 5 kg/m2	Automne 2 kg/m2 Hiver 8 kg/m2	Automne 4 kg/m2 Hiver 12 kg/m2
Tomate	Janvier 18 kg/m2 Mars 7 kg/m2	Mars 10 kg/m2	
Concombre Melon	de 20 à 45 kg/m2 selon la précocité et la région		

...

Les déperditions - donc les consommations par unité de surface - s'accroissent avec la surface d'échange. Une serre de 8 000 m2 consomme 5 à 10 % de moins que quatre serres de 2 000 m2. Les unités carrées sont à égalité de surface plus économiques que les unités rectangulaires. Les pertes par conduction et convection varient peu selon les matériaux mais les pertes par rayonnement sont plus importantes avec certains films plastiques (polyéthylènes).

La répartition des besoins entre consommations diurne et nocturne dépend de la température exigée à l'intérieur de la serre. La consommation nocturne varie entre 70 % et 95 % de la consommation totale.

température intérieure serre / consommation	5°	15°	25°
% jour	9,2	19,8	25,6
% nuit	90,8	80,2	74,4

Les exigences en température varient selon les espèces cultivées et les stades de vie d'une même espèce. Elles se situent pour la plupart des espèces entre 10 et 25° mais un certain compromis intervient entre le maintien à température élevée (forte consommation de fuel) et une température plus basse qui retarderait la récolte et allongerait la durée de culture (encombrement de la serre).

1312. Le chauffage des sols (cultures maraîchères)

Une installation de chauffage des sols est conçue pour garantir une température à peu près constante. On peut envisager deux modes de chauffage des sols : résistances électriques ou circulation d'eau chaude à l'intérieur de tuyaux. L'intérêt de cette installation est d'avancer les récoltes d'une quin-

...

zaine de jours avec des rendements accrus de l'ordre de 10 %.

Exemple : Forçage des endives (1 ha), consommation : 1 300 kg fuel par an (eau chaude) ou 10 500 kwh par an (résistances).

Le chauffage des sols apporte en outre parfois un complément utile au chauffage des serres.

132. Situation actuelle des cultures sous serres

1321. Caractéristiques générales

La France compte actuellement quelques 1 200 hectares de serres légumières et 900 hectares de serres florales. L'évolution de ces superficies est variable selon les années en liaison avec les prix sur les marchés. Les serres légumières ont connu un développement important récemment ; entre 1955 et 1970 leur superficie passait de 10 ha à 900 ha. Les serres non chauffées représentent une part importante du total (42 %). Les unités de culture, à l'origine de 2 000 à 3 000 m2, ont tendance, depuis quelques années, à croître pour les serres chauffées et cette tendance s'accentuera, les besoins calorifiques par m2 décroissant quand la surface de la serre augmente. La taille d'exploitation varie de quelques m2 à quelques hectares.

La consommation d'énergie pour le chauffage des serres (principalement du fuel) s'élève actuellement à 0,6 million de tep par an.

1322. Emplacements géographiques

Les serres légumières (concombres, laitues, tomates, ...) sont situées principalement dans la vallée de la Loire, en Bretagne et dans le Midi. On assiste à une migration vers le Sud (frais de chauffage moindres) et à une concurrence des pays d'Europe Centrale (Roumanie). Les serres florales se situent à peu près dans les mêmes régions avec quelques grandes exploitations en région parisienne. Il existe aussi quelques serres à arbustes.

133. Conclusion

La hausse des produits pétroliers implique une modification profonde de la culture sous serres. La tendance aux grandes exploitations doit s'affirmer, les petites exploitations disparaîtront mais dans l'immédiat elles peuvent faire appel au marché de l'eau chaude si leur taille n'est pas trop petite. Pour une

...

exploitation de 5 000 m2 avec une consommation de 15 kg de fuel par m2, l'économie de fuel (4,5 F/m2) permet d'envisager un chauffage à eau chaude extérieure ; les nombreuses sources dues au rejet d'usines vers 45°C laissent en effet espérer des coûts de transport réduits. La diversité des sources semble exclure la mise en place de systèmes eau froide-pompe à chaleur.

La réalisation de grandes exploitations chauffées à l'eau chaude d'origine géothermique ou industrielle pèserait sur les prix et accélérerait la disparition des petites serres. Il convient cependant d'étaler un tel programme sur plusieurs années pour ne pas mécontenter les petits exploitants.

On peut envisager à l'horizon 1985 une économie de fuel de 0,5 million de tonnes. Les besoins nécessaires en eau chaude (à partir de 40°C) s'élèveraient à 5.10^8 mètres cubes par an.

...

II - INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAUX CHAUDES

21. RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN FRANCE

Nous dresserons d'abord un rapide inventaire avant d'examiner les techniques de valorisation et le problème minier.

211. L'inventaire des gîtes

Nous nous référons ici à l'étude du B.R.G.M. intitulée "Potentiel géothermique français" en date de mars 1974, qui constitue un survol rapide de la question. Le B.R.G.M. effectue en ce moment un inventaire plus approfondi, en particulier pour le Bassin Parisien.

On peut considérer le potentiel géothermique français comme très intéressant. En effet, la surface couverte par certaines nappes aquifères des bassins sédimentaires dépasse largement les perspectives d'utilisation même à moyen terme

Cependant, il s'agit d'une source d'énergie dispersée. On ne connaît pas en France de site tels que ceux de Larderello (Italie), Wairakei (Nouvelle-Zélande), ou Geysers (Californie) où l'on produit plusieurs centaines de MW électriques sur un domaine de quelques kilomètres de côté.

La puissance disponible dans le Dogger est de l'ordre de 4 à 5 MW par km2 et il ne s'agit que de basses calories (70°). Cette densité est tout de même suffisante pour assurer le chauffage de logements (avec 500 à 1 000 logements au km2). Rappelons brièvement en quoi consiste une ressource géothermique en prenant l'exemple du Dogger.

La géologie du Bassin sédimentaire parisien est bien connue, d'autant que plus de 1 400 sondages profonds y ont été faits par les compagnies pétrolières. On ~~sent~~ sait donc que la couche des calcaires du Dogger constitue un réservoir aquifère ayant pour caractéristiques :

- épaisseur utile : 100 m
- porosité moyenne : 20 %
- perméabilité de l'ordre de 3,5 darcys
- profondeur : 1 800 m à Melun
- température : 75°C à Melun

Température et profondeur varient corrélativement selon le lieu ; le gradient géothermique est normal : 3°C environ par hectomètre. La ressource potentielle à exploiter est la chaleur sensible emmagasinée par cet aquifère (eau +

...

matrice calcaire). Celle-ci doit être considérée, à notre échelle de durée, comme non renouvelable. Une fois que l'on aura refroidi localement cet aquifère, il ne se réchauffera que très lentement par transmission de chaleur à partir de la périphérie et des épontes. Il ne s'agit pas d'exploiter un flux thermique (le flux qui induit le gradient géothermique est d'environ 50 kW/km2).

Les caractéristiques de porosité et de perméabilité sont fondamentales. C'est de ces grandeurs que dépend le débit d'eau chaude extrait par le puits, et par suite la rentabilité du puits.

La qualité chimique de l'eau extraite est importante également. Elle est souvent minéralisée (5 g/l à Melun) et corrosive, à tel point que les exploitants de Melun ont du adopter un échangeur au titane après plusieurs déboires.

Nous avons rassemblé en annexe toutes les données chiffrées relatives aux aquifères géothermiques recensés par le B.R.G.M.

212. Techniques de valorisation

Les éléments d'une installation géothermique sont connus :

- puits d'extraction d'eau chaude, avec casing et cimentation isolante,
- pompe immergée (ou gas-lift) pour accroître éventuellement le débit,
- échangeur à plaques en alliage résistant à la corrosion, installé en surface pour chauffer l'eau du réseau de surface,
- stockage de cette eau chaude soit dans un bassin de surface, soit en milieu poreux (nappe phréatique),
- puits d'injection de l'eau souterraine extraite à une distance du puits d'extraction dépendant de la durée de vie souhaitée.

L'originalité de ce système par rapport aux réalisations étrangères existantes réside dans la réinjection systématique qui présente deux avantages :

- elle évite le rejet polluant de grosses quantités d'eau salée, qui deviendraient gênantes avec la multiplication des puits,
- elle garantit le maintien indéfini de la pression dans l'aquifère.

Le risque majeur serait le refroidissement rapide de l'eau extraite, dû à un bouclage imprévu de l'eau froide injectée qui circulerait dans les fissures ou des cavités. En fait, la distance entre les deux puits est calculée afin

...

d'assurer la stabilité de la température d'extraction pendant 30 ans par exemple. On utilise pour cela des modèles hydrogéologiques aux éléments finis (M. Lagarde, IFP ; M. Gringarten, BRGM). On constate qu'il suffit, dans le Dogger, d'une distance entre puits de 1 km et qu'après 30 ans d'exploitation la température ne baisse que très faiblement pendant plusieurs dizaines d'années. L'écart de 1 km peut être obtenu, comme à Melun, en forant deux puits déviés à partir du même point en surface, ce qui évite le déplacement de la plateforme de forage.

Le coût des doublets est si élevé (plus de 5 MF) qu'il faut essayer par tous moyens d'en tirer le maximum au point de vue calorifique. On peut écrire :

P	=	Δ t	x	Ω	x	h
production thermique annuelle		écart entre température d'extraction et d'injection		débit horaire		facteur de charge annuel (heures)

On cherchera donc à accroître :

- Ω par une pompe immergée et une acidification du terrain,

- h par un stockage d'eau chaude, notamment si l'utilisation est le chauffage de logements, pour niveler la courbe de charge, et aussi par installation d'un chauffage d'appoint (fuel, gaz électricité) pour satisfaire les pointes de la demande,

- Δt en abaissant la température des retours du circuit de surface, soit par adoption d'un chauffage adapté, soit par pompe à chaleur, et en installant un échangeur à haute performance (à plaques par exemple).

L'optimisation de tous ces paramètres est à reprendre dans chaque cas particulier. Il ne semble pas d'ailleurs qu'elle ait été faite de façon systématique dans les réalisations existantes, ce qui a pu conduire à des difficultés techniques et économiques (ZUP de l'Almont à Melun).

Pour la nappe du Dogger, qui est la mieux connue et la mieux située, on peut tabler a priori sur les performances suivantes, sans pompe immergée, ni stockage :

...

Q = 80 à 100 m3/h

Δt = 30° à 40°C

h = 4 à 5 000 h

ce qui correspond à environ 1 500 tef/an, pour un investissement total proche de 8 MF (soit plus de 5 KF par tonne de fuel économisée par an).

A notre avis, il serait possible de doubler le rendement moyennant un surcroît d'investissement de 2 MF environ, ce qui abaisserait le ratio à moins de 3 500.

Nous avons vu que la ressource géothermique est considérable. Elle dispose d'un débouché idéal qui est le chauffage des locaux, domestiques, industriels ou tertiaires. Mais il y a une limitation sérieuse à son développement (outre la lourdeur des investissements), qui provient du petit nombre d'appareils de forage disponibles.

En effet, pour arriver en 1985 au chauffage de 7 millions de logements, soit en gros de tous les collectifs denses, il faudrait disposer en permanence dès maintenant de plus de 170 appareils de forage (700 doublets par an). Cela n'est pas envisageable, à moins que l'Etat n'entreprenne une action déterminée. Par contre, il semble raisonnable de tabler sur un programme de 80 à 100 doublets par an, ce qui nécessite 25 à 30 appareils et conduit à une économie de l'ordre de 1,5 à 2,5 M de tonnes de fuel par an en 1985.

213. Adaptation de la législation minière

Il s'agit de créer les conditions favorables à la recherche et l'exploitation des ressources géothermiques, sans nuire éventuellement aux autres utilisations du sous-sol. Il convient de mettre à part la géothermie haute énergie, qui exige une véritable exploration risquée. Etant donné la nature des ressources françaises, nous ne nous intéresserons ici qu'à la géothermie basse énergie (moins de 100°C).

Dans les aquifères des bassins sédimentaires, la seule inconnue est la perméabilité locale de la roche, qui peut être très variable. Mais on peut souvent "rattraper" une perméabilité insuffisante localement par une acidification, surtout en terrain calcaire comme le Dogger. Le risque minier est donc

...

restreint. Mais il faut encore protéger l'exploitant contre les effets de forages concurrents trop rapprochés. D'où la création d'un périmètre de protection, qui est en fait un volume (une surface et 2 côtés), calculé d'après les simulations sur ordinateur afin de garantir le droit de l'exploitant.

L'arrêté préfectoral portant permis d'exploitation pourra, dans le même but, imposer une quantité d'énergie calorifique maximale.

Il faut aussi se prémunir contre la négligence ou l'incompétence de l'exploitant (prélèvement insuffisant ou excessif). L'arrêté préfectoral déterminera donc les conditions d'utilisation et de réinjection du fluide caloporteur. Cette dernière disposition permet de s'assurer des précautions prises contre la pollution des eaux souterraines (nappes moins profondes) ou superficielles.

On s'orientera vers l'octroi de petits permis, forage par forage, plutôt que de permis étendus, pour éviter de concéder à une personne morale l'exclusivité du chauffage géothermique dans une vaste agglomération. On prendra soin de sauvegarder les intérêts du thermalisme (le problème ne se pose pas en région parisienne).

...

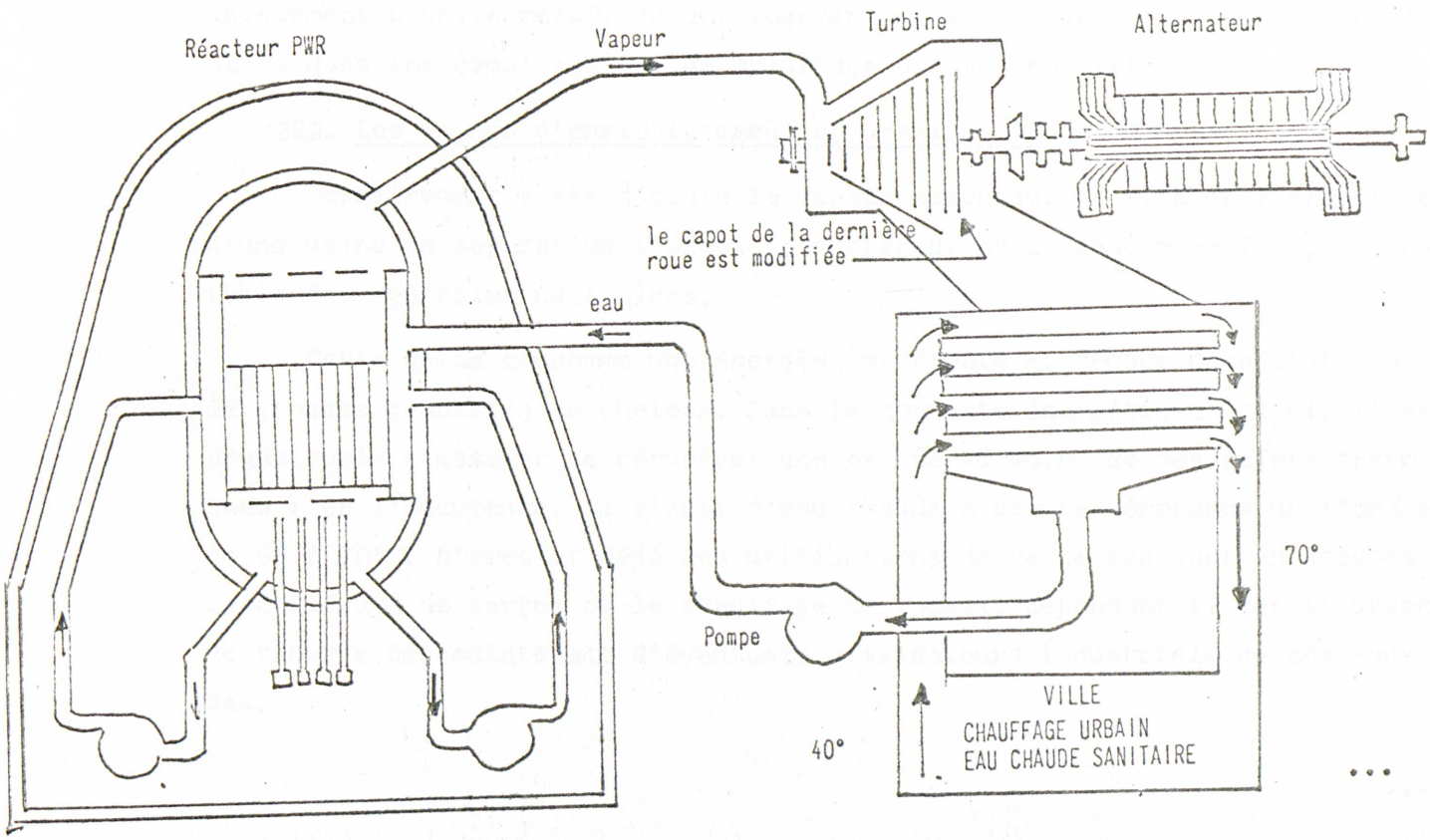
22. CENTRALES THERMIQUES ET USINES D'ENRICHISSEMENT

221. Centrales thermiques

L'E.D.F. n'est pas seulement un producteur de courant électrique mais aussi un producteur d'eau chaude. Si r est le rendement de la centrale électrique (égal à 40 % pour les centrales thermiques classiques et à 30 % environ pour les centrales nucléaires) et P la puissance thermique du combustible brûlé, rP est la puissance électrique brute et (1-r) P la puissance dissipée dans le fluide de refroidissement (de l'eau dans la plupart des cas).

Malheureusement, cette énergie considérable est à très bas niveau thermique, inférieur à 30°, et n'est pas utilisable telle quelle. L'utilisation de pompes à chaleur serait trop coûteuse. Même avec un nouveau mode de conception de logements, chauffés par de l'eau à 30°, ces projets échouent car la température de rejet des centrales est la plus basse en hiver, alors que la demande est la plus forte.

Il faut donc songer à un aménagement technique, apporté à la centrale, susceptible de relever la température de rejet. Dans les centrales existantes on changerait le capot de la dernière roue turbine pour obtenir de l'eau à 70° - 80° selon le schéma suivant :



...

Cette idée est séduisante à bien des points de vue :

- ce mode d'exploitation est plus rationnel ; il s'apparente au principe de "dégradation progressive de l'énergie" qu'on retrouve dans la turbine à contre-pression,

- la perte de production électrique est faible, de l'ordre de 6 % pour des modifications avant chantier, de 9 % pour des modifications sur les centrales en fonctionnement,

- le gain serait considérable, 1,5 fois l'énergie électrique consommée, soit 12,35 Mtep en 1973.

- la suppression de réfrigérant atmosphérique est appréciable lorsque les sites fluviaux se font rares.

Ces centrales mixtes calogènes-électrogènes existent déjà à l'étranger notamment en Suède où 11 chauffages urbains fonctionnent sur ce schéma.

Mais en France les centrales existantes sont souvent trop éloignées des centres urbains importants pour qu'on puisse utiliser toutes les calories de rejet. Il faudrait reconcevoir l'emplacement des centrales en fonction de la proximité des agglomérations pour atténuer les coûts de transport ; cela poserait quelques problèmes pour les centrales nucléaires.

On peut songer aussi à construire des centrales nucléaires calogènes uniquement pour le chauffage des logements : la vapeur produite circulerait alors dans les canalisations de chauffage urbain des villes.

222. Les usines d'enrichissement en uranium 235

Dernièrement a été décidée la construction sur le site de Pierrelatte d'une usine de séparation isotopique préparant de l'uranium enrichi, combustible des centrales nucléaires.

Cette usine consomme une énergie importante et dégage dans l'atmosphère de grosses quantités de chaleur. Dans le contexte énergétique actuel, il est souhaitable d'essayer de récupérer une partie au moins de ces rejets thermiques : en l'occurence, il s'agit d'eau chaude à des températures de l'ordre de 65 à 70°C. D'ores et déjà des utilisations de cette eau sont envisagées pour le chauffage de serres ou le chauffage de locaux. Cependant il serait urgent de trouver dès maintenant d'éventuels utilisateurs industriels de ces eaux chaudes.

...

Les principales caractéristiques des rejets thermiques sont les suivantes :

- la température de l'eau disponible varie de 65 à 70°C. Les quantités totales disponibles sont de 30 000 à 40 000 m3/h en circuit fermé et de 1 350 m3/h en circuit ouvert. Bien entendu l'eau n'a eu aucun contact direct avec le combustible nucléaire et ne présente en conséquence aucun danger,

- l'usine d'Eurodif commencera à fonctionner en 1977 et fonctionnera à pleine puissance à partir de 1979,

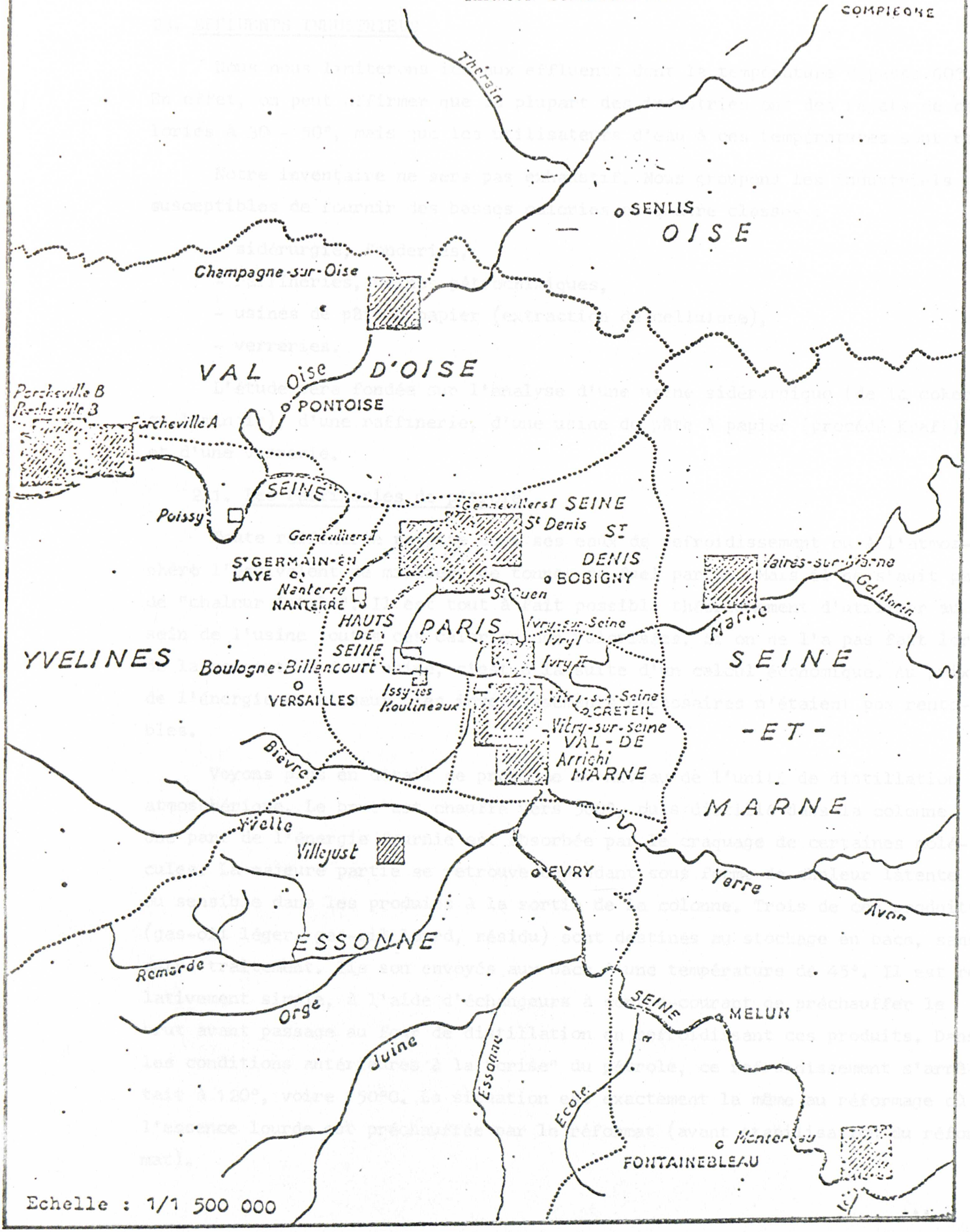
- la fourniture d'eau chaude est assurée en permanence, l'usine devant pour des raisons techniques fonctionner en continu,

- l'eau peut être distribuée jusqu'à des distances de l'ordre de 20 à 30 km de l'usine d'Eurodif. Cependant pour qu'une distribution à distance soit rentable, il est nécessaire de fournir des quantités importantes. Le plus rationnel de ce point de vue serait certainement d'installer de nouvelles unités de production sur les zones industrielles viabilisées au voisinage immédiat d'Eurodif (Bollène, Pierrelatte, ...). Pour l'instant les besoins environnants sont trop faibles pour qu'on envisage des transports d'eau chaude à plus de 10 km.

...

CENTRALES THERMIQUES

REGION PARISIENNE



23. EFFLUENTS INDUSTRIELS

Nous nous limiterons ici aux effluents dont la température dépasse 60°. En effet, on peut affirmer que la plupart des industries ont des rejets de calories à 30 - 50°, mais que les utilisateurs d'eau à ces températures sont rares.

Notre inventaire ne sera pas exhaustif. Nous groupons les industriels susceptibles de fournir des basses calories en quatre classes :

- sidérurgie, fonderies,
- raffineries, usines pétrochimiques,
- usines de pâte à papier (extraction de cellulose),
- verreries.

L'étude sera fondée sur l'analyse d'une usine sidérurgique (de la cokerie au laminoir), d'une raffinerie, d'une usine de pâte à papier (procédé Kraft) et d'une verrerie.

231. Les raffineries de pétrole

Toute raffinerie rejette dans ses eaux de refroidissement ou à l'atmosphère l'équivalent de milliers de tonnes de fuel par an. Mais il ne s'agit pas de "chaleur fatale". Il est tout à fait possible théoriquement d'utiliser au sein de l'usine toutes ces calories non valorisées. Si on ne l'a pas fait lors de la conception de l'usine, c'est à la suite d'un calcul économique. Au prix de l'énergie en vigueur, les investissements nécessaires n'étaient pas rentables.

Voyons plus en détail ce problème au niveau de l'unité de distillation atmosphérique. Le brut est chauffé vers 500°, puis distillé dans la colonne. Une part de l'énergie fournie est absorbée par le craquage de certaines molécules. La majeure partie se retrouve cependant sous forme de chaleur latente ou sensible dans les produits à la sortie de la colonne. Trois de ces produits (gas-oil léger, gas-oil lourd, résidu) sont destinés au stockage en bacs, sans autre traitement. Ils son envoyés aux bacs à une température de 45°. Il est relativement simple, à l'aide d'échangeurs à contre-courant, de préchauffer le brut avant passage au four de distillation en refroidissant ces produits. Dans les conditions antérieures à la "crise" du pétrole, ce refroidissement s'arrêtait à 120°, voire 150°C. La situation est exactement la même au réformage où l'essence lourde est préchauffée par le réformat (avant stabilisation du réformat).

...

Aujourd'hui, pour des investissements inférieurs à 200 F par tonne de fuel économisé par an, consistant essentiellement en l'ajout de quelques calandres d'échangeurs, il est envisageable d'améliorer l'échange "charge-effluent". Le refroidissement utile des effluents pourrait aller jusqu'à 100°C.

Dans ces conditions, peut-on imaginer la fourniture de calories à des utilisateurs externes ?

Pour alimenter un utilisateur d'eau chaude à 90°, il faudrait un échangeur (placé en amont d'un aéroréfrigérant) et une conduite. Le circuit d'eau peut être ouvert ou fermé :

- s'il est ouvert, il faudra disposer de ressources convenables en eaux de surface. On économisera la conduite de retour, mais l'utilisateur devra le plus souvent installer de son côté un échangeur,

- s'il est fermé, il n'y aura pas (en raison de la qualité chimique de l'eau) besoin d'échangeur du côté de l'utilisation, mais il faudra une conduite de retour. Le choix de la meilleure solution dépendra donc de la distance de l'utilisateur et de l'abondance des ressources en eau.

Il reste à confronter ce projet de fourniture de calories à l'extérieur avec une récupération interne. La récupération interne nécessiterait un échangeur similaire, en général des conduites moins longues, et bénéficierait du taux de charge très élevé de la raffinerie (plus de 7 000 heures par an au lieu de 2 400 heures pour le chauffage de logements). De plus, toute récupération interne est a priori moins contraignante qu'une fourniture externe liant deux industriels.

La quantité d'énergie non valorisée dans une raffinerie, rapportée à sa capacité de traitement de brut, dépend de plusieurs facteurs :

- la nature des produits obtenus (lourds ou légers, désulfurés ou non). Tout craquage de molécule exige de l'énergie et le rendement n'est pas égal à 100 %.

- la date de construction : le coût relatif de la thermie-fuel a varié, ce qui a influé sur le soin apporté aux récupérations d'énergie.

...

A partir de 1960-62, on est entré dans une ère d'énergie bon marché. Les raffineries ont donc abandonné certains dispositifs qui ne se justifiaient plus économiquement : par exemple, on pouvait auparavant refroidir les produits de distillation (gas-oil) en les faisant passer dans un serpentin au fond des bacs de stockage ; on préférait après 1965 les refroidir par un aéroréfrigérant et chauffer les conduites et les bacs à la vapeur.

Nous avons le sentiment qu'il ne faut pas trop compter sur les raffineries (et les usines pétrochimiques dont la technique est voisine) pour fournir de l'eau chaude ou surchauffée à des logements et des industries externes. C'est dommage, car il y a là une ressource supérieure à 1 Mtef/an. Mais il est tellement plus simple d'en promouvoir la récupération interne !

232. La sidérurgie

La branche sidérurgique est un monde très vaste, très gourmand d'énergie, riche en "chaleurs fatales" et "énergies fatales". Il nous faudra examiner successivement les points suivants :

- cokerie,
- agglomération,
- haut-fourneau,
- aciérie (à l'oxygène),
- laminoirs,
- aciérie électrique.

En outre, la branche fonderie s'apparente assez bien à l'aciérie, les énergies perdues dans un cubilot étant analogues aux énergies perdues dans un convertisseur.

2321. Inventaire des ressources potentielles dans une usine

La sidérurgie française a consommé en 1974 environ 27 M tec. En 1973, la consommation spécifique s'élevait (de l'agglomération aux laminoirs) à 6 790 th par tonne d'acier. Depuis 25 ans, des économies sensibles (1/3) ont été réalisées en énergie primaire, par utilisation de minerais plus riches, augmentation de taille des appareils, développement de la coulée continue (Dunkerque) qui supprime une étape de la fabrication. Nous ne nous intéressons pas ici aux perspectives à long terme (préréduction, hydrogène). A court terme, l'attention se porte sur les points suivants :

...

a) récupération de l'énergie des gaz de hauts fourneaux :

- énergie de pression par installation d'une turbine au gueulard (Procédé Wendel-Sidélor-Sofrair). Gain : 33 kwh/t de fonte, soit l'équivalent de 7,5 kg fuel/t.

- pouvoir calorifique des gaz de HF (environ 1,7 M tef/an), lequel a tendance à croître du fait de l'injection d'hydrocarbures. Ce gaz est brûlé en centrale thermique pour la plus grande part (Dunkerque, Richemont). Une partie, estimée à 0,3 M tef/an, n'est pas valorisée.

b) valorisation des gaz des convertisseurs à oxygène.

Ces gaz sont aujourd'hui refroidis, puis brûlés à la torchère. Leur utilisation exigera un captage efficace et un stockage. Gain escompté : 120 th/t d'acier brut, soit, pour une production de 10 M t d'acier, 120 000 tef/an. Les investissements seraient de l'ordre de 1 000 F/tef économisée.

Le problème est d'en trouver un usage, ce qui n'est pas évident dans l'usine, étant donné leur faible pouvoir calorifique.

Pour notre part, si nous admettons l'intérêt de la valorisation des gaz de haut-fourneau et d'aciérie, nous pensons aussi qu'il ne faut pas négliger pour autant la récupération des basses calories (eaux de refroidissement). Le gaz peut avoir des usages industriels, l'eau chaude des usages domestiques.

Or, il y a au niveau des basses calories un potentiel considérable, jusqu'à plus de 3 % de la consommation de la branche, c'est-à-dire 0,6 M tef/an, qui se décompose en huit points :

1 - chaleur sensible du coke au défournement en cokerie. Le refroidissement par extinction ne permet de récupérer que 20 th/t de coke sous forme d'eau à 50°. Le procédé sec (par air) utilisé à Homécourt permettrait de récupérer une grande partie de la chaleur sensible (300 th/t de coke), soit environ 120 000 tef/an.

2 - chaleur sensible des gaz de cokerie : 90 th/t de coke, soit plus de 30 000 tef/an.

3 - au haut-fourneau, chaleur sensible du laitier. La granulation donne de l'eau entre 50° et 60°. Gain 150 th/t de fonte : 55 % du laitier est granulé et ce pourcentage est destiné à croître rapidement. Gain : plus de 200 000 tef/an.

...

4 - récupération de la vapeur produite par le système de refroidissement "STEVE-COOLER" du haut-fourneau (HF 4 à Dunkerque, FOS). Les autres hauts-fourneaux ont des boîtes de refroidissement classiques qui produisent de l'eau à 40 - 50°, qui peut cependant être valorisée pour le chauffage de locaux. Gain : 60 000 tef/an.

5 - à l'aciérie, refroidissement des fumées de convertisseurs : 20 à 30 th/t d'acier, soit environ 60 000 tef/an.

6 - à la coulée continue, refroidissement des brames dans une piscine avec production de vapeur et eau chaude (procédé Nippon Steel). Gain : 100 th/t d'acier, soit environ 50 000 tef/an (essentiellement à Dunkerque).

7 - aux laminoirs, le refroidissement des fumées sortant à 600° des fours pits fournit 30 th/t d'acier, soit 60 000 tef/an.

8 - même opération aux fours poussants pour demi-produits 75 th/t, soit, pour 10 M t/an, une économie de 75 000 tef/an.

Les récupérations susceptibles d'une mise en oeuvre rapide sont celles des points 4, 5, 7, 8 (255 000 tef/an).

2 322. Localisation des usines

La concentration des usines et leur taille ne sont pas propices à l'usage principal des basses calories, dans le secteur résidentiel et tertiaire.

Le complexe USINOR-DUNKERQUE pourrait chauffer plus de 50 000 logements, c'est-à-dire toute l'agglomération dunkerquoise, avec l'appoint de l'usine des Dunes de Creusot-Loire. A FOS, la dispersion des logements est plus grande. A part Dunkerque, les autres sites favorables seraient : Caen (Mondeville), Denain, Valenciennes, Thionville.

233. Les usines de pâte à papier (procédé Kraft)

Cette industrie est consommatrice de calories à haute température (90 à 170°) et productrice de basses calories (rejets d'eaux chaudes).

2331. Principaux postes de consommation d'énergie par tonne

- cuisson du bois : 1 350 th/tonne à 170°,
- lavage et caustification : 350 th/tonne à 90°,
- blanchiment : 1 700 th/tonne à 110°,

...

- évaporation des liqueurs : 1 450 th/tonne à 120°,
- séchage de la pâte (usine non intégrée) : 1 050 th/tonne à 110°,
- locaux : 300 th/tonne environ,
- énergie électrique : 1 600 th/tonne (950 kwh),
- total : 7 800 th/tonne.

Ces besoins doivent être comparés aux ressources propres :

- combustion des liqueurs noires : 3 700 th/tonne,
- combustion deś déchets (écorces) : 700 th/tonne

Besoin net : 3 400 th/tonne.

La combustion des liqueurs noires est une source d'énergie importante ; elle est indispensable car son but essentiel n'est pas d'économiser le fuel mais de régénérer la liqueur blanche pour le lessivage des copeaux.

2332. Rejets d'eaux chaudes

C'est du blanchiment de la pâte que provient la majorité (60 %) des effluents aqueux de l'usine. Ces effluents contiennent du chlore et de la soude caustique et leur température est de l'ordre de 50 à 60°. Les eaux claires à 80° servant au blanchiment sont chauffées par les calories des effluents d'évaporation des liqueurs noires.

Nous évaluons à 140 m3 par tonne de pâte le volume d'eau rejetée. Pour une usine de 100 000 tonnes par an, le volume annuel s'élève à 14 millions de m3, soit un débit de l'ordre de 2 000 m3/h. Si on récupère 20 th/m3, ce qui est possible pour le chauffage des locaux, la puissance disponible atteint 40 000 th/h. Cela suffit à chauffer 4 000 logements. Avec un taux d'utilisation de 2 500 heures par an l'économie de combustible réalisée serait de 10 000 tef/an. Cette économie serait portée à 28 000 tef pour un taux d'utilisation de 7 000 heures.

Mais l'eau rejetée par l'usine ne peut être livrée à l'utilisateur vu sa toxicité. Il faut installer une batterie d'échangeurs à plaques résistant à la corrosion spécifique des rejets et distribuer en circuit fermé de l'eau épurée et conditionnée.

...

Pour l'ensemble de la profession, l'énergie récupérable pour le chauffage est en chiffres ronds de 100 000 à 280 000 tonnes de fuel par an. Il faut noter que les usines sont éloignées des centres urbains pour diverses raisons (odeurs nauséabondes, proximité des terrains forestiers). Il existe cependant des cas favorables (Saint Gaudens, Strasbourg, Corbehem, région rouennaise, Vénizel).

2333. Economies internes

A ces gains par utilisation de rejets d'eau chaude s'ajoute la possibilité d'améliorer le rendement de séchage par recyclage interne des calories de l'air chaud. Pour l'ensemble de la France, l'économie serait de 20 000 tonnes de fuel par an. Cette économie serait portée à 60 000 tonnes si toutes les usines de pâte étaient intégrées, c'est-à-dire couplées à une usine de papier-carton.

234. L'industrie du verre

Ce secteur consommait en 1972 près de 1,15 M tef en énergie primaire. La consommation spécifique de combustibles est de l'ordre de 1/5 à 1/4 tef pour une tonne de verre. Qu'il s'agisse de verre à vitres, de verre flotté, de verre d'emballage ou de verre moulé, le poste prépondérant en matière d'énergie est le four à verre. Ce four, où le produit peut être porté jusqu'à 1 500°, a bien sûr de très fortes pertes par rayonnement et convection. Malgré le refroidissement des fumées de combustion à travers des empilements de briques réfractaires en vue de préchauffer l'air comburant, puis à travers une chaudière génératrice de vapeur, le rendement thermique global n'excède pas 20 à 30 % pour le verre à vitres et 50 % pour le verre creux.

Un gain sensible sur le rendement ne peut être obtenu que par amélioration du calorifugeage, si les impératifs d'exploitation le permettent, ou du moins par un certain confinement de l'ambiance (air et rayonnement), ou encore par accroissement de la taille du four.

Les fours à verre sont refroidis en divers points par circulation d'eau froide ou tiède. Dans la fabrication de verre à vitres, l'étirage exige un contrôle rigoureux des températures, dans lequel des serpentins d'eau ont une fonction de refroidissement.

Dans une usine visitée, le débit total d'eau de refroidissement était de 500 m3/h, avec des températures de 53° et 61°, soit une puissance thermique de 4 000 th/h, sans arrêt du début à la fin de l'année. Cela équivaut à 3 400 tonnes de fuel par an.

...

Le chauffage des bureaux de l'usine peut être assuré grâce à la vapeur produite par la chaudière de récupération. Il est donc clair que cette puissance de 4 000 th/h est disponible pour des usages externes. En outre, on peut espérer relever la température de l'eau grâce à d'autres récupérations.

Nous estimons donc que le potentiel du secteur verrerie est au minimum de 75 000 tef/an (ce chiffre pouvant être pessimiste d'un facteur 2).

Localisation : Les régions les mieux pourvues sont le Nord, la Picardie et la région Rhône-Alpes.

Quelques exemples :

Nord Pas de Calais	Boussois (180 000 t/an de verre flotté) (B S N) + 45 000 t/an de verres spéciaux Blanc-Misseron (verre creux) Aniche B S N et Saint Gobain (verres à vitres) Wingles (B S N verre creux) Masnières (près de Cambrai) verre creux Aniche (SOVIREL).
Picardie Champagne-Ardennes	Saint Gobain, Chauny Chantereine Rantigny (ISOVER) Reims (B S N) Sedan
Rhône-Alpes	Labégude Vauches Rive de Gier

24. TRANSPORT ET STOCKAGE DE L'EAU CHAUDE

241. Transport d'eau chaude

Le transport d'eau chaude nécessite la mise en place d'un réseau de canalisations coûteuses surtout sur de longues distances. Il est donc nécessaire que les utilisateurs soient proches des producteurs.

...

De plus le caractère assez régulier des rejets d'eau chaude de l'industrie ou du débit d'un puits géothermique pose des problèmes pour la principale utilisation : le chauffage des logements, à caractère saisonnier marqué. Il convient de dimensionner les tuyauteries à l'optimum en déterminant quelle sera la part du chauffage d'appoint et celle du stockage.

Il existe des possibilités intéressantes de transport d'eau surchauffée ou de vapeur pour le chauffage urbain. Dans la suite nous nous intéresserons plus particulièrement au transport d'eau à 80°.

2411. Le point de vue d'un utilisateur

Considérons un logement urbain ; l'eau potable consommée à Paris, livrée notamment par la Compagnie Générale des Eaux, est facturée à l'utilisateur moyen environ 1,50 F le m3. Ce prix est censé représenter approximativement le coût de revient ; il comprend, outre certaines taxes, des frais de traitement chimique mais surtout les frais d'entretien, de fonctionnement et d'amortissement du réseau de canalisations. Le mètre cube d'eau chaude obtenue à partir d'eau froide est facturée 6 F, ce qui inclut donc 4,50 F d'énergie fournie et d'amortissement de l'installation de chauffage. Avec un écart Δ t = 70° entre l'eau chaude et l'eau froide, la thermie revient à environ 6 centimes.

La création, pour le chauffage de logements, d'un réseau de distribution d'eau chaude aussi dense que le réseau d'eau potable ferait intervenir des coûts supplémentaires : tourner en circuit fermé implique un trajet double, eau chaude du producteur à l'utilisateur, eau froide en sens inverse ; il faut dépenser plus d'énergie pour vaincre les pertes de charge ; la pose d'un calorifuge sera souvent nécessaire.

Cependant d'autres frais disparaîtront : certaines taxes, une partie du traitement chimique de l'eau. Et les besoins en eau chaude, supérieurs à ceux en eau potable froide, permettraient un déplacement de l'optimum économique en faveur de canalisations à plus forte section, donc à moindres frais par mètre cube transporté. En définitive, le coût du transport reviendrait pour l'utilisateur parisien à environ 2 F le m3. Le coût de production et de transport de l'eau chaude à proximité du centre urbain, que l'on peut appeler le prix de gros, doit donc, par m3, être inférieur à :

...

- 4 F pour l'eau chaude sanitaire,
- 2,50 F pour le chauffage.

Pour d'autres agglomérations, ce coût varie avec la densité de la population et la proximité des fournisseurs. Mais dans certains cas, on peut utiliser une canalisation d'eau froide déjà en place pour transporter de l'eau chaude. L'opération est très rentable quand producteur et utilisateur sont à proximité mais l'utilisateur doit alors renvoyer à la canalisation l'eau qu'il a refroidie dans ses échangeurs.

2412. Le point de vue du fournisseur d'eau chaude

a) Gros fournisseur

Il utilisera des tuyaux de deux mètres de diamètre environ.

Les paramètres intervenant dans le calcul économique sont les suivants :

d = distance en km fournisseur - centre urbain

p = prix au mètre posé

V = vitesse de l'eau en m/s

D = diamètre du tuyau en m

Q = débit d'eau en m3/s

P = puissance calorifique installée en Kcal/s

Q_M = débit ou flux financier nominal (valeur en francs de l'énergie calorifique transportée par seconde)

Q_a = flux financier moyen annuel

f = facteur d'utilisation = $\frac{\text{P moyenne utilisée}}{\text{P installée}}$

d_M = valeur maximale de d

g = prix de gros de la thermie d'eau chaude

n = durée d'amortissement (ans).

Le diamètre optimal du tuyau résulte d'un compromis entre l'amortissement de l'installation et les dépenses de fonctionnement (pertes de charge principalement).

Pour de gros fournisseurs D est compris entre 1 m et 2 m et V est alors voisin de 1,5 m/s.

...

Le prix p comprend une forte part de génie civil et dépend de la zone d'installation. En 1975 les coûts de pose variaient de 4 000 F/m en zone rurale à 8 000 F/m en zone urbaine pour un tuyau de D = 2 m

$$Q = \frac{V \pi D^2}{4}$$

$$P = Q C_p \Delta t = \frac{V \pi D^2 C_p \Delta t}{4}$$

$$Q_M = 10^{-3} g P \qquad Q_a = f Q_M \times 86\,400 \times 365$$

Coût total $C = \begin{cases} \text{(zone rurale : } 8.10^6 \text{ d} \\ \text{(zone urbaine : } 16.10^6 \text{ d} \end{cases}$

D'où l'éloignement maximal fournisseur-consommateur

$$d_M = \frac{n Q_a}{2 p}$$

Application :

D = 2 m, V = 1,5 m/s, g = 0,04 F, n = 5 ans,
C_p = 1 Kcal/kg, Δ t = 30°, durée moyenne d'utilisation 4 000 h/an
en zone rurale : d_M = 50 km
en zone urbaine : d_M = 25 km.

Les distances maximales envisageables pour le transport d'eau à 80° sont de 50 km pour le gros fournisseurs.

b) Petit fournisseur

On peut penser que les rejets d'eau chaude d'une usine pourront être directement utilisés soit par une autre usine déficitaire, soit par des logements sans passer par la construction d'un réseau. Or le facteur $\frac{P}{Q}$ représentant le prix de revient du tuyau au m3 transporté par seconde croît lorsque le diamètre diminue. Le débit est en effet proportionnel au carré du diamètre et p approximativement proportionnel au diamètre. La distance économique de transport se réduira dans ce cas à quelques kilomètres.

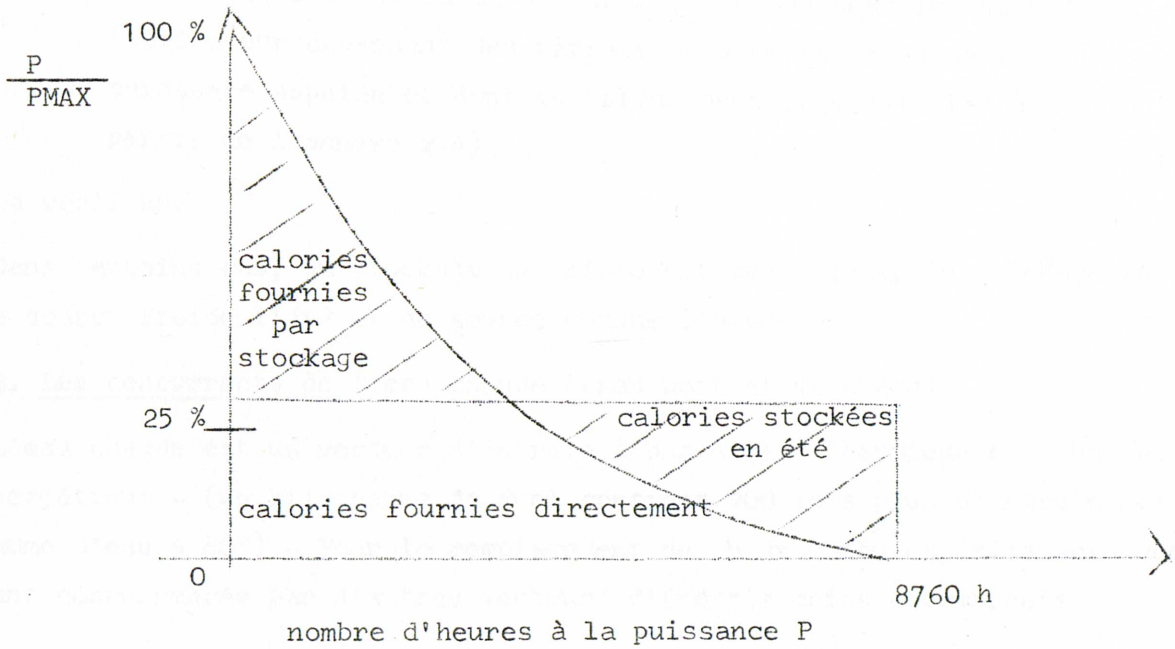
...

2413. Transport de vapeur

Le transport de vapeur peut être envisagé dans le cas d'une centrale nucléaire calorigène ou mixte alimentant un important centre urbain. Cependant pour plusieurs raisons (faible densité de la vapeur, problèmes de condensation, moindre coefficient d'échange thermique, perte importante sur le rendement électrique d'une centrale nucléaire) il sera préférable de s'orienter vers une alimentation des logements à l'eau surchauffée ou même si possible, à l'eau chaude à 80°.

242. Stockage d'eau chaude

Une puissance calorifique installée, quatre fois plus faible que la puissance de pointe, fournirait assez de calories pour la consommation annuelle grâce à un stockage approprié. Mais il faudrait étaler les calories pendant plusieurs mois pour écouler en hiver l'excédent d'été. Ce pourcentage, valable en France pour le chauffage des logements, est dû à la courbe de charge suivante :



...

Les coûts de calcul des réservoirs d'eau chaude restent mal déterminés, il y a peu d'exemple de stockage à température moyenne. Plusieurs catégories de réservoirs sont concevables :

- réservoir à ciel ouvert avec couverture artificielle,

- réservoir souterrain utilisant des couches poreuses ou des structures géologiques peu profondes,

- réservoir entièrement artificiel.

Du point de vue économique, la puissance calorifique de stockage équivaut en fait à une puissance installée quadruple : d'après la courbe de charge le rapport :

$$\frac{P \text{ utilisé}}{P \text{ de pointe}}$$

a une valeur moyenne de 25 %.

En cas de transport d'eau chaude, le stockage doit avoir lieu près des lieux d'utilisation pour faire fonctionner les canalisations à plein débit durant toute l'année.

- page 63 ; lire : Si p est le prix de la thermie, k p Δ t est le prix énergétique équivalent du m3 stocké ; (k est un coefficient multiplicateur dépendant des variations dans le temps de la puissance appelée et dont la valeur peut être calculée à partir de l'annexe 2-4)

iva-

if-

ficile à réaliser.

Dans certains cas, un stockage sur place est avantageux, le stockage servant de source froide l'été et de source chaude l'hiver.

243. Les concurrents de l'eau chaude (transport et stockage)

L'eau chaude est un vecteur d'énergie à bas niveau thermique et à bas niveau énergétique - (un kilogramme de fuel contient 200 fois plus d'énergie qu'un kilogramme d'eau à 80°) - Pour le remplacement des hydrocarbures, elle sera donc fortement concurrencée par d'autres vecteurs d'énergie moins encombrants :

...

Les coûts de calcul des réservoirs d'eau chaude restent mal déterminés, il y a peu d'exemple de stockage à température moyenne. Plusieurs catégories de réservoirs sont concevables :

- réservoir à ciel ouvert avec couverture artificielle,

- réservoir souterrain utilisant des couches poreuses ou des structures géologiques peu profondes,

- réservoir entièrement artificiel.

Du point de vue économique, la puissance calorifique de stockage équivaut en fait à une puissance installée quadruple : d'après la courbe de charge le rapport :

$$\frac{P \text{ utilisé}}{P \text{ de pointe}}$$

a une valeur moyenne de 25 %.

En cas de transport d'eau chaude, le stockage doit avoir lieu près des lieux d'utilisation pour faire fonctionner les canalisations à plein débit durant toute l'année.

Si p est le prix de la thermie, $k\, p\, \Delta t$ est le prix énergétique équivalent du m3 stocké. Si n est la durée d'amortissement, le coût d'investissement doit être inférieur à $4\, pn\, Dt$ par m3.

Application : p = 3 centimes, Δ t = 40°, n = 10 ans

Le coût d'investissement ne doit pas dépasser 50 F le m3, ce qui est difficile à réaliser.

Dans certains cas, un stockage sur place est avantageux, le stockage servant de source froide l'été et de source chaude l'hiver.

243. Les concurrents de l'eau chaude (transport et stockage)

L'eau chaude est un vecteur d'énergie à bas niveau thermique et à bas niveau énergétique - (un kilogramme de fuel contient 200 fois plus d'énergie qu'un kilogramme d'eau à 80°) - Pour le remplacement des hydrocarbures, elle sera donc fortement concurrencée par d'autres vecteurs d'énergie moins encombrants :

...

- l'électricité (pour le transport),

- l'hydrogène qui peut être produit abondamment grâce aux centrales nucléaires ; son recyclage est de plus automatique,

- l'aluminium (par recyclage de l'alumine près des centrales nucléaires) ou d'autres métaux.

Ainsi une baisse trop forte du prix du Kwh nucléaire, par rapport au prix du fuel, serait à long terme défavorable au marché de l'eau chaude.

...

III - DEVELOPPEMENT DES "BOURSES D'EAU CHAUDE"

31. L'ATTITUDE DES PROTAGONISTES

Nous examinerons successivement l'attitude des industriels, d'E.D.F., du C.E.A., des promoteurs immobiliers, des agriculteurs et des compagnies de chauffe face aux problèmes de l'énergie et des basses calories.

Pour les industriels, plusieurs types d'économie d'énergie sont possibles. Immédiatement on s'attachera à réduire le gaspillage en récupérant la chaleur des effluents liquides et gazeux ; auparavant, ces effluents étaient brûlés à la torche (gaz résiduaires), évacués par la cheminée (mélange d'air chaud et de vapeur d'eau) ou rejetés à l'égoût (eaux chaudes). Les économies sont limitées mais les investissements sont faibles (donc aisément réalisables) avec pay-out inférieur à 2 ans. A moyen terme, dans les industries alimentaires et papetières, on brûlera après évaporation les déchets organiques. Mais il y a peu de cas favorables : les déchets ont souvent plus de valeur intrinsèque que n'en a leur combustion.

A long terme, la nature même des processus industriels est remise en cause. Des études, retardées par le bas prix de l'énergie, permettront d'acquérir une meilleure connaissance des consommations spécifiques. Les économies parfois considérables, nécessitent des investissements lourds. Or, pour les industriels, très endettés, inquiets par le climat économique et social, l'argent est plus précieux que le pétrole. Une installation doit être amortie en moins de 2 ans et l'argent a tendance à s'orienter, en priorité, vers l'accroissement des moyens de production.

Cependant les consommations spécifiques d'énergie ont fortement diminué au cours des quinze dernières années. Les industriels ne sont donc pas tous indifférents : leur degré d'indifférence est très variable suivant la part des achats énergétiques dans leur chiffre d'affaires (tableau inter-industriel). On passe de 2 % du chiffre d'affaires (industrie pharmaceutique) à plus de 25 % (sidérurgie, verrerie).

Aux problèmes financiers, s'ajoutent d'autres causes de méfiance : une installation nouvelle exige une main d'oeuvre supplémentaire souvent assez qualifiée et le surcroît d'hommes et de matériel diminue la fiabilité de l'ensemble. "L'économie d'énergie se ferait au détriment de la souplesse (pas de surpuis-

...

sance) ou de l'indépendance (canalisations d'eau) ; l'indépendance vis-à-vis de l'étranger ne doit pas être acquise au prix d'une dépendance vis-à-vis de tiers". Cette rigidité peut en outre être la cause de problèmes juridiques épineux.

E.D.F. est fortement concernée par le développement d'un marché de basses calories ; une variation du prix du kwh modifie les choix économiques : or actuellement E.D.F. est déficitaire par suite d'un prix trop bas du kwh et cela défavorise la récupération de basses calories ou la mise en place de systèmes concurrents (turbines à contre-pression).

Par ses rejets d'eau chaude, E.D.F. est le premier fournisseur du marché. Mais ces eaux restent inutilisables par suite de leur trop basse température. Il faudrait relever la température au condenseur au détriment d'une légère baisse du rendement électrique. Une modification du statut de l'entreprise s'impose : E.D.F. doit être considérée comme fournisseur d'eau chaude autant que d'électricité. Les modalités de vente d'eau chaude, notamment le prix, resteraient à fixer.

Les ingénieurs E.D.F., de part leur formation et le poids de l'habitude montrent des réticences et empêchent la mise en place du "marché de l'eau chaude" en voulant vendre leurs basses calories à des prix prohibitifs. L'utilisation de pompes à chaleur pour remonter la température des rejets est trop onéreuse ; cette solution retenue pour le chauffage de serres (3 000 m2) à Saint Laurent des Eaux ne fait que pousser à la consommation d'électricité.

Le C.E.A. est très intéressé dans le remplacement des hydrocarbures par l'énergie des centrales nucléaires. Mais c'est pour concurrencer le "marché de l'eau chaude" : des centrales calogènes alimenteraient des villes ou de grosses usines avec de la vapeur. Les H.T.R., par la dissociation de l'eau à haute température et la fabrication d'hydrogène, offriraient de nombreux avantages de transport et de souplesse. Malheureusement les coûts restent trop élevés.

Les promoteurs immobiliers et les agriculteurs partagent l'inertie des autres professions. L'utilisation de l'eau chaude pour le chauffage de logements ou de serres modifierait complètement leurs concepts.

L'agriculteur, de nature indépendante, regarde avec inquiétude la mise en oeuvre d'une technique qu'il ne connaît pas. De plus, les exploitations de serres

...

sont beaucoup trop nombreuses et trop clairsemées. Il faudrait installer de grandes superficies près des rejets d'eau chaude. Pour les promoteurs, les investissements supplémentaires se répercuteraient sur le prix de vente ; or, à l'achat, le particulier est beaucoup plus sensible au prix comptant qu'aux futures dépenses de chauffage.

L'organisation du "marché de l'eau chaude" nécessite des compétences dans le transport de l'eau et dans le thermique. Un regroupement de compagnies de distribution d'eau potable et de compagnie de chauffe est souhaitable. Ces sociétés prendraient en charge le fonctionnement des réseaux de transport.

Mais leurs ressources limitées, ainsi que la réticence à investir des fournisseurs et des utilisateurs d'eau chaude exige la mise en place d'une aide importante de l'Etat, sous forme de prêts à long terme ou de subventions.

C'est une mentalité collective de gaspillage qu'il est nécessaire de changer en commençant au niveau de chaque individu. Verra-t-on un jour sur les boutons d'éclairage des usines "N'oubliez pas d'éteindre" ou un clignotant rouge s'allumer dans les locaux lorsque la température dépassera un seuil fixé ?

32. CONDITIONS A REUNIR POUR DEVELOPPER LE "MARCHE" DES EAUX CHAUDES

Nous avons vu que toute économie d'énergie exige une contrepartie, sous forme d'un investissement matériel et d'une régulation plus serrée du système énergétique. En clair, elle impose des contraintes supplémentaires à l'industriel, fournisseur ou utilisateur d'eau chaude, ce qui l'oblige à gérer son outil de production de façon plus sophistiquée. Quand il s'agit d'alimenter en basses calories plusieurs clients différents, le problème devient si complexe qu'il est hors de question d'en laisser la charge au fournisseur. Ce serait condamner d'avance tout développement du marché. Or ce sera le cas général.

Nous proposons quelques solutions. Cependant, le poids des contraintes et la lourdeur des investissements nécessaires, aggravés par la promesse d'une énergie électrique nucléaire à bon marché, constituent des obstacles sérieux. Nous étudierons donc les problèmes de financement, de tarification et de fiscalité et les mesures d'incitation envisageables.

...

321. L'organisation du marché

Il convient de distinguer deux types d'opérations :

- Les opérations bilatérales entre deux établissements industriels. Il en existe de forts célèbres (Terminal Méthanier - GDF - Air Liquide). D'autres sont en cours de négociation (Shell Petite Couronne / Société Normande de Papeterie). On peut citer d'autres exemples analogues ne concernant pas l'énergie (fourniture de saumure par GDF à Solvay). Ces contrats aboutissent toujours très difficilement, car les exigences des deux industriels s'accordent mal. Il faut vraiment qu'une impossibilité matérielle d'agir autrement (ex : rejet de la saumure dans une rivière) amène des concessions (vente de la saumure à un prix négatif).

Ou alors, cas rarissime, la complémentarité des deux établissements est évidente et le gain est assuré au prix de très légères contraintes.

Dans le cas des rejets considérables de centrales thermiques ou d'EURODIF, il faudrait au moins une dizaine de très grosses usines pour absorber la puissance disponible. Ce problème serait insoluble par la voie de contrats bilatéraux du fait des exigences contradictoires de ces clients.

Il y a donc de solides raisons de croire que la formule des contrats bilatéraux restera confinée à des cas particuliers favorables. Certains de ces cas pourront représenter une économie notable. Mais pour entamer largement le marché principal, qui est celui du secteur résidentiel et tertiaire, il faut trouver une formule plus souple et par suite plus générale :

- il faut libérer le fournisseur du maximum de contraintes, pour l'inciter à livrer des calories,

- il faut garantir un service suffisant à l'utilisateur, pour l'inciter à acheter des calories.

Pour résoudre ce problème, la meilleure solution est de mettre en place un intermédiaire qui prend à son compte la charge de maintenir la qualité du service.

- Les entreprises de préparation et de distribution de l'eau chaude

Cette formule permettrait, à condition que la rentabilité économique soit acquise (nous étudierons ce point par la suite), un développement rapide des marchés des eaux chaudes.

...

Une société de chauffage urbain (X par exemple) s'assurera d'un certain nombre de ressources d'eau chaude (industriels géothermie, chaufferie). L'industriel fournisseur fera l'investissement nécessaire pour produire cette eau chaude (échangeur, chaudière de récupération). La société X lui garantira l'achat des thermies disponibles à un tarif conférant une rentabilité convenable à son investissement. Ce prix d'achat ne pourra excéder le prix de la thermie fuel. Le contrat pourra contenir une clause de débit plafond, afin d'éviter le dépassement des besoins.

Quelle sera l'activité de la société X ?

Recueillant les eaux chaudes d'origines diverses, à température et débits variables, fournir aux clients une eau à température stable, en quantité suffisante. On n'utilisera pas directement l'eau des fournisseurs, mais on passera par des échangeurs à plaques, afin d'obtenir la qualité chimique requise au secondaire indépendamment du primaire. A l'aide de bacs de stockage bien dimensionnés, il sera possible d'éliminer les "pointes" caractéristiques des besoins domestiques. La chaufferie au fuel, ou au gaz, assurera le réchauffage "fin" en temps normal, et la totalité du chauffage en cas d'arrêt prolongé de toutes les fournitures allant jusqu'à épuisement des stocks. Plus l'approvisionnement sera diversifié, plus il sera sûr.

On peut même envisager, si les ressources sont importantes, qu'il y ait plusieurs réseaux de distribution (eau adoucie à 60°, eau adoucie à 90°, eau surchauffée à 140°) adaptés à plusieurs catégories de clients.

La concentration des ressources en basses calories dans les mains de la société X présente, nous l'avons vu, plusieurs avantages :

- sécurité d'approvisionnement,
- en conséquence, économie du fuel mieux garantie.

Mais elle peut avoir quelques dangers, si elle est conduite sans discernement : il faut éviter que la société X ne s'empare du monopole du chauffage urbain dans toute une agglomération et puisse fixer les prix à son gré, assurée de son marché "captif". D'autre part, il ne faudra pas négliger les ressources isolées dans les villes moins importantes.

...

322. La rentabilité économique et le financement

3221. La rentabilité économique

Il faut mettre en balance :

- les investissements consentis à l'instant zéro,
- les économies de frais d'exploitation (combustibles)

pendant les 10, 20, 30 années qui suivent.

On peut exprimer ceci, en supposant que les frais d'exploitation ne diffèrent que par les dépenses de combustible, par le rapport des investissements au tonnage de fuel économisé annuellement. Nous avons vu que le doublet géothermique équipé (type Melun) peut coûter 3 500 F par tonne économisée et fournit de l'eau à 70° environ. Pour exploiter une ressource d'origine industrielle, les investissements se limiteront à :

- des échangeurs,
- une conduite d'eau (aller-retour),
- un bac de stockage.

Dans de nombreux cas, le coût des échangeurs sera négligeable, l'eau chaude étant disponible d'emblée (haut-fourneaux, usines de pâte à papier, etc..) En général les échangeurs liquide-liquide sont peu coûteux. Un échangeur à plaques dont le rendement est de 90 % coûte environ 100 F/tonne de fuel économisée. S'il s'agit d'un échange gaz-liquide, le coût ne dépassera pas en règle générale 1 000 F/ tonne de fuel. La ressource industrielle reste donc compétitive par rapport à la géothermie si le coût des conduites et du stockage n'excède pas 2 500 F à 3 000 F/tef. Admettons un stockage correspondant à un mois de consommation hivernale, soit environ 50 m3 d'eau (pour 1 tonne de fuel économisée annuellement).

D'après Tovy Grjebine, le coût d'un réservoir serait de l'ordre de 15 F/m3. Même si nous doublons ce dernier chiffre, le stockage mensuel revient à 1 500 F, ce qui laisse encore une marge pour les conduites, de l'ordre de 1 000 à 1 500 F.

3222. Le financement

Les investissements à engager sont relativement lourds. Le désencadrement du crédit ne suffit pas pour les rendre plus attractifs. Au tarif de 350 F la

...

tonne de fuel lourd, que nous supposons maintenu en francs constants, le pay-out est de 10 ans, avec un taux d'actualisation nul. Si on adopte le taux de 13 % choisi pour le 7° plan, le revenu actualisé est négatif (quelle que soit la durée de vie de l'investissement).

En fait, les différents protagonistes (industriels fournisseurs, sociétés de géothermie, promoteurs immobiliers, industriels utilisateurs) seront amenés à emprunter sur le marché financier à long terme. Or, les taux d'intérêt actuels sont particulièrement élevés, du fait de l'inflation. Ce n'est pas le moment propice pour emprunter, car on peut "craindre" une réduction sensible de l'inflation. Dans ce cas le taux d'intérêt déflaté par les prix (i_o - p) monterait à un niveau tel que les remboursements opérés excéderaient les revenus engendrés par l'investissement.

Pour garantir les investissements de cette menace, tant que le taux d'inflation se maintiendra au niveau actuel, il faudrait leur consentir des prêts à taux d'intérêt réduit sur 10 ou 15 ans. De toute façon, dans une première phase, il faut réaliser des opérations-pilotes exemplaires afin de démontrer la faisabilité technique, juridique et économique des bourses d'eaux chaudes. Les industriels redoutent notamment en ces temps incertains, que les matériels économiseurs d'énergie, qui sont coûteux, ne les enferment dans un carcan de contraintes d'exploitation et nuisent ainsi à leur faculté d'adaptation et d'innovation.

Pendant une à deux années, il convient donc de susciter et de subventionner par le biais de l'Agence Nationale pour les Economies d'Energie, quelques réalisations de moyenne importance ayant caractère d'exemple. Par la suite, si les résultats sont jugés bons, les sociétés de chauffe, développeront les installations sous le contrôle de l'administration. Pour arriver en 5 ans à un gain annuel de 1 M tef, il faudra investir en gros trois milliards de francs, soit 600 millions par an, ce qui pèsera sur le marché financier. Mais les grandes compagnies de chauffe sont intégrées dans des groupes puissants (ELF, SGPM, Générale des Eaux).

323. Tarification de l'énergie

Nous avons admis pour simplifier, dans le paragraphe précédent, le maintien du prix du fuel lourd en francs constants à 350 F/t. Nul ne croit sérieusement

...

à une baisse sensible de ce prix à moyen ou long terme. Nos considérations sur la rentabilité des investissements visant à économiser le fuel ne sont pas remises en cause par des contestations sur les prix du fuel.

Par contre, c'est l'électricité qui est appelée à jouer le rôle directeur et que l'on prend comme référence, à la suite des campagnes d'E.D.F. annonçant pour 1985 un tarif de 5 centimes le kwh en haute tension. A ce prix, compte tenu des avantages reconnus au chauffage électrique (distribution facile, régulation, investissement moins lourd) et du rendement d'un chauffage au fuel (pertes à la combustion, pertes au transport), la basse calorie électrique recueille tous les suffrages.

Certes, ce "paradis" électro-nucléaire n'est pas immédiat. Il faut attendre 10 ans. Mais ce délai est trop court pour qu'on se lie par des investissements importants, dont le temps de pay-out peut dépasser 10 ans, et qu'on se trouve défavorisé en 1985 par rapport aux concurrents convertis à l'électricité. Ce raisonnement est correct, mais il repose tout entier sur le tarif de 5 centimes le kwh. Il semble que les dernières évaluations de l'E.D.F. soient moins favorables. Il est urgent d'établir la vérité sur ce point, avec une large publicité. Faute de quoi les investissements garderont leur réserve vis-à-vis des procédés et matériels économiseurs d'énergie.

Cela dit, les prix pratiqués par l'E.D.F. en haute-tension sont aujourd'hui notablement inférieurs à ceux des autres pays du Marché Commun. Le rehaussement de ces tarifs à un niveau comparable à celui pratiqué chez nos voisins serait propice au développement de tous les dispositifs de récupération de calories, pour les raisons exposées plus haut. Il permettrait d'autre part à E.D.F. d'améliorer son taux d'autofinancement et de faire face aux investissements du programme électro-nucléaire. Par contre, il n'encouragerait pas les exploitants des centrales thermiques (EDF, Houillères, Sidérurgistes) à remonter la température de condensation, car il dévaloriserait l'énergie calorifique par rapport à l'énergie électrique.

324. Les formes d'incitation spécifiques

Les bourses des eaux chaudes bénéficieront bien sûr de toutes les mesures générales d'ordre réglementaire, fiscal ou financier et des campagnes publicitaires en faveur des économies d'énergie primaire.

...

Mais il importe aussi de hâter leur éclosion et leur développement à l'aide de mesures spécifiques d'orientation moins générale (ou d'un faisceau de mesures convergeant sur ce point).

3241. Centralisation du chauffage

Une condition sine qua non de la réalisation des marchés des eaux chaudes est de rendre possible la pose des réseaux de collecte et de distribution.

- Tous les obstacles juridiques devraient donc être levés, du moins dans les zones où le chauffage urbain est jugé intéressant, d'après le coefficient d'occupation des sols (COS).

- Il est même souhaitable, selon nous, d'imposer le chauffage urbain centralisé au-dessus d'un certain COS. Il resterait alors à décider, cas par cas, du degré d'intégration et de centralisation des réseaux de chauffage, en tenant compte des dangers d'un monopole sur le plan des tarifs et de la fiabilité du service.

- Cette réglementation pourrait valoir aussi bien pour les quartiers neufs que pour les quartiers anciens en cours de rénovation.

Il est bon de rappeler les avantages du chauffage urbain : meilleur rendement de combustion, grâce à l'entretien et au réglage des chaudières, conduites par des spécialistes ; éloignement de la pollution par l'élimination des foyers individuels émetteurs de poussières et de SO_2. Si la chaufferie urbaine brûle du fuel lourd, alors que le foyer individuel exige du fuel domestique, la concentration en polluants dans la zone chauffée sera néanmoins inférieure en chauffage urbain, du fait de la distance et de la hauteur de la cheminée.

Le maintien et l'extension des réseaux de chauffage urbain constituent des facteurs essentiels. Même si la chaufferie est au fuel, tout est préservé. Il sera toujours facile, au moment opportun, de la convertir à un autre type d'énergie thermique. Sans réseau de chauffage centralisé ce serait un tout autre problème. Nous attachons donc la plus grande priorité à la promotion du chauffage urbain centralisé.

Dans le même but, il convient de promouvoir le chauffage collectif d'immeuble de préférence au chauffage individuel. Ceci diminuera le nombre de foyers dans les zones où le chauffage urbain est aujourd'hui trop coûteux du fait de l'insuffisante densité d'occupation du sol.

...

Il convient d'insister ici sur le rôle que pourront jouer les collectivités locales, notamment les ingénieurs des services techniques des grandes villes, dont la formation doit être particulièrement suivie.

3242. Usage d'eau tiède (40 à 60°) pour le chauffage

Le taux d'isolation conforme aux nouvelles normes doit permettre, à très peu près, d'abaisser la température de l'eau de chauffage de 90° à 60°, sans changer la surface des radiateurs. Si on laisse toute liberté aux chauffagistes, la surface de radiateurs sera réduite de moitié et on maintiendra la température de 90°, afin de diminuer les investissements. Il nous semble à première vue (et cela mérite une étude) que le gain obtenu est négligeable face aux inconvénients potentiels de ce système : rigidité, difficulté de conversion si le prix des combustibles monte à nouveau. On ne dispose pas souvent d'eau chaude à 90°. Il faut alors recourir à des pompes à chaleur ou à des chaudières électriques.

Autre point important : la température des retours, qui peut aller de 80 à 30° selon le type de chauffage. Plus elle est basse, plus on retire de calories de l'eau chaude disponible.

Pour ces diverses raisons, il pourrait être bon d'imposer une norme pour la température d'eau de chauffage (à moduler selon le type de logements) pour tous les logements neufs, ainsi que pour les logements anciens dont l'isolation sera améliorée.

Les systèmes à sols chauffants et à ventilo-convecteurs sont à promouvoir vigoureusement auprès des promoteurs immobiliers, des architectes et du public, dès aujourd'hui. D'autre part, il faut donner la préférence aux systèmes qui permettent une régulation par le débit plutôt que par la température. Le système classique de régulation par la température ne convient plus lorsqu'on dispose d'une ressource d'eau à température fixe. Là encore, le ventilo-convecteur est bien adapté.

Au niveau du réseau de distribution, l'utilisation d'eau chaude comme fluide caloporteur entraîne un surcoût, car elle exige des tuyaux de plus gros diamètre. En fait tout dépend de l'écart de température entre l'aller et le retour, qui devrait généralement être réduit. Ceci est à prendre en compte dans l'établissement des normes de température.

...

3243. Recensement et mise en valeur des effluents industriels

L'examen des installations consommant de l'énergie thermique décidé par l'arrêté du 20 mai 1974 (complété par l'arrêté du 7 novembre 1974), a déjà permis d'amasser une information suffisante. Le recensement des rejets industriels est donc bien engagé.

La mise en valeur de ces effluents est une autre affaire, du fait des réticences des industriels à l'égard d'une contrainte extérieure. Les premiers pas se feront par des opérations-pilotes subventionnées. Par la suite, il pourrait être utile d'instituer un système de redevances perçues par l'Agence Nationale pour les Economies d'Energie afin de financer les opérations prioritaires par des prêts et subventions aux industriels. Certes de nombreux effluents chauds sont aussi polluants et donc taxés par les agences de Bassin. Dans certaines usines, ils sont refroidis pour le passage en station d'épuration. Une bonne part des circuits de refroidissement sont semi-ouverts ; les calories sont évacuées à l'atmosphère. En conséquence, si on veut taxer les rejets d'eau chaude, il faut aussi taxer les rejets thermiques à l'atmosphère dus à l'usage d'aéroréfrigérants fermés ou semi-ouverts. De là, on passe forcément à la taxation des calories émises par les cheminées des installations de combustion (au-dessus d'une température donnée). Imaginons par exemple un établissement qui brûle 1 000 tonnes de fuel lourd par an, dont les rejets thermiques taxés sont de 10 %, soit 100 tonnes. Si le taux de taxation est de 200 F/tef rejetée, la taxe atteindra près de 6 % du coût du fuel. Nous avons estimé entre 100 et 1 000 F/tef l'investissement à réaliser, pour mettre en valeur les rejets thermiques. Si l'industriel vend l'énergie ainsi récupérée au prix de 200 F/tef, il gagne 400 F/tef. Ce qui assure la rentabilité.

Le produit de ces redevances serait, en l'état actuel, de plusieurs centaines de millions de francs. Mais il faudrait plusieurs centaines d'agents pour les calculer et les percevoir. On peut songer alors à une taxe parafiscale de quelques francs par tonne sur les fuels lourds, de mise en oeuvre immédiate. Cette deuxième solution aurait le défaut de ne pas être assez incitative. Un bon équilibre pourrait consister en une taxe assise sur les consommations jugées arbitrairement excédentaires (par exemple au-delà de 85 % de la consommation d'une année de référence) dont le taux pourrait atteindre 200 F/tef ou plus.

...

3244. L'usage de l'eau chaude dans l'industrie

C'est sur ce point que les difficultés seront les plus grandes. Il faut sensibiliser les constructeurs de matériel, les sociétés d'ingéniérie, les centres techniques des branches concernées, profiter de créations ou d'extensions d'usines pour faire progresser l'usage de l'eau chaude là ou la vapeur n'est pas indispensable.

Cela demande un sérieux bouleversement des habitudes acquises et des études novatrices en matière de conception des ateliers et des machines. Pour ces études et leur promotion, il sera possible de s'appuyer sur certains constructeurs de matériels occupant déjà ce créneau, sur des bureaux d'études spécialistes de la thermique, et sur les grosses entreprises de chaque branche qui disposent de leurs propres bureaux d'étude.

33. DEVELOPPEMENT POTENTIEL LOCAL DES "BOURSES D'EAUX CHAUDES"

Nous essaierons de confronter les ressources aux besoins dans les deux départements que nous avons le mieux étudiés, le Nord et la Seine et Marne.

331. Dans le Nord (et le Pas de Calais)

Des ressources géothermiques existent probablement (Dévonien), mais il faudrait les cerner par des forages d'exploration. (La région n'a pas été le siège d'une exploration pétrolière). Il ne faut donc pas compter sur cette ressource. Par contre, il y a de nombreuses centrales thermiques (EDF, HBNPC) et un site de centrale nucléaire où les travaux ont débuté, à Gravelines. La sidérurgie, l'industrie du verre, la fonderie, l'industrie de la pâte à papier, les raffineries et les cokeries offrent des ressources importantes à proximité de zones à forte densité de population.

Quant aux besoins industriels, ils sont fortement concentrés à Lille - Roubaix - Tourcoing, dans l'industrie de l'ennoblissement textile et les industries agro-alimentaires. Les principales ressources ne sont pas localisées dans cette agglomération, mais dans le bassin minier et sur le littoral. Il faut donc s'intéresser avant tout aux besoins résidentiels et tertiaires, qui sont plus largement répartis dans la région.

...

a) Le littoral entre Calais et Dunkerque est la zone la plus favorable. Les centrales thermiques, le complexe sidérurgique d'USINOR, l'usine des Dunes de Creusot-Loire, les raffineries C.F.R. et B.P., le vapo-craqueur de C.D.F. - Chimie (mise en service en 1978) ont des ressources potentielles qui excèdent largement les besoins de l'agglomération.

Utilisation industrielles possibles : huilerie Lesieur de Coudekerque-Branche, conserverie de légumes "Semeuse" à Bierne (10 km au Sud de Dunkerque), industries textiles de Calais.

Cela reste extrêmement limité par rapport aux ressources.

Utilisations agricoles : la région aune vocation maraîchère certaine, comme en témoigne la présence de la conserverie de Bierne. Il y a sans doute là un débouché à explorer.

Utilisations résidentielles et tertiaires : l'agglomération dunkerquoise connaît une croissance très rapide (+ 40 000 H de 1968 à 1975). Le taux de logements récents à chauffage collectif y est donc particulièrement élevé ainsi que le rythme de construction immobilière.

Les zones intéressées au premier chef sont les suivantes :

- Grande Synthe, Fort Mardyck (à moins de 2 km d'USINOR), Saint Pol sur Mer, Petite Synthe (à moins de 4 km), Dunkerque, Coudekerque (6 à 7 km).

- Malo les Bains, Rosendaël (à 4 km de l'usine des Dunes), le sanatorium de Zuydcoote (à 2 km de cette même usine).

La présence d'un véritable réseau de canaux, dont la plupart ne sont plus guère fréquentés par les péniches, faciliterait-elle la pose de conduites d'eau chaude ? Le canal de Dunkerque à Furnes peut servir d'axe joignant l'usine des Dunes à USINOR et B.P. ; le canal de Bergues permettrait de desservir l'arrière-pays (Bierne). Quant à la centrale nucléaire de Gravelines, elle pourrait être combinée à une usine de dessalement de l'eau de mer, et desservir l'agglomération calaisienne en eau chaude.

b) Le Boulonnais

Les conserveries de poissons sont l'activité industrielle principale de Boulogne. On projette de développer une industrie de préparation d'aliments con-

...

gelés (légumes, viandes), ce qui suppose des cultures maraîchères dans les campagnes du Boulonnais. Face à ces deux utilisations potentielles, industrielle et agricole, une ressource de bonne taille, les aciéries de Paris-Outreau, à Outreau (distance 1 km).

c) Le Bassin Minier

Pas d'industries textiles, sauf à Auchel et Marly. Industries alimentaires plutôt rares, à l'exception du Valenciennois, à l'Est du Bassin.

Peu de cultures maraîchères.

Par contre, la population est très dense et les usines sont intimement mêlées au tissu urbain.

Les principales ressources sont, d'Ouest en Est : C.D.F. -Chimie à Mazingarbe, la centrale de Violaines, Boussois à Wingles, la centrale de Harnes, la cokerie de Drocourt, l'usine de pâte à papier Béghin de Corbehem, Boussois et Saint Gobain à Aniche, les centrales d'Hornaing et Bouchain, Usinor à Denain, la raffinerie Antar à Haulchin, Usinor à Trith-Saint-Léger, Vallourec à Anzin.

Les utilisateurs industriels possibles sont : la laiterie La Roche aux Fées de Cuincy, près de Douai, la levurerie et la malterie de Prouvy, proches de la raffinerie Antar, la malterie Dreyfus de Valenciennes.

Le secteur du logement offre plus de débouchés, avec les constructions d'immeubles à la périphérie des villes et avec la "réhabilitation" des cités minières. Ces travaux de rénovation portent sur l'équipement sanitaire des logements, sur l'assainissement. Ils pourraient être complétés par l'amélioration de l'isolation thermique et la pose d'un réseau de chauffage de quartier si la densité des logements le permet.

d) La métropole régionale (Lille-Roubaix-Tourcoing)

La métropole se caractérise par un dynamisme immobilier nettement supérieur à celui du Bassin Minier, mais moindre qu'à Dunkerque, par la prédominance des industries utilisatrices textiles, et alimentaires sur les ressources. Il faut donc d'abord recenser les ressources :

...

- la communauté urbaine possède plusieurs usines d'incinération d'ordures ménagères. Aucune ne valorise les calories produites. Ces usines sont à la lisière du tissu urbain (ex. Sequedin),

- Kuhlmann est implanté à la Madeleine, Wattrelos et Loos (produits chimiques),

- à Haubourdin, se trouvent les établissements de la Société des Produits du Maïs et de la Savonnerie Lever, dont les effluents nous sont malheureusement encore mal connus,

- la centrale E.D.F. des Ansereuilles (500 MW) présente l'intérêt de n'être qu'à 6 km de la zone industrielle de Seclin.

Nous observons que :

- à partir de Sequedin ou Haubourdin, pourraient être desservies les usines textiles de Loos (DMC),

- à partir des Ansereuilles, la zone de Seclin et Wattignies (Gervais-Danone, La Pie qui Chante, Revlon, Mayolande, Rapidase ...). La distance semble cependant trop grande,

- l'usine Kuhlmann de la Madeleine est proche des établissements Olida-Caby de Saint André, alors que celle de Wattrelos est entourée d'usines textiles.

Cette évaluation rapide des potentialités paraît donc encourageante et un approfondissement serait justifié.

e) Autres parties de la région

L'Audomarois présente des caractères favorables : un fournisseur potentiel, la verrerie d'Arques et des utilisateurs agricoles (maraîchers) et industriels (conserverie Bonduelle à Benescure, papeterie de Wardrecques, Tannerie de Blendecques) dans un rayon de quelques kilomètres.

Les immeubles en construction au Nord-Est d'Arras pourraient être chauffés à partir de Rhône-Poulenc textile (Saint Laurent Blangy).

Enfin, la Vallée de la Sambre, d'Aulnoye à Jeumont, présente plusieurs situations favorables (Vallourec à Aulnoye, E.D.F. à Pont sur Sambre, B.S.N. à Boussois, sidérurgie à Louvroil Hautmont).

...

332. En Seine et Marne

Des ressources géothermiques importantes (70 - 80°) couvrent toute la région. C'est la partie la plus chaude de la nappe du Dogger.

Il existe en outre plusieurs centrales thermiques E.D.F. au fuel (750 MW installés à Montereau, 500 MW à Vaires sur Marne), une raffinerie à Grandpuits, près de Nangis, deux verreries (Nemours, Bagneaux sur Loing).

Les besoins industriels sont assez dispersés, ce sont pour la plupart des industries alimentaires : chocolaterie (Noisiel, Dammarie les Lys), cidrerie (Bellot), conserveries (Lagny), papeteries (Boissy le Châtel, Château Landon, Jouy sur Morin) et de nombreuses laiteries-fromageries (fromage de Brie).

La région, à vocation agricole, possède les plus grandes serres de culture florale (roses) de France.

Mais ces besoins sont trop isolés, trop éloignés des sources d'eau chaude, et chacun trop peu important pour justifier un forage géothermique.

C'est donc le secteur du logement qui, dans cette région, offre pratiquement le seul débouché pour l'eau chaude. Mais le dynamisme de ce secteur illustré par la création de villes nouvelles, suffit pour envisager avec optimisme l'extension des forages géothermiques.

CONCLUSION

Les eaux chaudes industrielles ou souterraines constituent un véritable "gisement" énergétique réparti sur une grande partie du territoire, d'importance considérable :

- la géothermie, disponible sur une bonne partie du pays, et notamment dans la région parisienne, peut représenter dès 1985, 2 M tef/an et ce pendant bien plus de trente ans,

- les rejets industriels sont plus concentrés, mais présents dans un très grand nombre de sites urbains. Leur potentiel est de l'ordre de 2 M tef/an. Ils seront exploités s'il se trouve des utilisateurs à proximité. Notons que cette ressource est somme toute assez limitée et pourrait se réduire encore à long terme du fait des économies internes.

- les rejets de très grande puissance en un petit nombre de sites des centrales thermiques ou des usines d'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse sont difficiles à valoriser car l'eau chaude ne peut se transporter à plus d'une cinquantaine de kilomètres. La solution serait de rapprocher les sites de centrales des zones urbaines et industrielles. Il est donc hasardeux de faire une estimation des économies réalisables. Rappelons simplement que les calories rejetées par un groupe de 1 000 MW électriques équivalent en gros à 1,5 million de tonnes de fuel par an.

La valorisation des eaux chaudes exigera des investissements lourds, de 2 000 à 4 000 F par tonne de fuel économisée par an, compte tenu du coût du transport et du stockage bien souvent nécessaire. Pour un gain de 1 M tef/an. Il faudra donc investir quelques 3 milliards de francs. Une participation de l'Etat semble nécessaire, si on veut mener à bien ce programme avant 1985. Mais cela ne suffit pas. Il y a d'autres obstacles, dont le premier est le manque d'utilisateurs, même dans le domaine essentiel, celui du chauffage des logements.

L'usage d'eau tiède à 50 ou 60° ne s'y fera dans de bonnes conditions qu'après une adaptation de l'urbanisme, de l'architecture et des matériels chauffants.

En ce sens, il faut favoriser les réseaux de chauffage centralisés et l'utilisation directe d'eau tiède dans le logement. Celà est essentiel, car c'est bien dans le secteur résidentiel et tertiaire que se trouve le débouché

...

principal des eaux chaudes, l'industrie et l'agriculture ne constituant en règle générale qu'un débouché secondaire. Du côté des utilisateurs industriels, la difficulté provient de la crainte d'être lié par un faisceau d'interdépendances qui viennent compliquer l'exploitation. C'est une constatation de portée très générale : toute économie d'énergie exige de l'information, de la "matière grise", c'est-à-dire du travail humain qualifié. Il s'agit de mettre fin au relatif laisser-aller des années soixante.

Il y a aussi un problème de localisation. Fournisseurs et utilisateurs sont souvent trop éloignés. Ce n'est guère que dans les grandes agglomérations à industrie diversifiée (Paris, Lyon, Lille, Roubaix, Tourcoing, Bassin Minier du Nord) ou dans les trois zones industrielles portuaires (Dunkerque, Calais, Le Havre - Rouen, Marseille - Fos) que l'on est presque assuré de résultats favorables. Pour ce qui est des centrales nucléaires, il convient de rechercher des sites convenables en accord avec les industries grosses consommatrices d'énergie thermique et des sites péri-urbains en vue du chauffage des villes.

Le but à atteindre est le développement aussi rapide que possible, dans la limite des investissements acceptables, des "bourses d'eaux chaudes" à l'échelon local. La formule la plus souple serait de créer un intermédiaire ayant compétence en matière de thermique et de distribution d'eau, entre fournisseurs et utilisateurs. On éliminerait ainsi certaines contraintes, tout en assurant une meilleure exploitation de la ressource.

Quelle peut être l'intervention des pouvoirs publics ?

Dans un premier temps, susciter et encourager les opérations de valorisation de rejets thermiques en subventionnant une part des investissements par des prêts à long terme à taux réduit, de façon à compenser les charges de mise au point et les risques. Simultanément, procéder à un inventaire systématique des rejets et des utilisations dans l'industrie. Celà est en cours à l'Agence pour les Economies d'Energie (avec un budget hélas insuffisant).

Dans un deuxième temps, permettre le développement des bourses d'eaux chaudes par les sociétés de chauffe (ou de distribution d'eau) grâce à des participations aux investissements. Il pourrait être bon d'en donner le moyen à l'Agence par le biais d'une taxe d'une dizaine de francs sur chaque tonne de fuel vendue.

...

Un vaste effort de recherche et d'imagination devra être entrepris par les fabricants de matériels thermiques et les industries utilisatrices, par les spécialistes du chauffage des logements. Il y a donc, outre une aide financière à la recherche, une action à entreprendre afin de sensibiliser toutes les parties concernées et de donner aux ingénieurs des entreprises et des collectivités locales une formation suffisante.

L'idée des "bourses d'eaux chaudes" n'est pas neuve. Mais elle risque fort de rester lettre morte du fait de l'esprit d'indépendance des industriels, qui préféreraient peut être payer deux fois plus cher en récupérant une calorie dans leur propre usine plutôt que de la livrer à une industrie voisine. De nombreux établissements ont réétudié leurs installations après 1973, en vue de réduire leurs dépenses de combustibles par des mesures internes (calorifugeages, réglages, recyclages). Combien ont songé à vendre les calories qu'ils ne pouvaient récupérer économiquement ? C'est là peut-être que se trouve le principal obstacle. Pour le surmonter, il faut donner à l'Agence Nationale pour les Economies d'Energies des moyens matériels et humains qui soient à la dimension des problèmes.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE

DES MINES DE PARIS

LE MARCHE DE L'EAU CHAUDE

ANNEXES

[48]

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES
Bibliothèque
N° IE 1

Jean-Marie DELBECQ

Philippe NEVEU

Octobre 1974 - Juin 1975

N°s d'Inventaire 129105

SOMMAIRE

I - Recensement des utilisations de basses calories

1.1. Utilisations industrielles

1.1.1. Annexe sur l'économie d'énergie dans les opérations de séchage

1.1.2. Questionnaire de l'enquête sur l'eau chaude dans l'industrie

Annexe sur le lavage de la laine

Annexe sur les industries de blanchiment, teintures et apprêts

Annexe sur l'industrie de la brasserie

Annexe sur les sucreries

Evolution des consommations d'énergie dans les sucreries

Annexe sur la fabrication de produits laitiers

1.2. Le logement.

1.3. L'agriculture

Annexes : - plan de culture florale

- carte de France des cultures florales

II - Inventaire des ressources en eau chaude

2.1. Géothermie

Cartes des principales zones géothermiques françaises

2.2. Centrales thermiques

- liste des centrales des houillères
- liste des centrales classiques E.D.F.
- liste des centrales nucléaires en service et en projet

2.3. Effluents industriels

2.3.1. Liste des raffineries françaises

Caractéristiques de quelques aéroréfrigérants dans une raffinerie visitée

2.3.2. Liste des usines sidérurgiques

Note sur la fonderie

Evolution des consommations spécifiques d'énergie par tonne d'acier brut

2.3.3. Evolution des consommations unitaires d'énergie dans les usines de papiers et cartons

2.4. Transport et stockage de l'eau chaude

Note sur les pertes thermiques de réservoirs d'eau chaude, d'après Tovy Grjebine.

ANNEXE 1.1.

ANNEXE 111

L'ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES OPERATIONS DE SECHAGE

Un très grand nombre d'industries des plus diverses mettent en oeuvre des opérations de séchage (ou de concentration). Le fluide à séparer du produit est très généralement l'eau, mais d'autres solvants sont possibles. Alors que le séchage théorique idéal ne devrait exiger aucune dépense d'énergie, on atteint dans les appareils à convection couramment utilisés des dépenses de l'ordre de 1 500 à 2 500 kcal par kg d'eau évaporée (c'est-à-dire jusqu'à $\frac{1}{4}$ kg de fuel par kg d'eau évaporée).

Or, chaque année, des millions de tonnes de produits variés subissent un ou plusieurs séchages en cours de fabrication. D'où l'importance que revêt la recherche de procédés de séchage d'un meilleur rendement énergétique (le rendement étant défini conventionnellement par référence à l'énergie calorifique de vaporisation d'un kg d'eau , environ 570 kcal).

1) Le séchage par convection simple

Dans ce procédé, le même fluide vecteur apporte les calories, puis entraîne la vapeur d'eau extraite. Ce fluide, généralement de l'air chaud, est d'abord chauffé, soit directement par mélange avec des gaz de combustion, soit indirectement par des échangeurs. Puis, il est entraîné dans le four de séchage où il circule en sens inverse des produits à sécher (contre-courant), dans le même sens (co-courant) ou à travers (courants croisés). Enfin, l'air chargé d'humidité est évacué à l'extérieur.

La chaleur perdue comprend :

- la chaleur latente et sensible de l'air évacué (40 à 80 % de la chaleur fournie),

- la chaleur sensible du produit séché,

- les déperditions par les parois du séchoir.

...

Le premier terme étant prédominant dans ce type de séchoir, il est clair que les appareils à contre-courant auront le meilleur rendement. Les gaz sortant au contact de produits froids et humides seront mieux refroidis et chargés de vapeur d'eau.

Le séchoir à convection idéal, consommant 570 kcal par kg d'eau évaporée, rejetterait de l'air saturé d'humidité à la température ambiante.

Pour améliorer le rendement d'un séchoir à convection, il faut s'efforcer de réduire la chaleur sensible de l'air évacué.

Ceci équivaut à réduire :

- la température de rejet,
- le débit d'air rejeté.

D'où l'idée du recyclage partiel de l'air circulant dans le séchoir, qui assure un débit suffisant dans l'appareil tout en limitant la perte de chaleur sensible.

2) Le séchage par convection avec recyclage de l'air chaud

Ce procédé favorise les échanges grâce à un large excès d'air transportant les calories nécessaires malgré une température plus basse. Autrement dit, 1 m3 d'air sec et chaud pourra emporter plus de vapeur d'eau que dans un séchoir à convection simple. Les gains sont de l'ordre de 10 à 15 %. Le pas suivant consiste à dissocier les 2 fonctions apport de calories et évacuation de vapeur, afin de contrôler plus librement et efficacement l'une et l'autre.

3) Les séchages indirects

Les calories sont apportées soit par conduction à travers une surface métallique, soit par rayonnement infra-rouge ou électromagnétique.

a) séchoirs à conduction

La chaleur est fournie à une paroi sur laquelle circule ou repose le produit à sécher par un fluide caloporteur, des résistances électriques ou même par chauffage direct à la flamme.

La forme de la surface d'échange varie selon le mode de transport du produit (cylindres pour le papier, les tissus, plateaux, rampes hélicoïdales vibrantes).

...

La conduction est améliorée par le brassage du produit par des palettes ou par vibration.

b) séchoirs rayonnants

Leur avantage est de localiser l'apport thermique à l'endroit précis où il est nécessaire. On peut utiliser des rayonnements haute fréquence (10 à 40 MHz), hyperfréquence (1 à 2,5 GHz), ou infra-rouges, l'épaisseur de pénétration croissant en gros avec la longueur d'onde. L'énergie volumique dissipée est proportionnelle au facteur de pertes du matériau.

La puissance thermique fournie est facilement contrôlée. De plus, on peut ainsi appliquer une puissance très importante sur une surface restreinte (par ex. : 50 kW/m2), ce qui accélère le séchage.

Malheureusement, le rendement des émetteurs de rayonnement ne dépasse pas 50 %.

c) limites des séchoirs indirects

Il ne faut pas oublier la deuxième fonction du séchage : on ne réalisera une véritable économie qu'en limitant la dépense d'énergie nécessaire à l'évacuation de la vapeur. Il faut réduire le débit et la température de l'air vecteur au niveau strictement nécessaire. Il faut au moins se donner les moyens de les contrôler en entourant le séchoir d'une enceinte hermétique.

Quant au séchage rayonnant, nous pensons que s'il peut comporter des avantages décisifs sur le plan de la productivité et de la qualité du produit dans certains cas, il ne contribue nullement à l'économie d'énergie avec le matériel actuellement disponible. Il exige en effet plus de 1 200 kcalories électriques par kg d'eau évaporée.

4) Les concentrateurs à multiple effet

Dans ce procédé, le produit à sécher est un liquide (lait, jus de fruit, vinasse, moût).

Le chauffage est indirect, par conduction. Les vapeurs produites sont évacuées par une pompe opérant sous vide partiel, envoyées dans l'appareil suivant où leur condensation assure le chauffage, et ainsi de suite. Il peut y avoir de 2 à 6 effets, la température et la pression décroissant à chaque palier.

...

A partir d'un kg de vapeur, on évapore ainsi de 2 à 6 kg d'eau, selon le nombre d'effets, ce qui induit dans les cas les plus favorables une dépense de 130 kcal par kilo d'eau évaporée.

Remarquons toutefois que ce système n'est envisageable que si les vapeurs produites ne sont pas corrosives ou chargées de poussières.

A la limite, on peut parvenir à une consommation de vapeur nulle, grâce au recyclage des vapeurs par thermocompression, adapté sur un appareil à un ou plusieurs effets. Les vapeurs extraites sont comprimées adiabatiquement et envoyées au condenseur de l'étage de tête (et non plus du suivant). Le travail de compression doit seulement compenser les pertes dues aux phénomènes d'absorption et les pertes thermiques de l'appareil.

Toutefois, ce procédé ne sera pas applicable dans de nombreux cas en raison de la qualité de la vapeur extraite, que l'on préfère ne pas envoyer dans un compresseur.

La parenté du système décrit ci-dessus avec la pompe à chaleur est manifeste. Il suffit de remarquer que la vapeur extraite est équivalente au condensat préalablement détendu (isentropiquement) puis évaporé.

En fait, pour diverses raisons techniques, les pompes à chaleur utiliseront un fluide intermédiaire autre que l'eau.

5) Les pompes à chaleur

La pompe à chaleur permet de dépenser moins de 200 kcal par kg d'eau évaporée, ce qui est comparable aux performances des concentrateurs à plusieurs effets. De plus, elle est applicable aux séchages les plus divers.

Le principe d'application est simple : sur un séchoir à convection, on condense la vapeur contenue dans l'air humide évacué. Puis cet air ainsi dés--hydraté est réchauffé et retourne au séchoir.

Les calories de réchauffage proviennent des chaleurs latente et sensible enlevées à l'air humide et augmentées de l'énergie fournie par le compresseur de la pompe à chaleur. Celle-ci compense les déperditions à l'intérieur du séchoir. Cependant, elle peut excéder les besoins et provoquer "l'emballement" du système. Il y aura donc lieu de prévoir une possibilité d'appoint d'air frais pour stabiliser l'ensemble.

...

La conception du système doit prendre en compte 2 grandeurs essentielles :

- le débit d'air,
- l'écart de température de l'air entre l'entrée et la sortie du séchoir.

Certains séchoirs utilisent un grand débit d'air avec un faible écart de température (lit fluidisé, suspension), d'autres exigent un faible débit avec un grand écart de température (atomisation).

C'est le domaine intermédiaire des séchoirs-tunnels continus ou statiques qui se prêterait le mieux à l'application de la pompe à chaleur. Il faut signaler l'intérêt des séchoirs "Econovent" qui permettent de récupérer la chaleur latente d'évaporation grâce à une absorption de la vapeur d'eau par le chlorure de lithium, sans compresseur.

...

ANNEXE 112

ENQUETE SUR L'EAU CHAUDE DANS L'INDUSTRIE

AVANT PROPOS :

La présente enquête vise à définir dans quelle mesure certains établissements industriels dans diverses branches pourraient utiliser dans leurs installations des eaux chaudes fournies gratuitement ou à bas prix.

En effet, il existe des sources "fatales" d'eaux chaudes abondantes et régulières : rejets de centrales thermiques, rejets de certaines industries (sidérurgie, raffinage, pétrochimie, sucreries par exemple).

L'utilisation de ces rejets permettrait de faire l'économie des sytèmes réfrigérants nécessaires pour abaisser la température de rejet à un niveau acceptable, ce qui justifierait encore la quasi-gratuité de cette source d'énergie (Il faut prévoir cependant le coût du raccordement).

La géothermie constitue une autre ressource en eau chaude (à plus de 70°C sous la BRIE par ex.) qui sera exploitée pour le chauffage urbain de ZUP ou de villes nouvelles, et qui a déjà été sérieusement envisagée par certaines usines.

Etant donné le caractère saisonnier des besoins de chauffage urbain, l'eau chaude serait disponible à un prix réduit pendant la plus grande partie, sinon la totalité de l'année pour les usages industriels, d'autant que besoins industriels et domestiques se présentent souvent en périodes complémentaires.

Cette enquête ne doit pas être confondue avec une enquête sur les consommations d'énergie des établissements industriels, ni sur les économies qui pourraient être obtenues de diverses façons au sein de l'usine. La motivation principale de la présente enquête est la recherche des "débouchés" offerts par les industries dans le cadre d'un marché local des eaux chaudes. Ceci exige une classification des calories consommées selon leur niveau thermique : soit moins de 60°C, soit entre 60°C et 100°C.

...

Renseignements préliminaires

1) Nom de l'Entreprise :

2) Numéro INSEE :

3) Adresse de l'Etablissement :

4) Activité générale :

5) Nom du correspondant au courant de l'enquête :

I - LES CONSOMMATIONS D'EAUX CHAUDES (année 1973)

11 - Consommation dans les unités de production.

Remarque importante : Il convient de noter qu'il peut s'agir ici tant de consommations potentielles que de consommations effectives. Si le produit traité est à moins de 100°C, il peut être envisagé de le chauffer avec des eaux chaudes, même si cela n'est pas le cas actuellement (ou en 1973). La consommation concernée doit donc figurer dans le tableau.

111 - 1° classe : Unités de production telle que la température du produit traité soit comprise entre 60°C et 100°C.

A	B	C	D	E	F	G	H
Fonction de l'appareil	Fluide de chauffage (ex : eau, vapeur)	Température d'entrée du fluide	Température de sortie. Préciser liquide ou vapeur	Débit de fluide par appareil	Nombre d'appareils	Température du produit traité	Remarques

...

112 - 2° classe : Température du produit traité inférieure à 60°C.

A	B	C	D	E	F	G	H
Fonction de l'appareil	Fluide de chauffage (ex : eau, vapeur)	Température d'entrée du fluide	Température de sortie. Préciser liquide ou vapeur	Débit de fluide par appareil	Nombre d'appareils	Température du produit traité	Remarques

Remarques : 1) Si le chauffage est électrique, préciser le type de chauffage exact en colonne B, et la puissance moyenne consommée en colonne E.

2) Si l'eau chaude ou la vapeur de chauffage ne sont pas produites spécialement pour le chauffage de cet appareil, mais sont en fait un sous produit fatal d'une autre fabrication à plus haut niveau thermique (utilisation de l'énergie en cascades), le mentionner en colonne H.

...

113 - Dans quelle proportion la consommation calorifique de l'ensemble de ces appareils varie-t-elle :

A - selon l'heure de la journée,

B - selon la saison.

12 - Besoins de chauffage des locaux.

	Local	Fluide caloporteur	Température du fluide	Volume du local	Description rapide du système de chauffage
121	BUREAUX				
122	ATELIER 1				
	ATELIER 2				
	ATELIER 3				
123	ENTREPOT 1				
	ENTREPOT 2				

II - LES CRITERES DE CHOIX

Cette partie de l'enquête doit permettre d'évaluer l'intérêt que présenterait pour les industriels telle ou telle source particulière d'eau chaude.

Notez les avantages suivants par :

A : essentiel

B : important

C : mineur

...

en vous plaçant dans l'hypothèse du choix d'une ou plusieurs sources d'énergie pouvant satisfaire votre consommation de calories à bas niveau thermique (moins de 100°C)

- ☐ souplesse d'utilisation et de régulation
- ☐ bonne sécurité d'approvisionnement (à l'arrivée en usine)
- ☐ faible risque de panne ou de détérioration de l'installation en usine
- ☐ faible investissement initial
- ☐ frais de personnel non qualifié réduits
- ☐ frais de personnel qualifié réduits (rusticité)
- ☐ autres frais proportionnels réduits
- ☐ effet favorable sur les conditions de travail (bruit, poussières, odeurs)
- ☐ effet favorable sur l'image de marque due au caractère novateur ou non polluant de la source d'énergie.

...

LES INDUSTRIES TEXTILES

Le lavage de la laine

Contrairement au coton, la laine brute, provenant de la tonte ou du délainage des peaux, doit subir un lavage avant le cardage. Il est nécessaire en effet d'éliminer les matières terreuses ou végétales et la suintine, qui constituent près de 40 % du poids de la matière brute.

A - PROCEDE DE LAVAGE

Avant le lavage proprement dit, on procède à un triage de la laine selon diverses qualités.

Autrefois très poussé, le triage est souvent très sommaire aujourd'hui, en raison du meilleur classement des laines au départ, avant la mise en balles. L'opération de triage exige un préchauffage des balles dans des fours à 35°C pour ramollir les matières grasses.

On pratique ensuite un battage (à sec), ce qui entraîne mécaniquement une part des terres et pailles, mais casse des fibres de laine.

La laine est ensuite chargée sur la colonne de lavage par un tablier élévateur à picots.

Le lavage doit éliminer :

- les terres, sables, pailles, matières fécales, ...,
- le suint, soluble dans l'eau, formé de sels d'ammonium, de potassium, ..
- la suintine (cholestérols et isocholestérols).

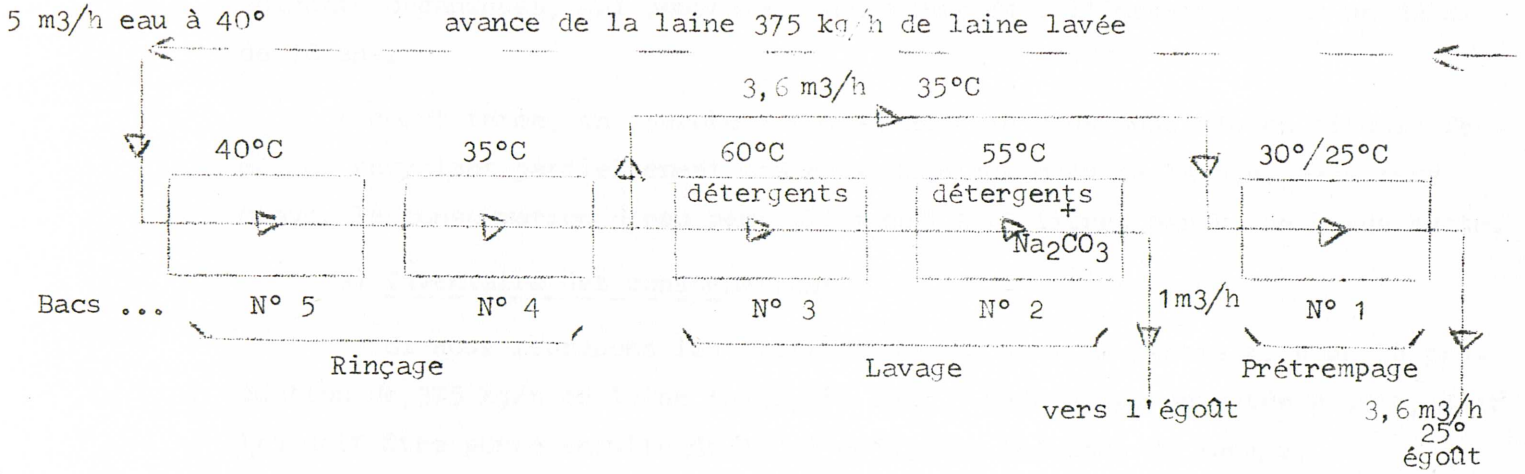
Le lavage se fait à l'eau en présence de détergent et de carbonate de soude. La colonne comprend en général 5 bacs consécutifs, d'environ 5 m de long et 1,80 m de large, (pour une production allant jusqu'à 800 kg/h de laine lavée.

La laine est transportée dans les bacs par une herse animée d'un mouvement de va-et-vient.

...

A la sortie du 5ème bac, la laine est chargée dans un séchoir à air chaud, qui peut comprendre 2 tunnels successifs, à température croissante.

Le schéma ci-dessous représente une colonne de lavage-type, telle que nous l'avons vue dans un important centre de peignage de la région du Nord.



Les eaux du bac n° 2 sont traitées en permanence par centrifugation afin de récupérer la suintine, qui donnera après raffinage la lanoline.

La centrifugation s'effectue au rythme du 5 m3/h et à 80°C. Il faut donc un chauffage préliminaire (à la vapeur). Une première turbine sépare boues, émulsion et eau dégraissée. Les boues sont rejetées à l'égoût. L'émulsion est reprise dans une deuxième turbine de centrifugation qui achève la séparation.

La laine contient en moyenne 12 % de son poids en matières grasses avant et 0,5 % seulement après le lavage. On comprend donc tout l'intérêt de la récupération de ces graisses. L'eau dégraissée est récupérée également, ce qui permet de retourner environ 4,6 m3/h au bac n° 2.

B - ANALYSE DES USAGES DE CALORIES A BASSE TEMPERATURE

Il s'agit ici du chauffage et du maintien en température des eaux de lavage et de rinçage d'une part, du chauffage de l'air des séchoirs-tunnels d'autre part.

1) La colonne de lavage et la centrifugation

Toute économie sur le volume des eaux de lavage présente un double intérêt :

...

- économie sur le traitement d'eau, car ces eaux doivent être épurées et permutées,

- économie sur le chauffage de l'eau.

C'est pourquoi on recherche activement des solutions faisant appel à des solvants organiques, qui pourraient déboucher dans l'industrie dans un délai de 10 ans.

A court terme, on cherche à fonctionner le plus possible en circuit fermé, en recyclant partiellement les eaux de rinçage ou de lavage. Sans recyclage, la consommation d'eau peut aller de 7 à 15 litres par kg de laine brute.

a) Inventaire des consommations

Si nous reprenons les chiffres donnés dans la partie A, pour la production de 375 kg/h de laine lavée, il faut 5 m3/h d'eau permutée à 40°C, dont 1/5 doit être porté ensuite de 35° à 60°C dans les bacs de lavage.

D'autre part, un débit de 5 m3/h est prélevé continuellement au bac n° 2 pour la centrifugation, où l'eau est portée de 55° à 80°C.

Si nous omettons les pertes thermiques par évaporation de l'eau dans les bacs, qui sont difficiles à mesurer, nous obtenons les consommations calorifiques suivantes :

- échauffement de 5 m3 d'eau de 15 à 40°C : 125 th
- échauffement de 1,4m3 d'eau de 35 à 60°C : 35 th
- échauffement de 5 m3 d'eau de 55 à 80°C : 125 th

b) Inventaire des rejets

- le bac de prétrempage rejette 3,6 m3/h à 25°,
- les rejets de lavage (purges du bac n° 2) 1 m3/h à 55°C environ,
- les rejets de centrifugation, soit environ 4,6 m3/h d'eau dégraissée à 80°C qui doit être retournée au bac n° 2 (à quelle température ?) et 0,4 m3/h de boues à 80°.

c) Gestion des eaux chaudes

Il faut distinguer 2 cas :

cas n° 1 : l'eau chaude à 40°C est fournie "gratuitement", par récupération de calories "fatales" (ex.: eau de refroidissement de condenseur).

...

cas n° 2 : l'eau doit être obtenue par chauffage de 15 à 40°C car il n'y a pas de calories fatales à récupérer. Dans ce cas, on peut envisager la fourniture d'eau chaude à 50° d'origine externe, afin de porter l'eau de rinçage à 40° grâce à un échangeur. Cela nous ramènerait au cas n° 1.

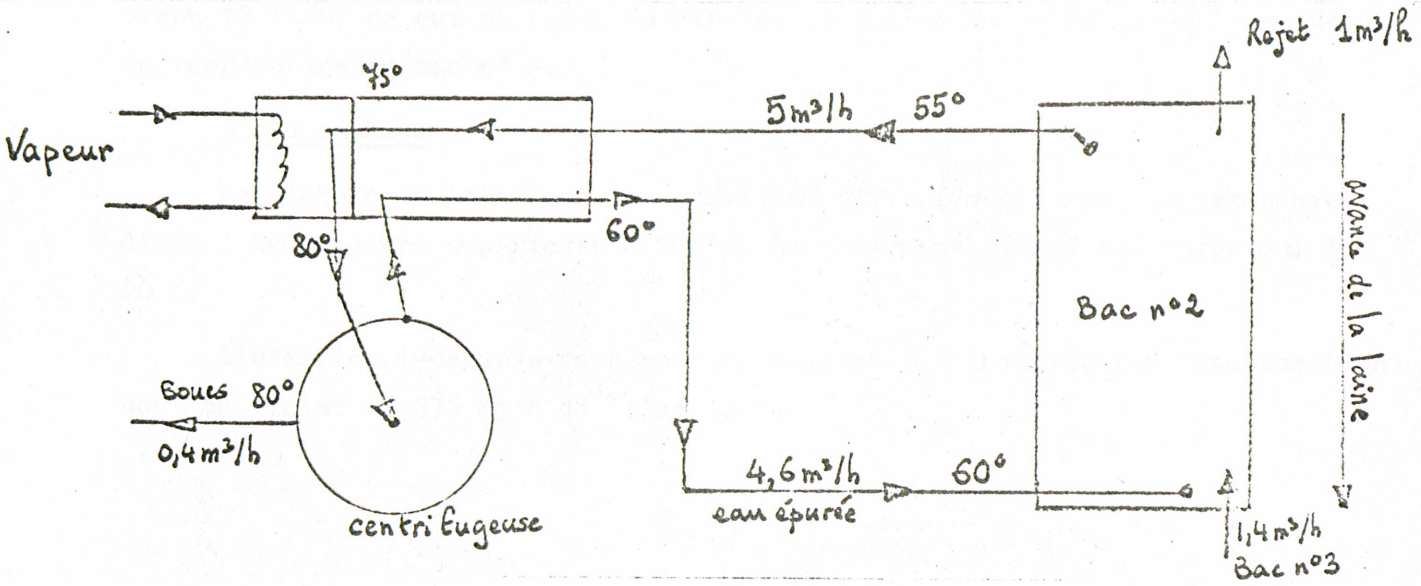
Nous nous placerons donc dans l'hypothèse du cas n° 1.

Tout d'abord, les rejets du prétrempage sont quasiment non-valorisables, étant donné leur basse température et leur charge en matières solides plus ou moins fines.

Les rejets à 80°C de la centrifugation peuvent servir :

- à préchauffer les eaux de lavage avant centrifugation,
- à maintenir la température des bacs de lavage (n° 2 et 3).

On peut envisager l'utilisation comme ci-dessous :



La répartition des calories fournies aux différents points est à étudier en tenant compte des faits suivants :

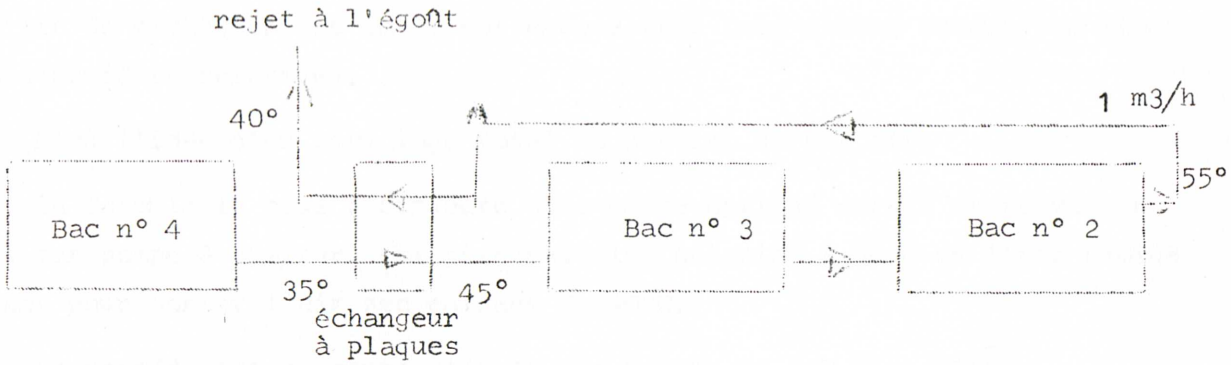
a) l'injection d'eau à 70° dans un bac à 60° ou 55° peut entraîner localement des évaporations plus importantes d'où un gaspillage d'énergie,

b) il y a intérêt à utiliser au mieux les calories à 80°C, sans les dégrader, ce qui ne peut se faire qu'en préchauffant jusqu'à 75° l'eau allant à la centrifugation.

...

C'est pourquoi nous proposons le schéma précédent.

Il reste enfin les rejets du bac de lavage n° 2, qui conviennent pour un réchauffage de l'eau allant du bac n° 4 au bac n° 3.

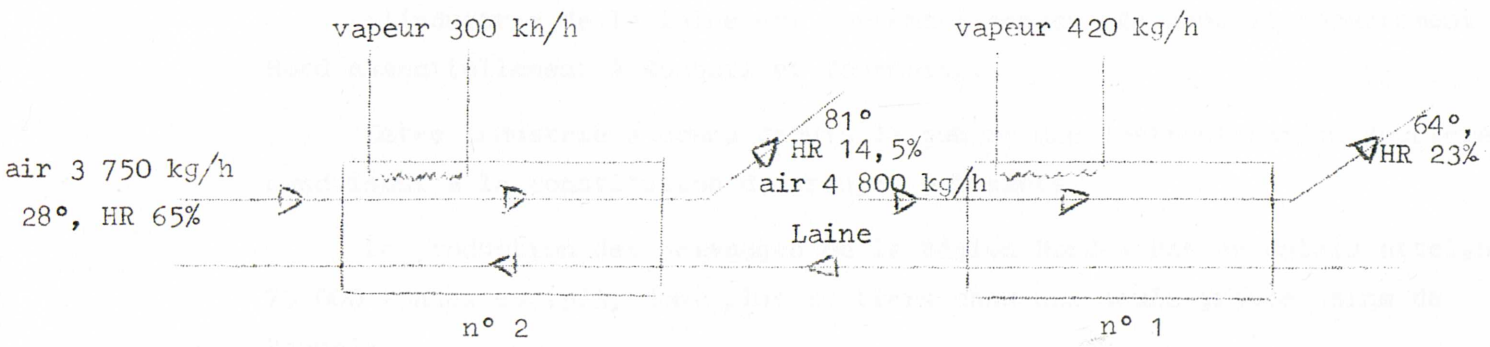


Grâce à un échangeur à plaques, il est ainsi possible de récupérer environ 15 th/h, ce qui se traduira par des économies de vapeur pour le maintien en température du bac n° 3.

2) Le séchage

Le séchage de laine est une opération difficile exigeant un grand excès d'air à température supérieure à 100°C. Le rendement global est inférieur à 20 %.

L'exemple ci-dessous se rapporte toujours à l'installation-type fonctionnant au régime de 375 kg/h de laine lavée ;



...

La température moyenne de l'air immédiatement après chauffage par des serpentins de vapeur est de 110°C pour le séchoir n° 1, de 155 pour le n° 2. Le séchoir n° 1 évapore 90 kg d'humidité, le n° 2, 110 kg environ.

La grosse perte de calories provient évidemment du rejet à l'atmosphère de l'air de séchage alors qu'il est encore très loin d'être saturé (au mieux 23 % d'humidité relative).

D'où l'idée d'un recyclage total ou partiel de cet air.

La formule la plus ambitieuse dans cette optique serait un recyclage total par pompe à chaleur, qui prendrait les calories à 80°C de l'air humide sortant pour porter l'air sec entrant à 120°C.

Le procédé est en cours d'étude par E.D.F. et I.T.F. - NORD.

Une formule plus modeste consisterait à alimenter le séchoir n° 1 avec l'air sortant du n° 2, et un complément d'air frais (1 000 kg/h). Il en résulterait une économie de 50 % sur le chauffage de l'air au séchoir n° 1. L'air sortant du séchoir serait à environ 65°C (inchangé), mais avec une humidité relative de 35 % au lieu de 23 %, le point de rosée étant à 43°.

Cette économie n'est pas négligeable : pour 1 000 kg de laine lavée, cela peut représenter de l'ordre de 50 kg de fuel lourd. Pour une unité de 25 000 tonnes/an, sont ainsi gagnées 1 250 tonnes de fuel lourd par an.

Par ailleurs, un préchauffage de l'air des 2 séchoirs par des "radiateurs" à eau chaude pourrait être envisagé. Cette eau chaude pourrait être obtenue à peu de frais sur place par échange avec l'air sortant.

C - PROFIL SOMMAIRE DE L'INDUSTRIE ET CONCLUSIONS

L'industrie de la laine est fortement concentrée dans le département du Nord essentiellement à Roubaix et Tourcoing.

Cette industrie a connu depuis la guerre une restructuration accélérée, conduisant à la constitution de groupes puissants.

La production des peignages de la Région Nord - Pas de Calais atteignait 75 000 tonnes en 1973, dont plus du tiers dans une seule grosse usine de Roubaix.

...

Les économies d'eau et de fuel sont particulièrement bienvenues dans cette zone urbaine, car la nappe est déjà trop sollicitée et il faut réduire la pollution atmosphérique.

Des économies substantielles sont possibles au séchage de la laine, par réutilisation des calories de l'air humide, de l'ordre de 3 750 tonnes de fuel lourd par an à très court terme (avec une légère modification du circuit d'air, peu coûteuse), de l'ordre de 10 000 tonnes par an avec l'adoption de pompes à chaleur, dont un prototype est mis à l'étude dès maintenant.

D'autre part, la fourniture d'eau chaude externe à une température allant de 40° à 60° permettrait de chauffer à bon marché l'eau de rinçage de la laine.

Pour l'ensemble de l'industrie du peignage de la région, il faudrait 1 000 000 m3 d'eau par an, soit 4 000 m3 par jour, ce qui économiserait au minimum 2 000 tonnes de fuel par an.

Mais certaines usines disposent déjà d'eau chaude "fatale" et gratuite provenant de condenseurs ou de circuits de réfrigération divers. Nous ne pouvons donc évaluer l'économie ainsi réalisable.

Enfin, la récupération des calories contenues dans les rejets de lavage (bac n° 2) conduirait à une économie de 300 tonnes de fuel par an.

...

LES INDUSTRIES DE BLANCHIMENT, TEINTURE ET APPRETS

La branche des teintures et apprêts nous intéresse tout particulièrement car elle consomme d'importants volumes d'eau chaude à diverses températures.

Après une description sommaire des techniques employées, nous procéderons à l'analyse thermique d'une unité-type.

A - DESCRIPTION SOMMAIRE DES TECHNIQUES

On distingue 3 types d'activités :

- la teinture sur filés et matières,
- la teinture sur pièces,
- les impressions et apprêts.

1) La teinture sur matières et filés

Elle nécessite divers traitements préliminaires tels que le débouillissage des cotons (dégraissage), le blanchiment à l'eau de javel ou à l'eau oxygénée, le mercerisage à la soude caustique pour améliorer la résistance.

La teinture se fait par processus discontinus (de 100 kg à plusieurs tonnes) par le maintien du textile dans des bains de teinture successifs pendant un certain temps, la température du bain variant selon le colorant et le textile. Le bain se fait soit en bac, à l'air libre, soit en autoclave au dessus de 100°C.

Le rapport de bain (volume de bain en m3/poids du textile en tonnes) peut varier de 5 à 50.

La teinture est faite sur écheveau ou sur bobine. Dans ce dernier cas, une pompe de circulation permet d'injecter la teinture de l'intérieur vers l'extérieur de la bobine ou en sens inverse.

2) La teinture sur pièces de tissu

Elle exige aussi quelques traitements préliminaires : désencollage pour éliminer l'amidon dont sont enduits les fils avant le tissage, débouillissage du coton, et blanchiment.

...

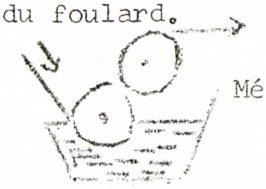
Certains appareils fonctionnent en continu (foulard d'imprégnation). Cependant, la plupart sont discontinus (barques à tournette, jigger, autoclaves à ensouple). Températures et rapports de bain sont du même ordre qu'en teinture sur filés.

3) Impression et apprêts

En impression, le dépôt et la fixation du colorant sont des opérations bien distinctes. L'impression se fait à froid au cadre ou au rouleau, la fixation se fait par action de vapeur d'eau à 100° ou plus ou par thermofixage (chauffage à sec entre 100° et 200°C).

Les apprêts donnent au tissu certaines qualités physiques (imperméabilité, pli permanent, irrétrécissabilité, ...).

Ils sont appliqués en général par la méthode du foulard.



Méthode du foulard

B - ANALYSE DES UTILISATIONS DE CALORIES A BAS NIVEAU THERMIQUE

Nous n'aborderons pas ici le problème du séchage du textile après la teinture. Cette opération exige une forte dépense d'énergie thermique, mais elle n'est pas particulière à la branche des teintures et apprêts, et elle exige des températures voisines de 100°C.

Nous nous intéressons par contre aux diverses eaux chaudes utilisées, essentiellement aux eaux de constitution des bains.

Etant donné la diversité des procédés, des colorants et des tissus, et l'absence de statistiques sur notre sujet d'étude, nous avons choisi de traiter le cas particulier d'une grosse unité de teinture sur filés de coton et synthétique située dans la région du Nord.

1) Inventaire des utilisations d'eau chaude et des rejets

Par kilo de fil traité, les consommations spécifiques étaient en 1974 de :

- 20,4 kg de vapeur,
- 242 litres d'eau, dont 97 litres chauffés à 85° dans un préparateur en chaufferie.

...

Cette eau chaude à 85° est stockée dans une bâche et envoyée dans les bacs et autoclaves de teinture selon les besoins. Chaque appareil possède un système de chauffage et de refroidissement par serpentin, permettant de suivre un programme donné de montée et de baisse en température. Après usage, l'eau contenue dans l'appareil est vidangée et évacuée à l'égoût.

Le tableau ci-dessous détaille la ventilation de ces rejets selon leur température.

Température	Pourcentage du volume	% cumulé	% de la chaleur récupérable	% cumulé
90°	13,41 %	13,41	38,57	38,57
80	12,67	26,08	31,23	69,80
70	5,89	31,97	12,10	81,90
60	3,11	35,08	5,11	87,01
50	8,15	43,23	10,05	97,06
40	2,76	45,99	2,27	99,33
30	1,66	47,65	0,67	100,00
20 (rinçages, traitements à froid)	52,35	100,00	0,00	100,00

Par pourcentage cumulé à une température donnée, nous entendons le pourcentage représenté par les rejets ayant une température supérieure ou égale à cette température donnée.

La chaleur "récupérable" théorique est obtenue par refroidissement des rejets à 20°C.

On songe en effet immédiatement à récupérer ces rejets en vue de préparer l'eau chaude à 85°.

2) Récupération des calories des effluents

La température moyenne des rejets est de 44,34°C, ce qui donne : 24,34 thermies récupérables par m3. A 1 m3 d'eau rejeté correspond 0,4 m3 d'eau à

...

porter à 85°, ce qui exige 26 thermies. Nous voyons donc qu'une récupération parfaite entraînerait une économie de 93,5 % dans la préparation de l'eau chaude.

En pratique, la récupération obtenue ne peut pas atteindre ce niveau idéal. Il faut collecter les rejets, les transporter et les stocker avant de les faire circuler dans un échangeur à contre-courant.

Chacune de ces opérations entraîne inévitablement des déperditions thermiques. De plus, après passage dans l'échangeur, les rejets ne seront pas refroidis à 20°C, la surface d'échange étant limitée pour des raisons d'économie. Enfin, il faut voir qu'il n'y a pas intérêt à mélanger les rejets à basse température avec les autres, car cela diminuerait l'efficacité de l'échangeur.

Dans l'usine étudiée, le seuil a été fixé à 50°. Chaque appareil est muni d'un capteur d'effluents comprenant 2 vannes en opposition commandées par le programmateur de l'appareil. Les effluents au-dessus de 50° vont dans un collecteur calorifugé, les autres dans un caniveau d'évacuation.

Compte tenu des pertes diverses, le rendement de récupération peut atteindre environ 60 %, soit 14,6 th par m3 d'effluent.

Une telle récupération est rentabilisée sur 1 à 2 années d'exploitation selon les usines et peut réduire de 20 % la consommation de fuel de la branche.

Elle permet de préchauffer à 56° l'eau que l'on porte ensuite à 85°C. Des économies supplémentaires seraient possibles de 2 manières :

- par établissement d'un réseau distinct d'eau chaude à 50°C pour les rinçages, préparée à l'aide des rejets les moins chauds,

- par utilisation de calories d'eau chaude externe à 80°C ou 90°C, si cela est possible, afin de chauffer sans aucun appoint de vapeur ou d'eau surchauffée la totalité des eaux à 50° ou 85°C.

L'ordre de grandeur des besoins en eau chaude externe serait de 50 litres par kg de textile, soit 50 000 m3 par an pour une unité de 1 000 tonnes par an, soit encore environ 200 m3 par jour.

L'économie de fuel réalisée dans cette unité atteindrait 200 tonnes par an, s'ajoutant aux 300 tonnes gagnées par le simple recyclage de calories décrit plus haut.

...

C - LE CONTEXTE DE LA BRANCHE DES TEINTURES ET APPRETS

Nous nous référons ici aux statistiques de l'année 1968 tirées de l'étude de F. BARTHELEMY sur la pollution des eaux de cette branche.

La production totale atteignait en 1973, 470 000 tonnes, dont 32 % pour le Nord, 20 % pour l'Est (Vosges et Alsace), 18 % pour le Sud-Est. En chiffre d'affaires, le Sud-Est spécialisé dans les soies et textiles synthétiques, représentait 29 % de la branche, le Nord 27 % et l'Est 20 %.

En 1968, le nombre moyen de salariés par usine était de 62 pour l'ensemble, de 86 pour le Nord.

131 entreprises dont le CA était supérieur à 2 MF/an comptaient 180 usines (sur un total de 660) qui faisaient 78 % du CA et groupaient 72 % du personnel.

Il y a donc un grand nombre de petits ateliers, aptes à produire les petites séries commandées par les caprices de la mode et des couturiers.

Mais les grosses entreprises ont tout de même une part dominante de la production.

Le Nord est nettement spécialisé dans le travail sur filés et matières, alors que les régions Est et Sud-Est dominent l'impression sur tissus.

La région parisienne occupe une place réduite dans cette branche.

Les seuls centres notables sont les régions troyenne et rouennaise.

On pourrait songer à exploiter les ressources géothermiques du Dogger pour alimenter certaines usines troyennes, comme source d'eau chaude externe.

Nous croyons pouvoir extrapoler à l'ensemble de la branche les résultats obtenus au paragraphe précédent. L'économie réalisable à peu de frais par récupération des calories des effluents est de l'ordre de :

130 000 tonnes de fuel lourd par an.

La fourniture d'eau chaude externe sera facilitée dans le Nord par la concentration des usines dans l'agglomération Lille-Roubaix-Tourcoing, où de nombreuses autres industries sont implantées. Elle conduirait au maximum à une économie de 80 000 tonnes de fuel lourd par an.

...

L'UTILISATION DE L'EAU CHAUDE DANS L'INDUSTRIE DE LA BRASSERIE

SOMMAIRE :

A - Description rapide de la fabrication

1) Brassage

2) Fermentation

3) Filtration, soutirage, pasteurisation, embouteillage

4) Limonades

B - Les eaux chaudes en brasserie

1) Classifications

2) Inventaire

3) Analyse des consommations

C - Conclusions relatives aux économies réalisables

=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=

A - DESCRIPTION RAPIDE DE LA FABRICATION

Nous nous contenterons ici de décrire la succession des opérations depuis l'empâtage du malt jusqu'à la mise en bouteilles de la bière. La présente étude n'exige pas que l'on entre dans les détails des mécanismes physico-chimiques, d'ailleurs imparfaitement connus, qui agissent dans l'élaboration de la bière.

D'autre part, le maltage, qui était jadis réalisé en brasserie est de nos jours une opération séparée qui relève de l'industrie de la malterie.

Les opérations de brasserie se limitent donc au brassage, à la fermentation et à la garde, et à la mise en bouteilles ou en fûts.

1) Brassage

Il s'agit d'extraire les principes utiles du malt et du houblon. L'extrait obtenu s'appelle le moût, le résidu solide la drêche.

...

Le schéma ci-dessous décrit l'ensemble des opérations pour un brassin (550 hl de moût) (Schéma A).

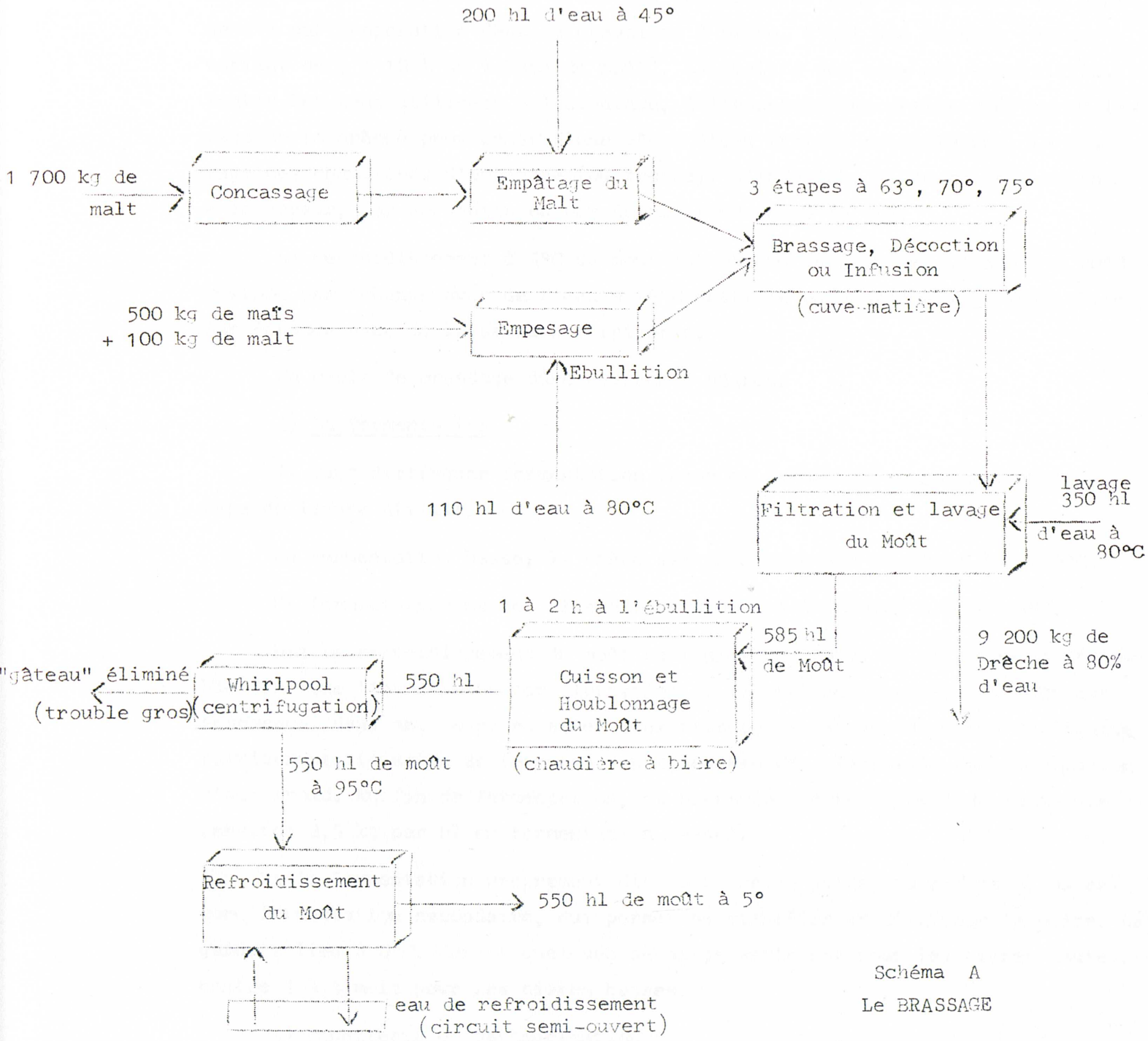


Schéma A

Le BRASSAGE

...

Les chiffres sont donnés à titre indicatif.

Il va de soi que les proportions peuvent varier selon le type de bière. Le système de centrifugation n'est pas obligatoire. Nous avons admis une perte de 6 % par évaporation dans la chaudière à bière. C'est une moyenne (valeur variant de 3 à 10 % du volume de moût). La qualité des eaux est essentielle. Toutes les eaux utilisées à l'empâtage, à l'empesage des grains crus ou au lavage de la drêche proviennent d'une bâche d'eau traitée spécialement. Le chauffage des chaudières d'empesage (ou trempe), d'infusion, et de cuisson se fait à la vapeur, par serpentin ou par double fond selon le cas.

Le refroidissement à 6°C du moût est obtenu en 2 étapes. D'abord à 20°C environ par échange avec de l'eau à 15°C destinée au brassage ultérieur. Puis par échange avec de la saumure réfrigérée.

Un cycle de brassage dure environ 4 heures.

2) La fermentation

Il faut distinguer fermentation basse et fermentation haute, selon le type de levure utilisé.

En fermentation basse, la bière est maintenue 7 à 10 jours à 8 - 9°C.

En fermentation haute, elle est maintenue 4 à 6 jours à 15 - 16°C.

Dès le refroidissement du moût en fin de brassage, il se forme un "trouble fin" que l'on élimine par flottation ou filtration. Ensuite, le moût est ensemencé, dans des cuves en acier inox refroidies par un serpentin de liquide réfrigérant. La salle de fermentation elle-même est climatisée par circulation d'air froid. En fin de fermentation, la bière doit être séparée de la levure (environ 2,5 kg par hl en fermentation basse).

A la fermentation proprement dite succède la garde, ou affinage, ou encore fermentation secondaire, qui permet de clarifier et d'affiner la bière. La garde a lieu à 0°C, durant quelques semaines seulement pour les bières hautes, contre 2 à 3 mois pour les bières basses.

3) Canetterie et pasteurisation

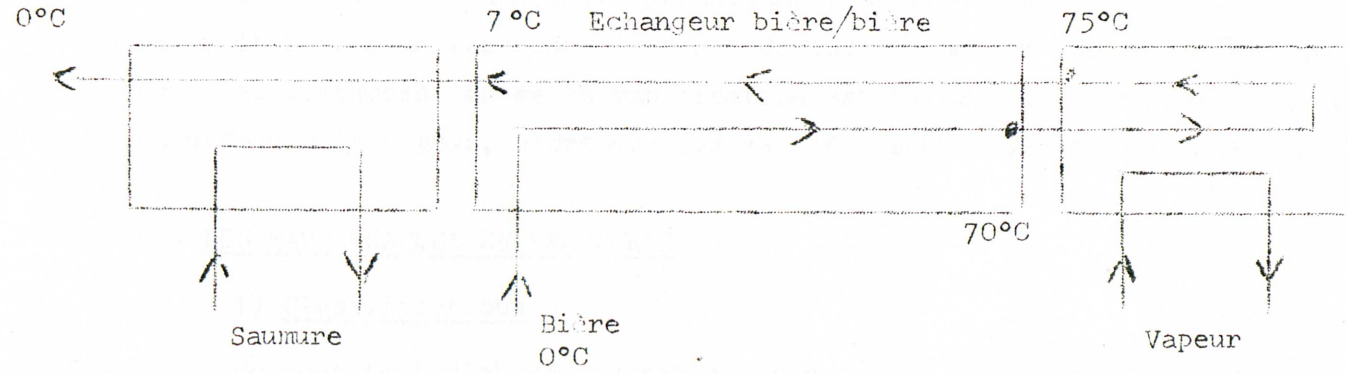
Avant soutirage, une ultime clarification enlève les particules colloïdales dans un filtre à absorption ou par centrifugation.

...

La bière est ensuite dirigée soit vers la mise en fûts, soit vers l'atelier d'embouteillage.

Toutes les opérations se font sous pression de CO_2 et consomment du CO_2. Le gaz carbonique utilisé provient d'un réservoir (où il est stocké liquide), alimenté à partir des cuves de fermentation.

La bière subit généralement une pasteurisation à 75°, puis est refroidie à 0°C avant la mise en bouteilles. Ceci est fait par un échangeur classique bière-bière, avec chauffage à la vapeur et refroidissement à la saumure (cf. schéma A1).



(Températures à titre indicatif)

Schéma A 1
La PASTEURISATION

Les bouteilles, si elles ne sont pas neuves, sont préalablement lavées par trempage dans divers bains détersifs, stérilisées à l'eau sodée à 80°C et rincées.

Pour une installation de 36 000 bouteilles par heure, soit 90 hl/h, les bacs de lavage contiennent 15 à 20 m3 d'eau sodée à 55°, que l'on change plusieurs fois par semaine. De cette eau, est prélevé un certain débit que l'on surchauffe à 80°C dans un échangeur tubulaire à la vapeur. L'eau de rinçage est de l'eau fraîche à 15° qui est rejetée à l'égoût après avoir servi au prétrempage à 35° (débit environ 1 l par litre de bière).

Le rinçage des fûts consomme pour sa part environ 1 l d'eau sodée à 60° par litre de bière mise en fûts.

...

Il existe bien entendu d'autres opérations de lavage dans une brasserie. Lavages ou rinçages des cuves et chaudières à bière ne semblent pas cependant exiger de grandes consommations d'eau chaude (au plus quelques litres d'eau sodée à 75° pour 100 l de bière).

4) Limonades - Gaz carbonique

Le gaz carbonique dégagé par la fermentation de la bière est récupéré et stocké sous forme liquide. Une bonne part est réutilisée lors du soutirage de la bière (près de 10 g par litre).

Le reliquat est incorporé dans les limonades.

C'est ainsi qu'une unité produisant 1 million d'hl de bière par an pourra avoir besoin de vaporiser 5 tonnes de gaz carbonique par jour, dont 20 % pour les limonades. Or cette vaporisation est faite dans de nombreux cas par chauffage à la vapeur, alors que des eaux à basse température conviendraient.

B - LES EAUX CHAUDES EN BRASSERIE

1) Classifications

On peut tout d'abord classer les eaux selon leur usage, lequel détermine la qualité requise. Nous distinguerons 3 classes :

Classe A : eaux incorporées aux boissons, dont les caractères chimiques et la pureté sont strictement contrôlés.

Classe B : eaux de lavage (sodées).

Classe C : eaux d'appoint des générateurs de vapeur et du circuit de réfrigération atmosphérique.

Si ces 3 classes sont totalement disjointes, rien n'empêche cependant de récupérer les calories d'une eau de classe A pour chauffer une eau de classe B ou C, grâce à un échangeur à plaques par exemple.

Ce qui importe donc essentiellement pour notre étude énergétique, ce sont les niveaux de température.

D'après les températures rencontrées en brasserie, nous avons décomposé la plage 10° - 100°C en 4 niveaux :

...

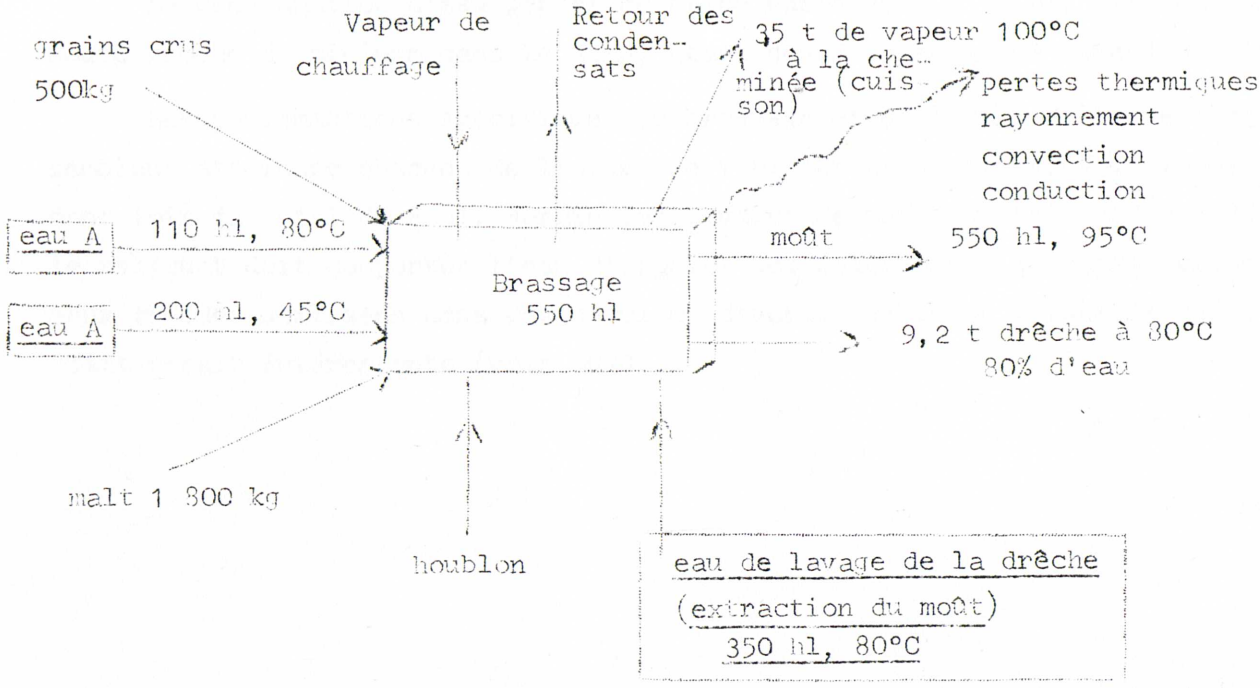
- 1 : de 75° à 100°C
- 2 : de 55° à 70°C
- 3 : de 35° à 45°C
- 4 : de 10° à 25°C

Ceci va nous permettre de ventiler les utilisations d'eau chaude suivant un tableau à deux entrées.

2) Inventaire

Avant d'établir le tableau de ventilation, deux petits schémas synthétiques, le premier (B1) sur le brassage, le second (B2) sur le lavage des bouteilles, pour résumer ce qui a été dit dans la description de la fabrication du point de vue des calories.

Schéma B 1
Le BRASSAGE

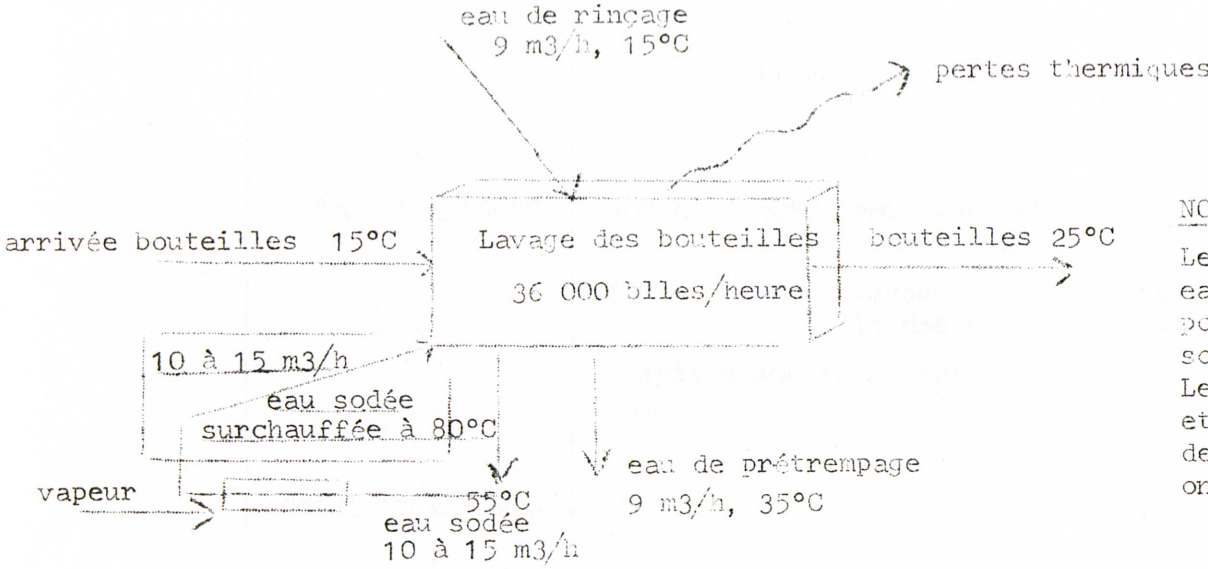


NOTA : Les besoins en eaux chaudes correspondent au texte souligné.
Les lavages de cuves et renouvellements de bacs de lavage ont été négligés.

...

Schéma B 2

Le LAVAGE des BOUTEILLES



NOTA :

Les besoins en eaux chaudes correspondent au texte souligné.
Les lavages de cuves et renouvellements de bacs de lavage ont été négligés.

La consommation d'eau par hl de bière varie de 8 à 15 hl. Elle est sans doute proche du minimum dans le Nord, étant donné la relative rareté de l'eau.

Les consommations spécifiques du brassage et du lavage de bouteilles semblent atteindre chacune de l'ordre de 1 hl par hl de bière. Nous sommes donc loin du total de 8 hl. Hormis les lavages de cuves à l'eau sodée à 75°C, le reliquat doit comporter l'eau d'appoint des générateurs de vapeur et des eaux froides utilisées dans des services divers. Une étude détaillée sur ce point serait intéressante (voir BERG).

...

Besoin en eaux chaudes pour 1 000 hl de bière
(sauf pour le chauffage des locaux)

	classe A	classe B
1 75° < θ < 100°C	200 hl à 80°C empesage des grains crus 630 hl à 80°C lavage de la drêche soit 5 400 th au total	1 500 hl à 80°C (eau sodée surchauffée) 20 hl à 75°C (lavage des cuves à bière)
2 55° < θ < 70°C		100 hl à 60°C (lavage des fûts) (10% de la production mise en fûts) 35 hl à 55°C (renouvellement des bacs de lavage des bouteilles)
3 35° < θ < 45°C	360 hl à 45°C empâtage soit 1 080 th	classe C 90 hl à 30°C, refroidis à 20°C pour l'évaporation du CO_2
4 10° < θ < 25°C		réfrigération du condenseur de l'installation frigorifique (quantité variable) puissance : environ 2 500 th/h pour 1 million hl/an

Il faut maintenant ajouter à ce premier inventaire partiel celui des eaux chaudes que l'on peut refroidir afin d'en récupérer les calories, ou même des vapeurs éventuelles à condenser. Le problème de la pasteurisation sera abordé plus loin et traité à part.

Calories récupérables : (1 th = 1 Mégacalorie = 10^6 x calorie)

7 000 th - Refroidissement du moût de 95° à 20°C (1 000 hl)

1 500 th - Condensation des vapeurs émises à la cheminée de la chaudière de cuisson par un serpentin d'eau froide (ou tiède). Avec 35% d'efficacité, cela donne 1 500 th ; les vapeurs étant à 100°C, on peut chauffer l'eau du serpentin à 80 - 85°C.

- Récupération des calories de l'eau sodée à 55°C. Celle-ci se fait automatiquement sans échangeur, puisque cette eau est recyclée, sauf lors du renouvellement des bacs de lavage, ce qui est quasi négligeable.

1 000 th ? - Refroidissement de la drêche. Ce point mérite un approfondissement. La récupération de 80 % d'extrait contenus dans la drêche après lavage a préoccupé les brasseurs ; car cela représente à peu près 75 hl par brassin. Mais, en l'extrayant par pressage, on retire à la drêche certains des éléments qui font sa valeur nutritive pour le bétail, ce qui ferme ce marché.

Ce qui nous semble possible, par contre, c'est de laver à nouveau la drêche, mais à l'eau froide (de classe A) afin de la refroidir sans enlever les substances nutritives au même degré. On pourrait obtenir ainsi environ 360 hl d'eau à 40°C (pour 1 000 hl de moût), pour l'empâtage du malt.

faible (90 th) - 1 000 hl d'eau à 35°C, de classe B, évacuée au prétrempage des bouteilles. Une petite partie (9%) pourrait servir à l'évaporation du gaz carbonique.

300 th ? - 100 hl d'eau à 50°C (?) provenant du lavage des fûts.

La récupération de ces calories exigera de toute façon dans la pratique l'utilisation de bâches-réservoirs pour les diverses eaux chaudes, étant donné le caractère discontinu de la production et notamment du brassage (1 brassin toutes les 4 h).

3) Analyse des consommations

Ce qui ressort clairement des inventaires précédents, c'est que le problème se restreint dans ses grandes lignes au brassage et au lavage des bouteilles.

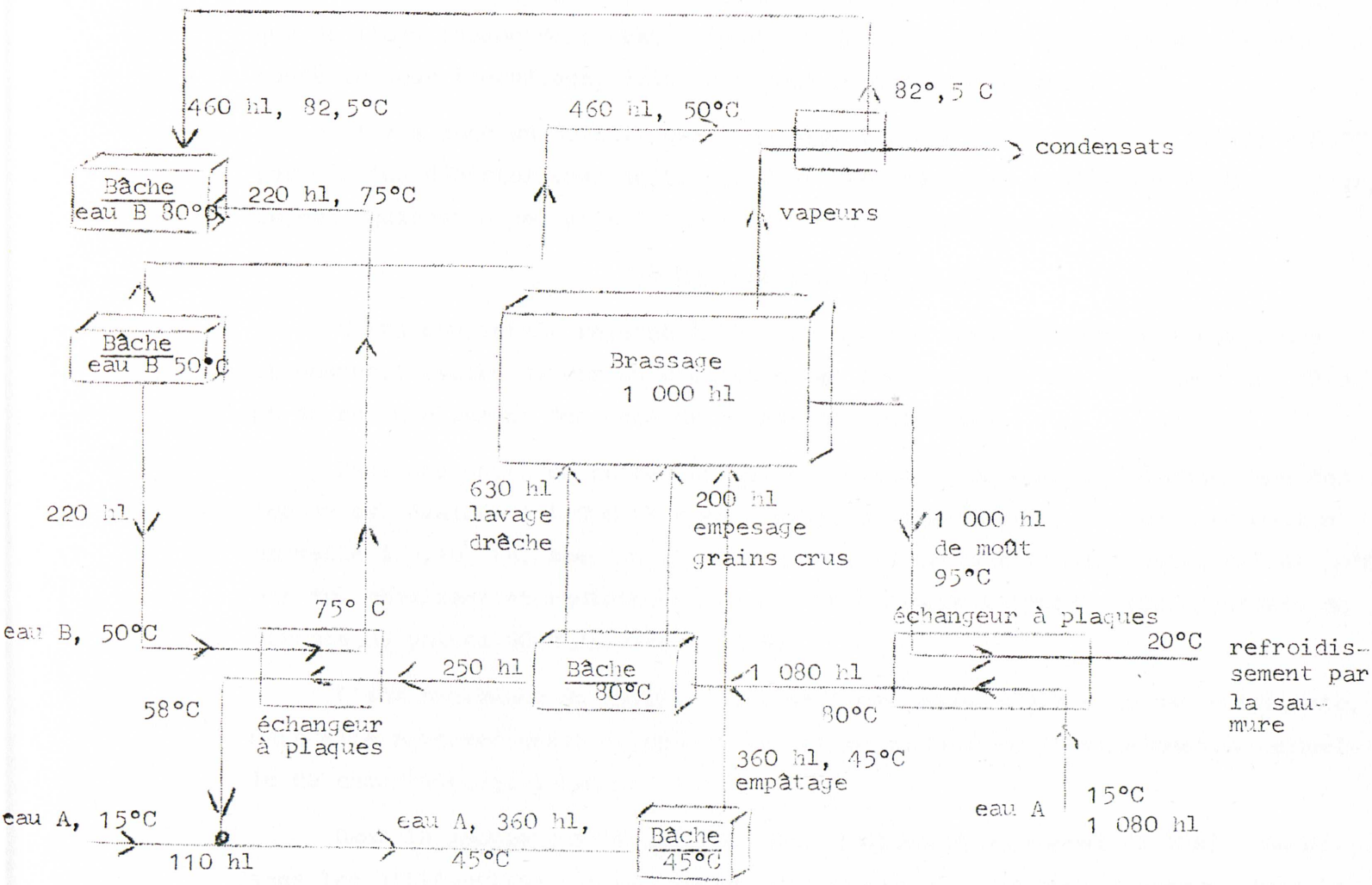
...

Manifestement aussi, le brassage est excédentaire en calories de niveau 1, alors que le lavage est déficitaire. L'ensemble est globalement déficitaire, si on ne refroidit pas la drêche. Il est équilibré si on refroidit la drêche.

Illustrons cèci par un schéma :

Schéma

GESTION des EAUX CHAUDES



...

Ce schéma montre que l'on peut satisfaire les besoins essentiels du brassage et obtenir 680 hl d'eau sodée surchauffée à 80°C, si on récupère 1 500 thermies par condensation des vapeurs à la chaudière d'ébullition.

Nous avons admis qu'il faut en moyenne 1 500 hl d'eau sodée à 80°C pour 1 000 hl de bière. Ce chiffre n'est pas connu avec précision. Il pourrait aller de 1 200 à 1 800 hl. En tous cas, il y aurait encore plusieurs centaines d'hectolitres à surchauffer. Ceci prouve que l'ensemble Brassage - Lavage serait alors déficitaire en eaux chaudes de niveau 1.

Le refroidissement de la drêche ne changerait rien car il ne fournirait que de l'eau chaude de niveau 3 (environ 350 hl à 45°), qui pourrait certes convenir pour l'empâtage, mais dont nous n'avons pas besoin.

Il y a donc un déficit que l'on peut évaluer à 820 hl d'eau chaude à 85°C par millier d'hectolitres de bière. Pour une brasserie produisant 4 000 hl/jour, ce qui équivaut à peu près à 1 million d'hl/an, cela donne :

330 m3/jour pour 10^6 hl/an

Cette eau serait rejetée à 55 - 60°C après surchauffage de l'eau sodée et pourrait encore servir au chauffage des locaux, de l'eau de lavage des fûts et de renouvellement des bacs de lavage de bouteilles.

Dans une unité de cette taille, la puissance nécessaire au chauffage des locaux est évaluée à 1 500 th/h en période de grand froid, et la consommation annuelle à 3.10^6 th. Avec un système de chauffage fonctionnant entre 60° et 30°C par sol chauffant et radiateurs, ou par ventilo-convecteurs, ceci exigerait en période de pointe 50 m3/h d'eau à 60°C.

L'eau provenant du surchauffage de l'eau sodée n'est donc pas suffisante, mais elle représenterait cependant la moitié environ de la consommation annuelle de chauffage des locaux.

Dans la partie qui va suivre, nous traduirons en tonnes de fuel économisées les utilisations d'eaux chaudes envisagées et nous nous placerons dans le contexte de l'industrie de la brasserie en France.

...

C - ECONOMIES DE FUEL REALISABLES

I - Economies réalisables pour une unité de 10^6 hl/an

La première mesure préconisée est la condensation des vapeurs produites à l'ébullition du moût, afin de récupérer des calories. Cette mesure permet à elle seule d'économiser à l'intérieur de l'usine environ 150 tonnes de fuel lourd par an, l'ordre de grandeur des investissements nécessaires étant de 200 000 F.

Si en outre cette usine peut disposer de ressources en eaux chaudes à 85°C, venant de l'extérieur, au rythme de 330 m3/jour, une économie supplémentaire de 250 tonnes de fuel par an est réalisée au surchauffage de l'eau sodée ; il s'y ajoute éventuellement 100 à 150 tonnes économisées au chauffage des locaux.

Les investissements nécessaires sont constitués par :

- des bâches de stockage, dont la contenance dépend des irrégularités de la production,

- un échangeur à plaques pour extraire les calories de l'eau d'origine extérieure.

La bâche de stockage d'eau à 45°C pour l'empâtage représentée sur notre schéma n'est pas absolument nécessaire, dès lors qu'existent 2 bâches pour l'eau sodée à 50° et à 80°C, et une bâche d'eau de brassage à 80°C. Il suffit en effet dans ce cas de produire l'eau à 45° au moment de l'utilisation.

La bâche d'eau de brassage existant sans doute déjà dans toutes les brasseries, notre procédé exige seulement les 2 bâches d'eau sodée en supplément.

La pasteurisation de la bière, pourrait bénéficier également de la fourniture d'eau à 85°C, en remplacement de la vapeur. L'économie serait de l'ordre de 30 t de fuel par an, et exigerait un échangeur à plaques à plus grande surface d'échange que pour la vapeur. Malheureusement, l'eau de chauffage ne sortirait pas de l'appareil à moins de 75°, ce qui impose une autre utilisation à la suite, pour le chauffage des locaux notamment. Au total, c'est à une économie de 100 tonnes de fuel par an que l'on parviendrait avec 120 m3/jour d'eau à 85°.

...

Le tableau suivant résume nos résultats, pour une unité de 10^6 hl/an.

1) Economies d'origine interne

150 tonnes de fuel par an - Condensation des vapeurs dans la cheminée de la chaudière de cuisson.

2) Economies obtenues par fourniture d'eau chaude externe à 85°C

300 à 350 tonnes de fuel par an - Surchauffage de l'eau sodée au lavage des bouteilles

+ chauffage des locaux (60/30°C) avec 330 m3/j d'eau (80 000 m3/an)

100 tonnes de fuel par an - Chauffage d'appoint à la pasteurisation de la bière

+ chauffage des locaux avec 120 m3/j d'eau (30 000 m3/an).

II - Economies réalisables par l'industrie de la brasserie en France

Présentation de l'industrie.

On comptait, en 1974, 80 brasseries en France pour une production totale de 21,7 x M hl environ. Le nombre d'établissements décroît constamment, par suite de concentrations.

En 1970, plus de la moitié étaient de petites brasseries vendant moins de 60 000 hl par an. Il existe par contre un nombre restreint de grosses unités produisant plus de 500 000 hl par an.

La répartition géographique est très inégale. Le Nord, L'Alsace, la Lorraine fournissent une grosse part de la production. En 1974, on comptait :

49 brasseries dans le Nord,

12 " en Alsace,

29 dans le reste de la France dont 6 en Ile de France (1970).

Il est à noter que les brasseries se trouvent en principe installées dans un milieu urbain, sauf certaines grandes unités de construction récente.

Ce point est favorable car dans une ville industrielle les ressources en eau chaude sont abondantes et variées.

...

En Seine et Marne, nous n'avons recensé aucune brasserie. Par contre, dans le Nord, plusieurs centres industriels possèdent une brasserie :

Roubaix, Hélemmes (Lille-Sud Est), Mons en Baroeul, Armentières, Saint Amand les Eaux, Denain, Maubeuge, ... (Cette liste n'est pas exhaustive).

Nous nous garderons d'extrapoler à l'ensemble de la branche les résultats obtenus plus haut pour l'unité de 10^6 hl par an. Nous pouvons seulement en déduire le plafond du total des économies réalisables en brasserie par utilisation d'eau chaude :

- 3 000 tonnes de fuel par condensation des vapeurs à la chaudière d'ébullition,

- 6 000 à 7 000 tonnes au surchauffage de l'eau sodée,

- 2 000 tonnes à la pasteurisation.

La consommation totale de fuel lourd pour la branche était de l'ordre de 100 000 tonnes en 1971.

...

SUCRERIES

1) Besoins énergétiques

Pour fonctionner, une sucrerie utilise deux formes d'énergie : la vapeur et l'électricité.

La vapeur surchauffée sort de la chaudière entre 35 bars et 40 bars vers 380°. Elle est détendue dans une turbine à contre-pression jusqu'à 2 bars pour produire de l'électricité nécessaire aux moteurs des nombreux appareils : pompes, malaxeurs, délayeurs, mélangeurs, diffuseurs. Il existe en général des chaudières d'appoint produisant de la vapeur saturée à 2 bars. Cette vapeur, qui alimente le premier corps d'évaporation, est dégradée mais les condensats sont récupérés pour la diffusion, le préchaulage, le chaulage, la filtration, la cristallisation. Le rendement énergétique est donc excellent.

Cependant, par suite de la hausse des prix pétroliers, les nouvelles sucreries risquent de s'orienter vers un autre système : elles auraient recours à E.D.F. pour leurs besoins électriques et se contenteraient de produire de la vapeur à 2 bars.

2) Techniques de production

a) Obtention de jus sucré

La betterave est lavée après avoir été stockée dans des aires en béton ; elle est conduite de l'aire de stockage à l'aire de lavage par de l'eau chargée de terre (densité voisine de celle de la betterave afin de faciliter le transport) - le laveur élimine la terre adhérant aux racines - l'épierreur et l'épailleur enlèvent les pierres et les herbes par différence de densité.

Les betteraves sont alors découpées en cossettes de forme spéciale, pour faciliter la diffusion du sucre ; les cossettes sont introduites dans le diffuseur à contre-courant, premier poste faisant intervenir de l'énergie calorifique. Leur teneur en sucre, initialement de 16 % passe à 0,40 % ; elles sont alors appelées pulpes de betterave et servent à l'alimentation animale ; elles peuvent aussi être séchées et leur teneur en eau ramenée à 10 %.

...

L'eau de diffusion, appelée jus, contient environ 14 % de sucre.

b) Elimination des impuretés

- Action de la chaux :

Elle précipite les sulfates et les phosphates avec libération de potasse (KOH) et de soude (Na OH) ; l'alcalinité de la soude et de la potasse empêche l'hydrolyse du saccharose.

Les impuretés organiques, acides oxaliques, maliques, tartriques sont précipitées. Les sucres réducteurs sont détruits en présence de chaux avec dégagement de CO_2 et formation de carbonate de chaux.

Les impuretés azotées dégagent de l'ammoniaque avec formation de sels de chaux solubles ultérieurement éliminés par la décalcification évitant l'entartrage des corps d'évaporation.

L'élimination des impuretés azotées colloïdales s'effectue au préchaulage à PH déterminé et au chaulage (excès de chaux) ; la chaux en excès se transforme en Ca CO_3 par carbonatation ; une filtration intermédiaire est nécessaire pour éviter de remettre en solution certaines impuretés ; la teneur en Ca O est alors de 1 g par litre. Par sulfitation cette teneur est abaissée à 0,50 g avec amélioration de la pureté du sucre (décoloration des jus).

c) Cristallisation

Le jus épuré contient 15 % de matière sèche. L'évaporation permet de monter cette teneur à 70 % : on obtient le sirop.

Dans le cristalliseur, le sirop concentré par évaporation sous vide devient sursaturé. L'apparition de germes cristallins est accélérée par l'introduction de petits cristaux qui amorcent la réaction. Pour la qualité de la réaction, on maintient la circulation du jus grâce à un agitateur.

Enfin la séparation de l'eau et des cristaux en suspension se fait par centrifugation dans des turbines essoreuses. Les cristaux sont ensuite séchés puis stockés ou ensachés.

...

EVOLUTION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE GLOBALES

COMBUSTIBLES

Sucreries et sucreries-distilleries

10^3 t

Année	Charbon		Fuel		Coke		Ensemble (10^3 tec)	dont charbon et fuel
1957-1958	750		120		70		1 000	930
1958-1959	800		140		80		1 090	1 010
1959-1960	350		72		35		493	458
1960-1961	840		172		84		1 182	1 098
1961-1962	540	71,1 %	110	27,8 %	54	7,1 %	759	705
1962-1963	470	71,3 %	95	21,6 %	47	7,1 %	659	612
1963-1964	520	68,4 %	120	23,7 %	60	7,9 %	760	700
1964-1965	436	49,5 %	250	42,7 %	69	7,8 %	880	811
1965-1966	440	49,9 %	250	42,6 %	66	7,5 %	881	815
1966-1967	330	49,3 %	190	42,6 %	54	8,1 %	669	615
1967-1968	323	47,7 %	200	44,3 %	54	8,0 %	677	623
1968-1969	395	41,6 %	320	50,7 %	73	7,7 %	948	875
1969-1970	355	35,9 %	369	55,8 %	79	8,3 %	987	908
1970-1971	198	20,0 %	479	72,4 %	75	7,6 %	991	916
1971-1972	106	9,0 %	649	83,2 %	92	7,8 %	1 172	1 080
1972-1973	82	7,3 %	635	84,8 %	89	7,9 %	1 124	1 035

Source : Annuaire de l'INSEE

...

FABRICATION DE PRODUITS LAITIERS

Unité de référence : 450 000 litres de lait par jour.
Production : 15 tonnes de fromage à pâte pressée, 100 000 litres de lait stérilisé, 30 000 kg de lait en poudre.

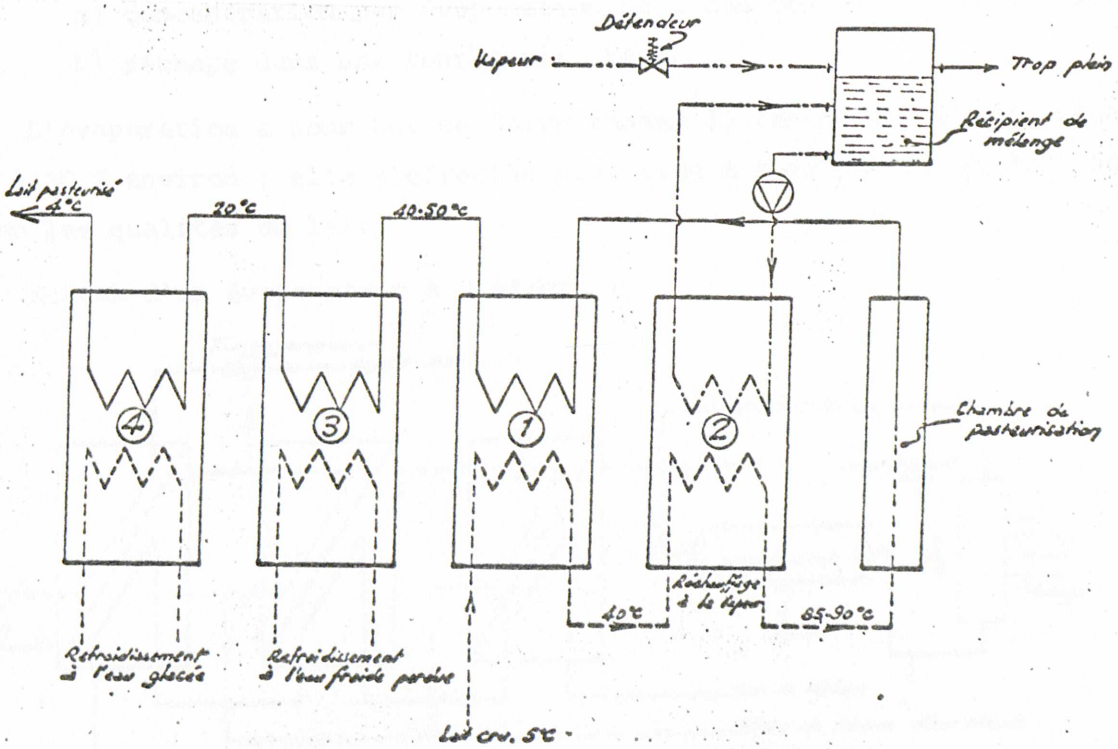
I - REMARQUES GENERALES

Les principaux postes de consommation d'énergie calorifique en laiterie sont les suivants :

- la pasteurisation (70° à 90°),
- la stérilisation (120° à 150°),
- le séchage (180° à 220°),
- l'évaporation sous vide (70° à 80°),
- le chauffage des fromages à pâtes cuites (50°).

1) Pasteurisation

Schéma d'une installation :



...

L'opération s'effectue en 5 temps :

- préchauffage du lait froid (5° - 8°) par le lait venant d'être pasteurisé,
- réchauffage jusqu'à la température de pasteurisation,
- refroidissement par le lait entrant,
- refroidissement à l'eau froide,
- refroidissement à l'eau glacée.

2) Stérilisation

Les stérilisateurs utilisent des températures plus élevées que les pasteurisateurs (de l'ordre de 120° - 140°) obtenues grâce à un échangeur chauffé par la vapeur à 3 - 4 bars ou par de l'eau surchauffée. Le lait est porté quelques secondes à une température de 130° (préstérilisation) puis ramené vers 70° et soumis à homogénéisation. Après la mise en bouteilles, il est de nouveau chauffé vers 110° - 120°C pendant 20 minutes.

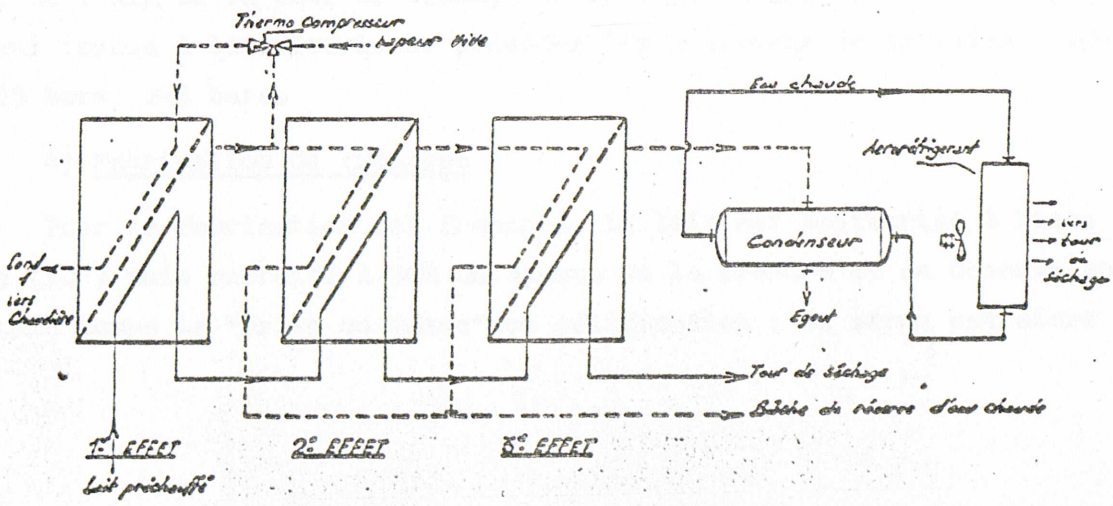
3) Séchage du lait (fabrication de lait en poudre)

Il s'effectue en deux étapes :

a) concentration par évaporation de l'eau contenue dans le lait,
b) séchage dans une tour à air chaud.

L'évaporation a pour but de faire passer la teneur en matière séche de 12 % à 30 % environ ; elle s'effectue sous vide à température de 80°C pour préserver les qualités du lait.

Schéma d'un évaporateur à 3 effets :



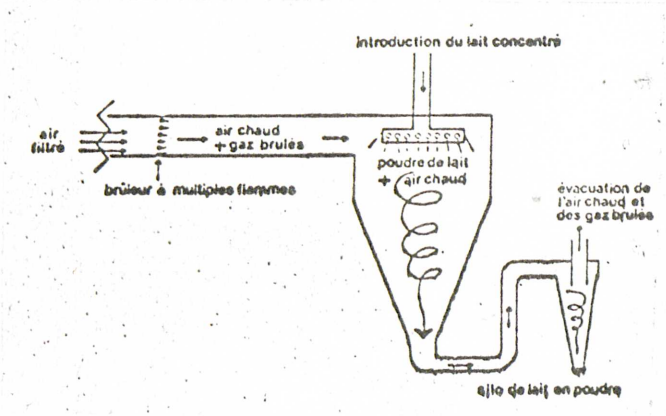
...

Cet évaporateur à 3 effets, à fonctionnement continu, permet à 1 kg de vapeur issue de la chaudière d'évaporer environ 3,5 kg d'eau contenue dans le lait.

Les condensats du 1er étage peuvent être récupérés pour alimenter la chaudière ; les condensats des effets suivants (60° - 70°) doivent être récupérés pour des besoins divers nécessitant l'emploi de basses calories :

- chauffage des locaux,
- rinçage et lavage des appareils,
- lavage des sols.

Le lait concentré sortant de l'évaporateur est envoyé dans une tour de séchage pour la fabrication du lait en poudre (figure ci-dessous).



La teneur en eau est ainsi diminuée aux alentours de 3 %. Le réchauffement de l'air de la tour de séchage se fait en général par de la vapeur d'eau, ce qui impose à la laiterie de posséder les 3 niveaux de pression : 20-25 bars, 10-15 bars, 2-5 bars.

4) Fabrication de fromages

Pour la fabrication des fromages, le lait est pasteurisé à basse température (70°) puis refroidi à 30°. On ajoute de la présure et on observe après un certain temps la "prise en masse" ou gélification ; le sérum est alors séparé,

...

stocké et refroidi. Il peut être mis en poudre pour l'alimentation du bétail. Le caillé et le reste de sérum forment le gâteau. Les grains de caillé sont chauffés à 50° pour la préparation des fromages cuits.

...

ANNEXE 1.3.

Abréviations : T : température ; PL : plantation ; D : densité ; FL : époques de floraison (au stade de la récolte)

Plantes	Plan de culture		Observations
	Origine des plants	Culture proprement dite	
CHRYSANTHEME en culture dirigée	Boutures achetées chez un multiplicateur spécialiste (cultivars : d'été, d'hiver)	T : 15 à 16°C Pl : avec grillage de 12,5 x 12,5 cm D : 48 à 64 plants par m2 selon époques de floraison (jours courts ou jours longs) Fl : en 3 à 4 mois ; trois récoltes par an.	Planification des floraisons Installation de systèmes d'éclairage (avec lampes incandescentes) et de toiles noires (nuit artificielle) de façon à contrôler le régime photopériodique Coloris variés et "modernes".
CYMBIDIUM - à grandes fleurs - miniatures	Plants achetés chez un spécialiste	T : 15°C de jour (13 à 15°C de nuit) Pl : culture en pots (terre, plastique...), en paniers grillagés, en bacs... D : 4 à 5 pots de 18 au m2 pour les hybrides à grandes fleurs ; 10 à 14 pots de 12 au m2 pour les miniatures Fl : de novembre à avril (selon les cultivars et la température estivale).	Plants coûteux à l'achat mais production importante Rafraîchissement indispensable en été (maintien d'une température de 14°C de nuit pour la mise à fleur). Coloris très variés Parfum léger
FREESIA - hybrides - super-Freesia	Semis en caissette à 4 x 4 cm ou sur couche, d'avril à juin T : 20-22°C ou bien Bulbes achetés (choisir les plus gros calibres)	T du sol : inférieure à 15°C l'été (initiation florale) T de l'air, en hiver : - 8-10°C de nuit - 15°C de jour Pl : avec grillage 12,5 x 12,5 cm, à partir de septembre, et même de juin avec des bulbes "traités" D : 80 à 100 plants ou bulbes au m2 Fl: hivernale (en 100 à 120 jours).	Bulbes relativement coûteux Coloris vifs, variés Parfum très agréable

...

Plantes	Plan de culture		Observations
	Origine des plants	Culture proprement dite	
GERBERA	Semis en bâches à 21°C ou bien plants achetés chez un spécialiste	T (air) : 13 à 15°C (en hiver) Pl : en planches de 4 rangs (30 x 30 cm) à 40 x 40 cm de mars à septembre D : 6 à 10 plants au m2 Fl : 1 mois $\frac{1}{2}$ à 2 mois après plantation	Culture bisannuelle mais tendant à devenir annuelle (rendements et qualité inférieurs en deuxième année) Problèmes phytosanitaires : dégâts importants provoqués par Phytophtora (responsable du flétrissement et du dépérissement brutal des plants). Coloris très vifs, variés.
GLAÏEUL - hybrides à grandes fleurs	Bulbes achetés calibre 12-14, 14 et plus Choix de cultivars précoces ex. : Friendsnip (rose) White Friendsnip Peter Pears (saumon)	T (du sol) : 10 à 12°C à la plantation puis 12 à 14°C six semaines après T (de l'air) : 14°C (et jusqu'à 18°C quand l'épi est visible) Pl : en planches (voir Freesia), de janvier à mars D : 48 bulbes au m2 Fl : 70 à 100 jours après plantation	Culture possible sous tunnel plastique de grand volume La floraison est hâtée en utilisant des bulbes "préparés" Traitements phytosanitaires indispensables avant plantation (une $\frac{1}{2}$ heure dans un mélange de Bénomyl et de Lindane) pour prévenir les attaques de Fusarium et de Thrips Coloris variés
IRIS de HOLLANDE	Bulbes achetés : calibre 10 et plus (bulbes "préparés" Cultivars : "Wedgwood" (bleu clair", "Idéal" (bleu)	T (de l'air) : 13°C pendant les deux premières semaines puis 15°C de jour et de nuit Pl : en caissettes ou en planches, en recouvrant à peine les bulbes, mi-octobre D : 120 bulbes au m2 Fl : 80 à 100 jours après plantation de janvier	Culture possible sous tunnel plastique Fleur coupée d'excellente tenue... mais très cultivée La culture est possible également à partir de bulbes "retardés" ; plantés vers la mi-août (sous tunnel) ils fleurissent à la mi-novembre (T. : 10 à 12°C)

...

Plantes	Plan de culture		Observations
	Origine des plants	Culture proprement dite	
MUFLIER races hybrides F1 (races à forcer)	Semis de juillet à mars, en caissettes ou en coffres à multiplication ; température : 20-22°C. Recouvrir légèrement les graines Repiquage 15, 20 jours après, en coffres ou en godets ou en multipots ou en mottes pressées : température : 10-12°C de nuit, 15-16°C de jour	T (de l'air) : 8-10°C de nuit et 13-14°C de jour Pl : voir Chrysanthème D : 64 (à 100) plants au m2 Fl : 120 à 140 jours après le semis	Culture possible sous tunnel Les races sont présentées dans les catalogues par groupes selon leurs aptitudes à la culture en jours plus ou moins courts Sensibilité à la Rouille très atténuée chez les Fl. Coloris : teintes "pastel" très appréciées ; léger parfum
OEILLET de type américain : - standards - miniatures	Boutures achetées chez un multiplicateur spécialiste	T : bien que l'oeillet ne gèle qu'à - 5°C, la formation de boutons à fleurs est pratiquement stoppée au-dessous de 8°C et au-dessus de 25°C - en hiver : 15 à 18° C de jour et 8 à 12°C de nuit - en été : 21°C de jour et 12°C de nuit Pl : en planches de 1 m à 1,20 m (avec grillage de 12,5 x 12,5 cm ou de 20 x 15 cm), d'avril à juin le plus fréquemment D : 30 à 40 plants au m2 Fl : 3 mois et demi à 4 mois après la plantation	Les "standards" sont conduits en uniflores par ébourgeonnage et ébouton-nage de chaque tige obtenue après pincement Les"miniatures" (encore peu connus en France mais très cultivés aux Pays-Bas) sont conduits en pluriflores et vendus en "branches fleuries" Culture sur 2 ans en général Les maladies nombreuses et graves (dont Phialophora cinerescens) tendent à limiter l'extension des surfaces cultivées Coloris : Rouge, rose, jaune, blanc et striés

...

Plantes	Plan de culture		Observations
	Origine des plants	Culture proprement dite	
POIS de SENTEUR - type "Hâtif de Noël" ou "Spencer de Noël" - type "Hâtif géant multiflore" ou "Zvolanek"	Semis en godets traditionnels ou de tourbe pressée ; 4 graines par godet Température : 20°C	T : 8-9°C de nuit et 10-12°C de jour en janvier-février (15 à 18°C maximum au printemps) Pl : en lignes distantes de 0,80 à 1m, en plaçant 1 godet tous les 20 ou 30 cm Fl : - un semis de juillet-août donne une floraison pour Noël (culture pratiquée surtout dans le Midi) - un semis de janvier-février donne une floraison en avril-mai	Culture hâtée possible sous tunnel de plastique pour floraison en mai-juin Coloris variés, très vifs (teintes "pastel") Parfum agréable
ROSE - hybrides de thé ou grandes roses - floribonda ou "mini-roses"	Plants greffés achetés chez un pépiniériste	Une remarque préliminaire s'impose : nous avons choisi de présenter cette production pour montrer qu'il est possible de la réaliser - dans certaines conditions - en réduisant sensiblement le chauffage ; une culture normale exige des températures plus élevées (18°C au "forçage" en hiver) Type de culture retenu : pratique du repos hivernal, en janvier-février Choix de cultivars moins exigeants en température : "Carina", "Message" "Magic-Moment", "Sonia", "Visa", "Evergold" "Prominent"... (Observations personnelles)	Durée d'une culture 6 à 8 ans Coloris les plus demandés : - rouge (60%) - rose (20%)

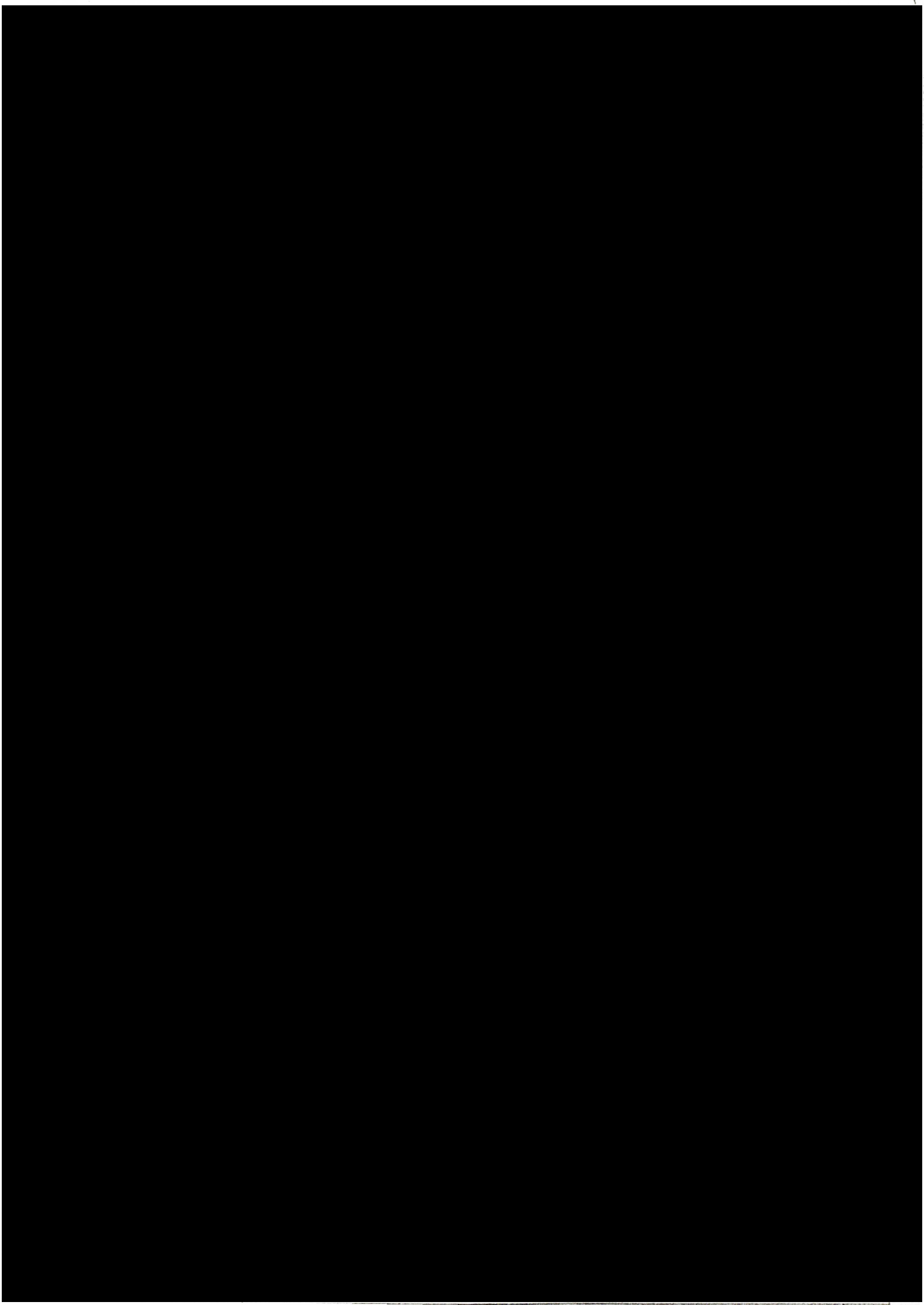
...

Plantes	Plan de culture		Observations
	Origine des plants	Culture proprement dite	
ROSE (suite)		T : - période de repos : 5°C minimum - période de végétation : 16°C de jour et 12°C de nuit Pl : trois types (voir P.H.M. n° 137 de mai 1973) : 1. planches de 6 ou 4 rangs (0,35 x 0,40 cm ou 0,15 x 0,60 cm...) avec passe-pied de 0,60 cm en moyenne 2. sur deux rangs (0,20 x 0,40 cm ou 0,12 x 0,30 cm) avec passe-pied de 1 m à 1,30 m 3. sur un rang (0,10 cm) avec passe-pied de 1,30 à 1,50 m D : elle tend à diminuer pour diverses raisons (traitements et récoltes facilités, meilleur éclairement...) ; de 10 plants à 6-7 plants par m2 couvert Fl : 70 à 80 jours après la taille	
TULIPES, NARCISSES et autres"bulbeuses" - cv. Hâtifs	Bulbes achetés (choisir les plus gros calibres et des bulbes préparées)	Culture hâtée en serre froide ou sous grand tunnel T : 15°C (de nuit, en hiver) Pl : en octobre-novembre D : 60 à 80 bulbes au m2 Fl : 3 à 4 semaines avant la date normale de floraison	Echelonner les plantations et choisir les cultivars de façon à obtenir des floraisons successives

E.N.S.H.
Chaire C. Florales

1970

ANNEXE 2.1.



ANNEXE 2.2.

CENTRALES DES HOUILLERES

		Puissance en MW	Date de mise en service
I - H.B.N.P.C.			
Tr. A :	Hornaing 3	240	Septembre 1970
Tr. 1 :	Courrières	2 x 117	Novembre 1963
	Hornaing	2 x 117	Septembre 1958 et Novembre 1958
	Violaines	2 x 117	Octobre 1956 et Février 1960
Tr. 2 :	Harnes	2 x 53,5	Avril et Mai 1949
	Dechy	2 x 53,5	Juillet 1952
	Chocques	56	Février 1954
Tr. 3 :	Labuissière	2 x 36,5	Septembre 1948 et Octobre 1951
	Dourges	2 x 23	Janvier 1951 et août 1951
	Thiers	2 x 36,5	Janvier 1951 et Juillet 1952
		2 x 22,5	Décembre 1953 et Novembre 1954
Tr. 4 :	Beuvry	2 x 36,5	1948 et 1951
II - LORRAINE			
Tr. A :	Carling 5	330	Mai 1973
Tr. 1 :	Carling	2 x 118	Février 1959 et Juillet 1959
Tr. 2 :	Carling	2 x 104	Janvier et Décembre 1952
	Grossbliederstroff	2 x 110	Avril et Décembre 1954

...

CENTRALES DES HOUILLERES (suite)

		Puissance en MW	Date de mise en service
III - H.B.C.M.			
Aquitaine			
Tr. 1 :	Penchot 2	60	Avril 1960
Tr. 2 :	Penchot 1	25	Septembre 1954
	Carmaux	25	Septembre 1954
Auvergne			
	Pont de Menat	26,5	Septembre 1953
	La Taupe	2 x 7,5	Septembre 1953
Blanzy			
	Lucy 3	240	Octobre 1971
	Lucy 1	38	Décembre 1948
	Lucy 2	38	Février 1951
Cévennes			
	Fesc	2 x 22,5	Novembre 1950 et Septembre 1951
		1 x 50	Avril 1954
	Bousquet d'Orb	1 x 20	Février 1956
Dauphiné		2 x 25	Mars 1954
Loire			
	Le Bec 1	2 x 25	Septembre 1950 et août 1951
	Le Bec 2	1 x 60	Avril 1954
	Le Bec 3	1 x 75	Avril 1960
Provence			
	Gardanne 1	50	Avril 1954
	Gardanne 2	50	Juillet 1958
	Gardanne 3	50	Juillet 1959
	Gardanne 4	240	Octobre 1967

CENTRALES THERMIQUES CLASSIQUES E.D.F.

	Puissance totale (MW)	Combustible
Palier < 125 MW		
Arjuzanx 1-2	110	Gaz
Arrighi 5	105	Fuel
Chevire 1-2-3	204	Fuel/Gaz
Dieppedalle	92	Fuel
Gennevilliers 1-3-4	325	Fuel
Yainville 1-2	100	Fuel
Palier 125 MW		
Ambès 1-2	234	Fuel/Gaz
Ansereuilles	468	Charbon/Fuel
Arjuzanx 3	117	Gaz
Arrighi 6	117	Fuel
Artix	369	Gaz
Beautor	351	Charbon/Fuel
Chalon	234	Charbon/Fuel
Chevire 4	117	Fuel/Gaz
Comines 3	117	Charbon
Creil	460	Charbon/Fuel
Dunkerque	460	Fuel/Gaz
Montereau 1-2	230	Fuel/Gaz
Pont sur Sambre 1-2	230	Charbon/Gaz
Porcheville A	460	Charbon
Strasbourg 1	117	Charbon/Fuel
Strasbourg 2	117	Charbon/Fuel
Yainville 3-4	234	Fuel

...

CENTRALES THERMIQUES CLASSIQUES E.D.F. (suite)

	Puissance totale (MW)	Combustible
Palier 250 MW		
Albi	250	Charbon/Fuel
Blénod	1 000	Charbon/Fuel
Ambès 3-6	1 000	Fuel
Bouchain	500	Charbon/Fuel
Champagne	490	Charbon/Fuel
Chevire 5-6	480	Fuel
Le Havre B 1	250	Charbon/Fuel
Loire 1-2-3-4	1 000	Fuel
Martigues	1 000	Fuel
La Maxe	490	Charbon/Fuel
Montereau 3-4	500	Charbon/Fuel
Pont sur Sambre 3	250	Charbon/Gaz
Saint Ouen 1-2	490	Fuel
Vaires	490	Charbon/Fuel
Vitry 1-2-3-4	1 000	Charbon/Fuel
Palier 600 MW		
Cordemais 1	585	Fuel
Le Havre B 2 B 3	1 170	Fuel
Porcheville B 1-4	2 340	Fuel
Palier 700 MW		
Aramon 1-2	700	Fuel
Cordemais 2-3	700	Fuel
Turbines à gaz	308	Fuel/Gaz
Total	20 361	34 % charbon 10 % gaz 56 % fuel

...

CENTRALES NUCLEAIRES

- Centrales nucléaires en service

	Puissance en MW	Date de mise en service	Type
Marcoule (Gard)	2 x 40	1959-1960	Graphite-Gaz
Chinon II et III (I. & L.)	200 + 480	1965-1966	Graphite-Gaz
Chooz (Ardennes)	300	1967	P.W.R.
Brennilis (Finistère)	72	1967	Eau lourde
Saint Laurent des Eaux I & II (L. & Ch.)	480 + 515	1969-1971	Graphite-Gaz
Bugey I (Ain)	540	1972	Graphite-Gaz
Phénix	250	1973	Surrégénérateur

- Centrales nucléaires qui doivent entrer en service entre 1975 et 1980

	Puissance en MW	Type
Fessenheim I et II (Ht Rhin)	1 800	P.W.R.
Bugey II, III, IV, V (Ain)	3 650	P.W.R.
Saint Laurent des Eaux III et IV (L. et Ch.)	2 000	P.W.R.
Gravelines I, II, III, IV (Nord)	3 600	P.W.R.
Tricastin I, II, III, IV (Drôme)	3 600	P.W.R.
Dampierre en Burly I et II (Loiret)	1 800	P.W.R.
Creys-Malville (Isère)	1 200	Surrégénérateur
Le Blayais I (Gironde)	900	P.W.R.

...

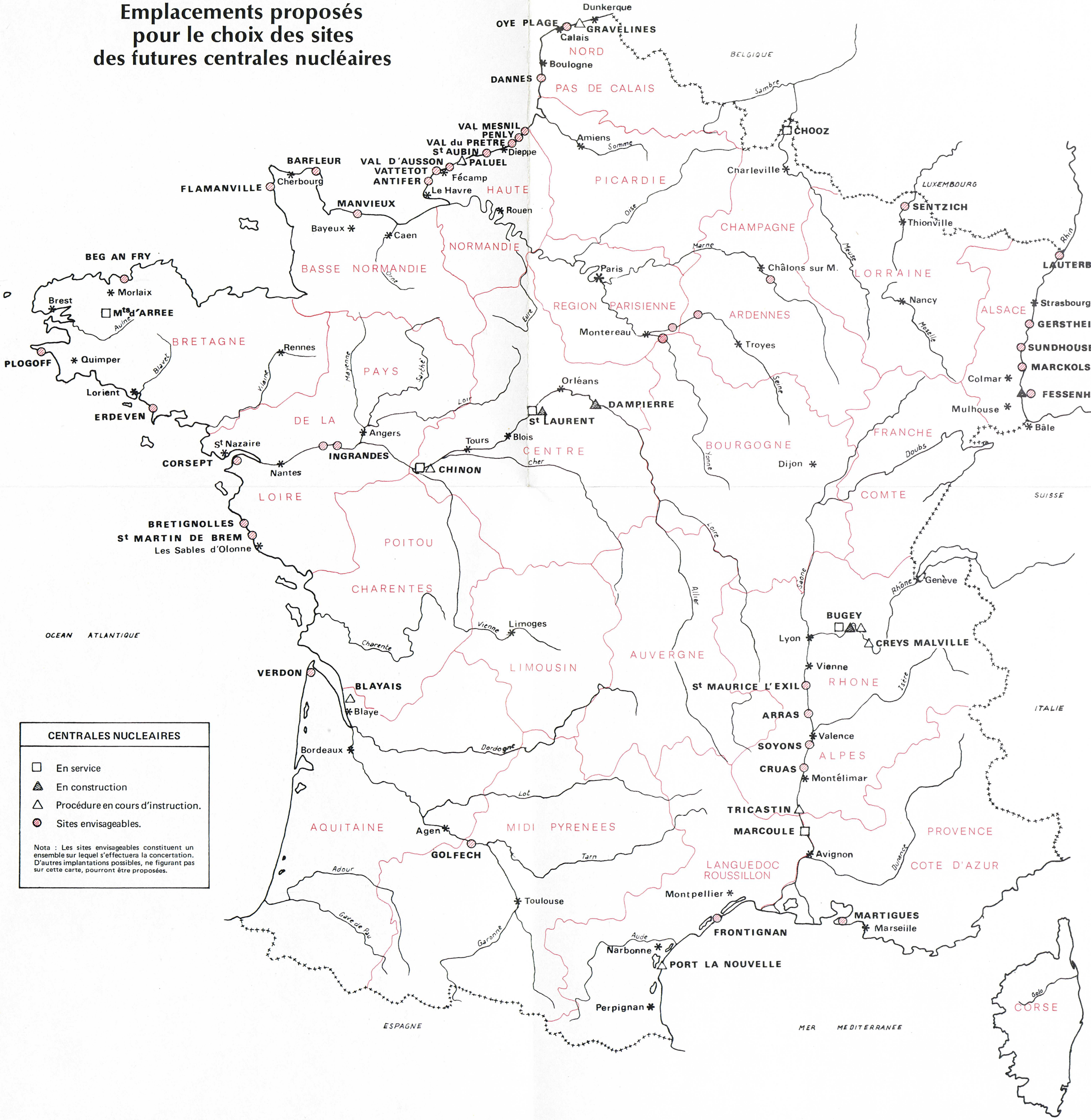
- Engagements 76-77

	Puissance en MW	Type
Paluel	1 300	P.W.R.
Chinon	2 x 900	P.W.R.
Falaise	1 300	P.W.R.
Port la Nouvelle	900	P.W.R.

I.E. 1 [48]

Les sites indiqués sur cette carte sont des emplacements proposés à l'examen des responsables régionaux. Ils ne seront pas tous occupés par des centrales nucléaires. Il est par ailleurs possible que des centrales soient construites en d'autres points que ceux qui y sont mentionnés.

Emplacements proposés pour le choix des sites des futures centrales nucléaires



CENTRALES NUCLEAIRES

- □ En service
- ▨ En construction
- △ Procédure en cours d'instruction.
- ⊘ Sites envisageables.

Nota : Les sites envisageables constituent un ensemble sur lequel s'effectuera la concertation. D'autres implantations possibles, ne figurant pas sur cette carte, pourront être proposées.

ANNEXE 2.3.

RAFFINERIES FRANCAISES

			Capacité
Nord	Dunkerque (B.P.)		5 500 000 t
	Dunkerque (C.F.R.)		6 000 000 t
	Valenciennes (Antar)		3 500 000 t
Basse-Seine	Gonfreville		23 300 000 t
	Petit-Couronne		18 200 000 t
	Gravenchon		3 600 000 t
	Port Jérôme		7 200 000 t
	Vernon	(+ 4 000 000)	3 000 000 t
Ile de France	Grandpuits		3 600 000 t
	Gargenville		6 000 000 t
Donges (Loire Atlantique)			8 300 000 t
Vern sur Seiche			1 450 000 t
Gironde	Pauillac		4 000 000 t
	Bordeaux		2 900 000 t
	Ambès		2 100 000 t
Frontignan			6 000 000 t
Marseille/Berre	La Mède		10 235 000 t
	Lavéra		11 000 000 t
	Berre		13 500 000 t
	Fos		8 000 000 t
Feyzin			7 225 000 t
Alsace	Reichstett		3 700 000 t
	Herrlisheim		4 500 000 t
Lorraine	Hauconcourt		4 500 000 t
	Total		172 885 000 t

...

CARACTERISTIQUES DES AEROREFRIGERANTS

Aéroréfrigérant (en circuit fermé)	Débit t/h	Températures °C	Produit
11 M 13	100	125°/45°	Gas oil ourd
11 M 14	65	140°/45°	Gas oil léger
11 M 15	75	110°/45°	Résidu
11 M 20		90°/20°	Eau de dessalage
13 M 09		150°/40°	Essence lourde
14 M 02	100 t/h	145°/40°	Réformat
14 M 05		87°/40°	

N.B. - Les débits et températures varient selon le type de brut traité. Au total, le flux thermique évacué serait, selon notre évaluation, de l'ordre de 15 000 th/h, ce qui correspond à quelques 10 000 tef/an.

...

USINES SIDERURGIQUES

INDEX ALPHABETIQUE

Sociétés sidérurgiques :	Usines :
ALLEVARD (Société des Forges d')	ALLEVARD (Isère)
ANOR (Aciéries et Forges d')	ANOR (Nord)
ANZIN (Société des Aciéries d')	ANZIN (Nord), SAINT-SAULVE (Nord)
AUBERT & DUVAL (Société)	LES ANCIZES (Puy de Dôme)
BEAUTOR (Aciérie et Laminoirs de)	BEAUTOR (Aisne)
BEDEL S.A. (Aciéries Bédel, S.A.)	SAINT ETIENNE (Loire)
BONPERTUIS (Société des Forges et Aciéries de)	BONPERTUIS (Isère)
BRETAGNE (Forges et Laminoirs de)	SAINT BRIEUX (Côtes du Nord)
CARNAUD BASSE-INDRE (Ets J.J. Carnaud et Forges de Basse-Indre)	BASSE-INDRE (Loire Atlantique)
CHAMPAGNOLE (Aciéries de)	CHAMPAGNOLE (Jura)
CHATILLON-COMMENTRY-BIACHE (C° des Forges de)	ISBERGUES (Pas de Calais) BIACHE-SAINT-VAAST (Pas de Calais)
CHIERS (Société des Hauts Fourneaux de la)	ANZIN (Nord) BLAGNY-CARIGNAN (Ardennes) LONGWY-BAS (Meurthe et Moselle) VIREUX-MOLHAIN (Ardennes)
CLAIRVAUX (Société des Forges de)	CLAIRVAUX (Aube)
COCKERILL (Cockerill-Ougrée-Providence et Espérance-Longdoz)	HAUTMONT (Nord) REHON (Meurthe et Moselle)
COMBEPLAINE (Forges et Ateliers de)	REIMS (Marne)
COMMENTRYENNE (Société Commentryenne des Aciers Fins Vanadium Alloys)	COMMENTRY (Allier)
CREUSOT-LOIRE	LE CREUSOT (Saône et Loire) LES DUNES (Nord) FIRMINY-UNIEUX (Loire) IMPHY (Nièvre) L'HORME (Loire) PAMIERS (Ariège) SAINT CHELY-D'APCHER (Lozère) SAINT ETIENNE (Loire)
DECAZEVILLE (Aciéries et Usines Métallurgiques de)	DECAZEVILLE (Aveyron)
DEMBIERMONT DEMBIERMONT & C° (M.)	HAUTMONT (Nord)
ESCAUT (Société Métallurgique de l') (USINOR)	TRITH-SAINT-LEGER (Nord)

...

Sociétés sidérurgiques (suite)	Usines
EXPERTON-REVOLLIER (Etablissements P.)	RIVES (Isère)
FIVES LILLE-CAIL (Société)	DENAIN (Nord)
FOREZ (Aciéries du)	SAINT-ETIENNE (Loire)
FRONCLES (Société des Forges de)	FRONCLES (Haute Marne)
GAUCHON (Etablissements Métallurgiques Louis Gauchon et ses Fils)	SAIL-SOUS-COUZAN (Loire)
GROUSSET (Etablissements)	SAINT-JUST-SUR-LOIRE (Loire)
GUEUGNON (Forges de)	GUEUGNON (Saône et Loire)
HAIRONVILLE (Société des Forges d')	HAIRONVILLE (Meuse)
JABOULAY (Société L.A.M.E.F. - Aciérie)	TERRENOIRE (Loire)
LASVIGNES & C°	TOUILLE (Haute Garonne)
MARREL Frères	LES ETAINGS-CHATEAUNEUF (Loire)
MAUBEUGE (Fabrique de Fer de)	LOUVROIL (Nord)
MONTATAIRE (Société de Construction et de Galvanisation de)	MONTATAIRE (Oise)
NEUVES-MAISONS, CHATILLON (Société des Aciéries et Tréfileries de)	NEUVES-MAISONS (Meurthe et Moselle)
NORMANDIE (Société Métallurgique de)	MONDEVILLE (Calvados)
PARIS-OUTREAU (Aciéries de Paris et d'Outreau)	OUTREAU (Pas de Calais)
PAUZIERE (Laminoirs de la)	LE CHAMBON-FEUGEROLLES (Loire)
PERRIN (Forge et Laminoir de Tilchâtel)	TILCHATEL (Côte d'Or)
PEUGEOT (Aciers et Outillage)	BOURGUIGNON (Doubs)
PHENIX-ROUSIES (Société)	ROUSIES (Nord)
POMPEY (Société Nouvelle des Aciéries de)	POMPEY (Meurthe et Moselle)
PONT-A-MOUSSON (Société des Fonderies de)	PONT-A-MOUSSON (Meurthe et Moselle)
SACILOR (Société des Aciéries de Lorraine)	GANDRANGE (Moselle)
S.A.F.E. (Société des Aciers Fins de l'Est)	HAGONDANGE (Moselle)
SAINT-FRANCOIS (Aciéries et Forges de)	SAINT-ETIENNE (Loire)
SAINT-JACQUES (Société des Usines)	MONTLUCON (Allier)
SAULNES & UCKANGE (Hauts-Fourneaux Réunis de)	SAULNES (Meurthe et Moselle) UCKANGE (Moselle)
SAUT-DU-TARN (Société Nouvelle du)	SAINT-JUERY (Tarn)
SOLLAC (Société Lorraine de Laminage Continu)	EBANGE (Moselle) FLORANGE (Moselle) SEREMANGE (Moselle)

...

Sociétés sidérurgiques (suite)	Usines
STRASBOURG (Laminoirs de)	STRASBOURG (Bas-Rhin)
SYAM (Forges de)	SYAM (Jura)
TEMPLE (Aciéries du)	SAINT-MICHEL-DE-MAURIENNE (Savoie)
UGINE KUHLMANN	L'ARDOISE (Gard) MOUTIERS (Savoie) UGINE (Savoie)
USINOR (Union Sidérurgique du Nord et de l'Est de la France)	BREVILLY (Ardennes) DENAIN (Nord) DUNKERQUE (Nord) LONGWY (Meurthe et Moselle) LOUVROIL (Nord) MONTATAIRE (Oise) THIONVILLE (Moselle) VALENCIENNES (Nord)
VIEUX-MARAIS (Laminoirs et Aciéries du)	SAINT-ETIENNE (Loire)
VINCEY-BOURGET (Société)	VINCEY (Vosges)
WENDEL-SIDELOR	FENSCH (Moselle) HAGONDANGE (Moselle) HAUTMONT (Nord) MICHEVILLE (Meurthe et Moselle) ORNE-AMONT (Meurthe et Moselle) ROMBAS (Moselle)
ZIEGLER S.A.	DESVRES (Pas de Calais) MOUZON (Ardennes) SAINT-OUEN (Seine Saint Denis)

LA FONDERIE

1) Structure du secteur

Grand nombre d'entreprises petites et moyennes.

En 1973, 802 entreprises comptaient 892 établissements, divisés en 1 309 ateliers. En 1971, le secteur comprenait 475 entreprises de moins de 100 salariés, 6 de plus de 2 000.

2) Entreprises de plus de 1 000 personnes du secteur

Arthur Martin (Ardennes)
De Diétrich (Niederbronn)
Idéal Standard (Aulnay sous Bois)
Rosières (Aisne)
Générale de Fonderie (Soissons)
H.K. Porter France
Pont-à-Mousson (Pont-à-Mousson, Ham, Fong, Fumel, Chalon sur Saône)
Montupet (Nanterre, Nogent sur Oise)

3) Entreprises Moyennes

Il existe de nombreuses entreprises de 100 à 300 personnes dans les Ardennes, la région du Nord et la région parisienne. Citons pour exemple :

Dumas à Charleville
Gailly à Charleville et Meung sur Loire
Thecla à Delle (Territoire de Belfort)
Lory à Etampes
Huard à Châteaubriant (Loire Atlantique)

4) La branche fonderie

Elle compte des entreprises de sidérurgie et de mécanique.

Sidérurgie : Usinor, Paris-Outreau
Automobile : Renault à Boulogne-Billancourt, Cléon, Nanterre, Lorient
Simca à Dampierre sur Besbre
Peugeot à Sochaux.
Métallurgie : Creusot-Loire à Montchanin, Saint Chamond, Frouard, Firminy.

...

[redacted]

[redacted]

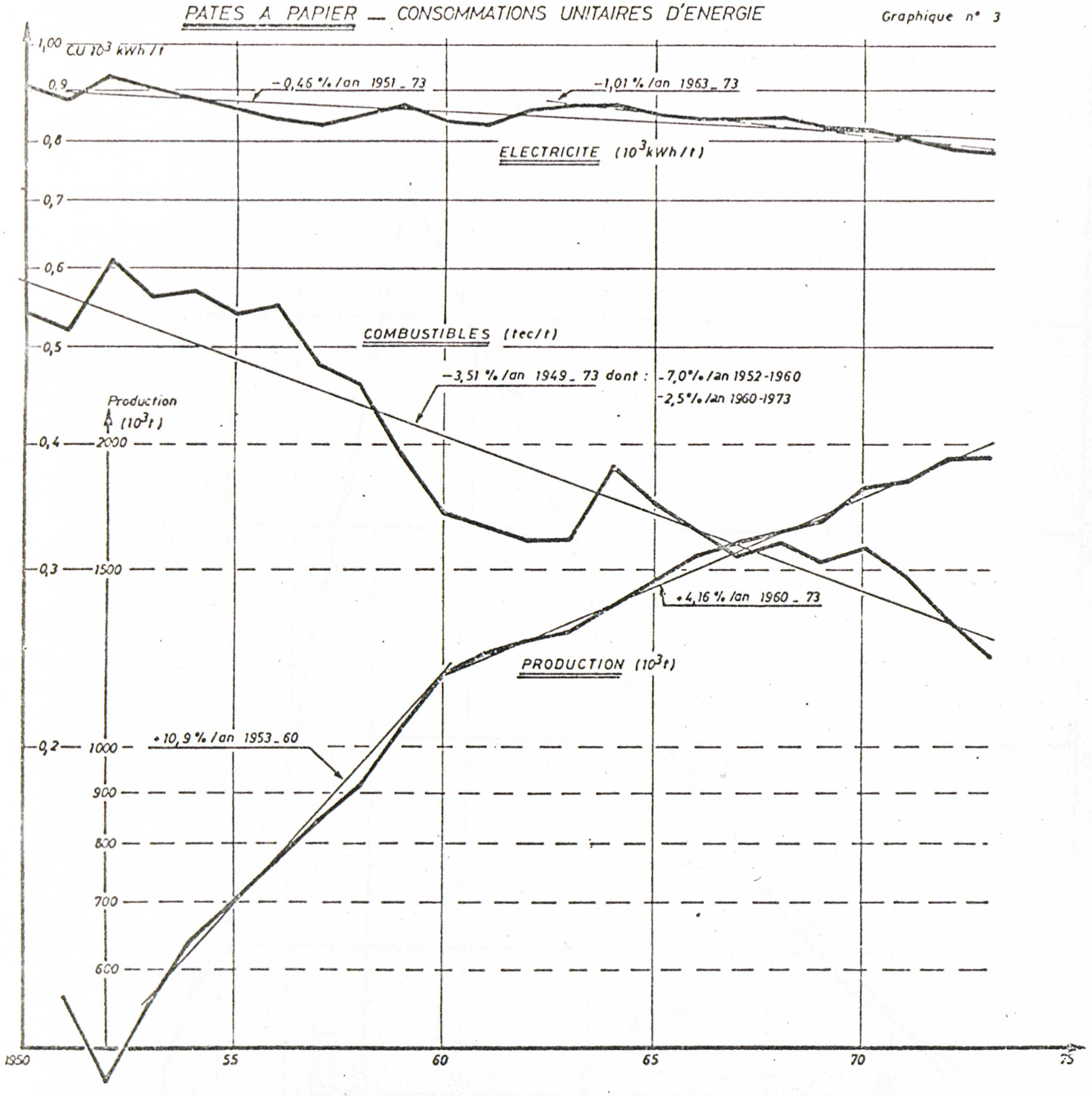
USINES DE PAPIERS ET CARTONS

Année	Combustibles tec/t papiers-cartons	Electricité (tot.) 10^3 kWh/t
1950	0,90	0,68
1951	0,81	0,65
1952	0,78	0,62
1953	0,79	0,69
1954	0,76	0,70
1955	0,74	0,69
1956	0,68	0,68
1957	0,69	0,67
1958	0,64	0,66
1959	0,63	0,69
1960	0,61	0,70
1961	0,59	0,69
1962	0,582	0,701
1963	0,58	0,71
1964	0,573	0,733
1965	0,55	0,74
1966	0,55	0,75
1967	0,527	0,738
1968	0,52	0,76
1969	0,514	0,755
1970	0,51	0,74
1971	0,50	0,75
1972	0,49	0,74
1973	0,479	0,74
1974	0,47	0,735

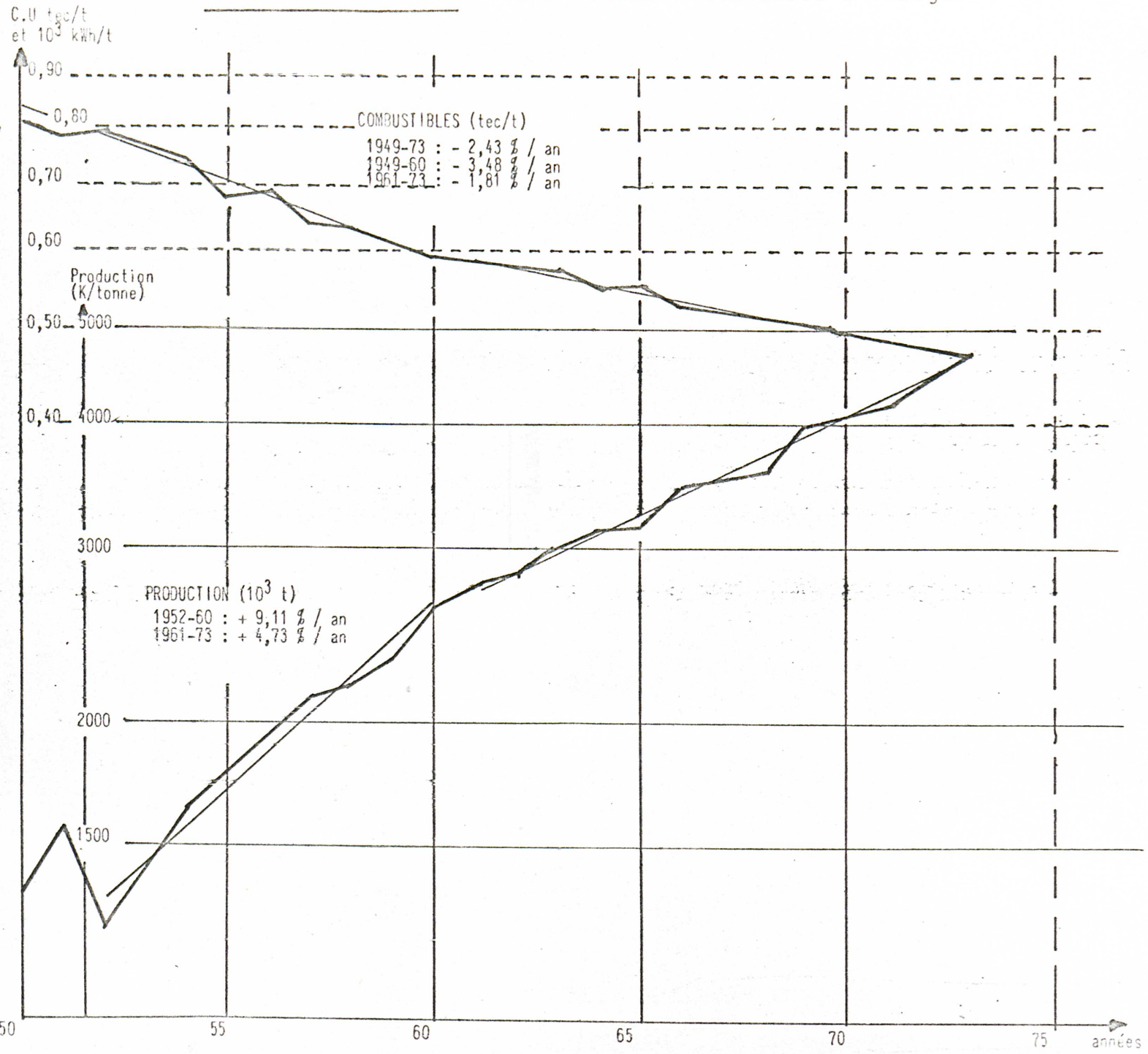
...

PATES A PAPIER — CONSOMMATIONS UNITAIRES D'ENERGIE

Graphique n° 3



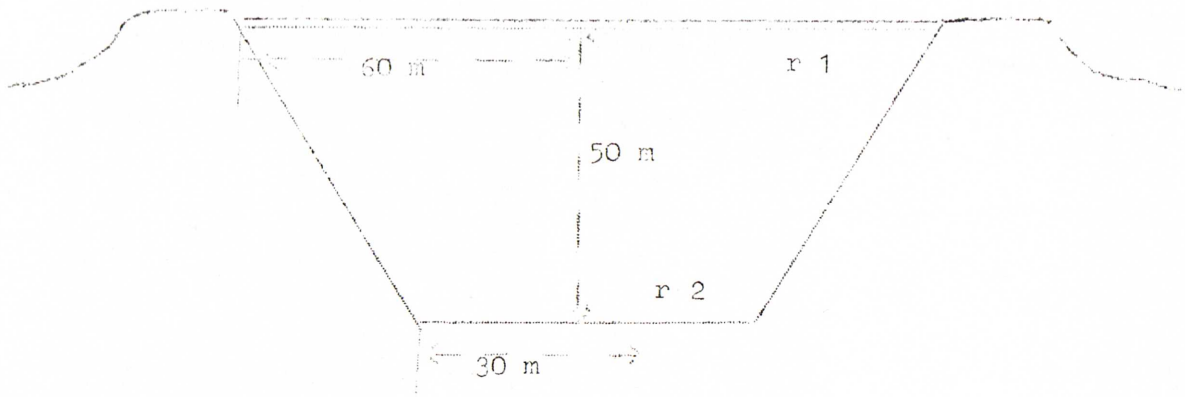
PAPIERS ET CARTONS - Consommations unitaires d'énergie



ANNEXE 2.4.

PERTES THERMIQUES D'UN RESERVOIR LIBRE DE 3.10^5 m3 D'EAU = 3.10^{11} gr

A. Cas d'un réservoir avec des bords inclinés à 60°



Le réservoir est creusé avec des engins roulant sur une rampe hélicoidale.

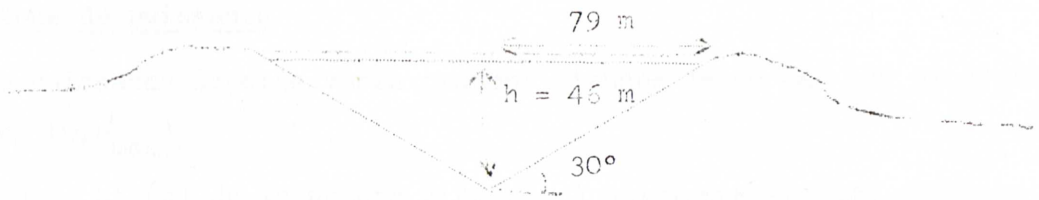
Volume : 3.10^5 m3	21 = 60 m h = 50 m
Surface Base inf. 2 800 m2	22 = 30 m
Surface courbe 16 500 m2	6 mois = 182 j x 24 h = $4,35.10^3$ h
Total surface "terre" = 19 300 m2	surface libre 11 300 m2
Perte/m2h adoptée = 800 cal/m2h	Perte/m^2h adoptée = $15,5.10^3$ cal/m^2h
Perte/réservoir h = $15,2.10^6$/h	Perte réservoir/h = $190,2.10^6$ cal/h
Pertes en 6 mois = $6,6.10^{10}$ cal.	Pertes en 6 mois = $8,25.10^{11}$ cal

Pertes totales en 6 mois : $90,1.10^{10}$ calories = $9,0.10^{11}$ cal

En 6 mois la température du réservoir va baisser de 3° centigrades, puisque pour chaque variation de 3.10^{11} calories (= masse en grammes), la température change de 1° centigrade. Ce niveau de perte est très acceptable car on peut valablement se permettre des pertes trois fois supérieures, voire dix degrés, le stockage se faisant à 70° et l'eau étant livrée aux appartements à 60° en hiver. Le réacteur qui lui fournira l'autre moitié de l'eau chaude nécessaire fournissant toujours l'eau à 70°, ce qui fait une moyenne de 65° pour un total de 50 MW.

...

B. Cas d'un réservoir conique de pente 30°, volume 3.10^5 m3, avec une couverture artificielle en béton-radeau plus siporex et toit



r = 79 m h = 46 m volume = $\frac{\pi}{3}$ h r^2 = 3.10^5 m3

surface côté terre = π 2 $\sqrt{r^2 + h^2}$ = 22 700 m2

surface libre πr^2 = 19 600 m2

perte thermique/h avec Δ T : 60°
$0,8.10^3$ x $22,7.10^3$ = 16,2 x 10^6 cal/h

perte en six mois :
$16,2.10^6$ x $4,35.10^3$ = $7,05.10^{10}$

perte thermique/h avec Δ T : 60°
$15,5.10^3$ x 19 600 = $31,5.10^7$ cal/h

$31,5.10^7$ x $4,35.10^3$ = 137.10^{10}
= $13,7.10^{11}$

Pertes totales en 6 mois $14,4.10^{11}$ calories

Avec 3.10^{11}, le réservoir change de température de 1°, ces pertes amèneraient donc une baisse de température en 6 mois de 4,8°.

d'après TOVY GRJEBINE.

CHAUFFAGE PAR EAU CHAUDE

Arbitrage entre puissance de base, puissance d'appoint et stockage

1) Monotone de puissance

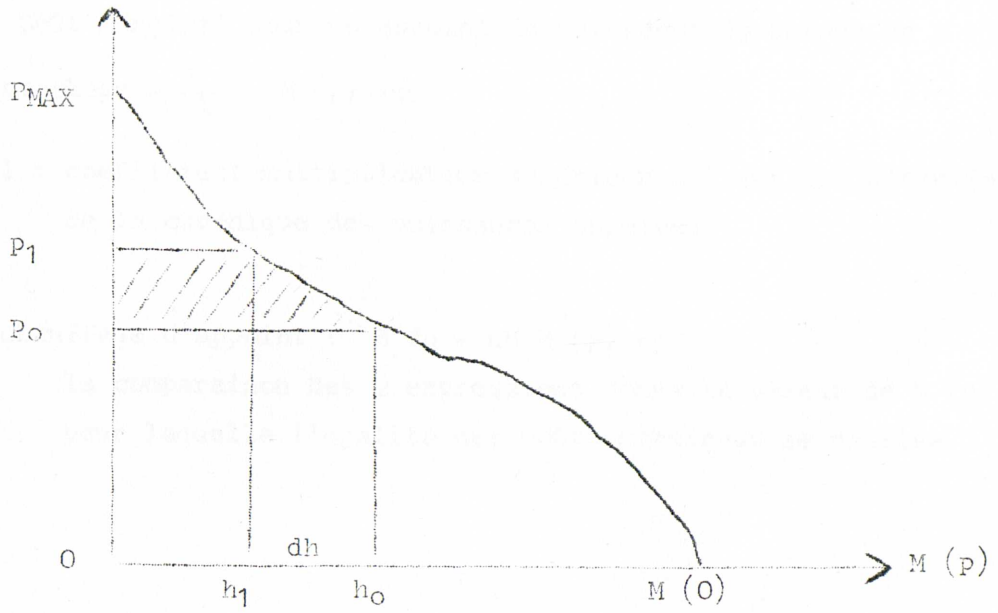
La puissance appelée varie pendant l'année selon une loi de distribution f sur $(0, p_{max})$

soit $dh = h'(p)\,dp$ le nombre d'heures à puissance appelée comprise entre p et p + dp

et $M(p) = \int_{p}^{p_{max}} h'(p)\,dp$

M (p) est le nombre d'heures de dépassement de la puissance p. C'est la monotone de puissance (décroissante)

$\int_{P_o}^{P_1} M(p)\,dp$ est l'énergie consommée par un appareil de puissance $p_1 - P_o$ et qui fournirait le chauffage d'appoint pour $p > p_o$ (aire hachurée) :



...

2) Données du problème

Nous avons à notre disposition :

a) un chauffage de base, à investissement lourd et combustible bon marché de caractéristiques p_A, A, a.

p_A : puissance

A : frais liés à la puissance (investissements ...) en francs par unité de puissance.

a : frais liés à la consommation d'énergie

b) un chauffage d'appoint de caractéristiques p_B, B, b.

c) un stockage d'eau chaude ayant les caractéristiques suivantes :

V = capacité

c = chaleur spécifique

g = coût de construction par unité de volume d'eau stockée.

Le calcul sera basé sur une durée d'exploitation de n années ; on pourrait éventuellement introduire un taux d'actualisation i , ce qui revient à remplacer n par le facteur $\sum_{k=1,n} \frac{1}{(1+i)^k}$

3) Rentabilité d'une installation de stockage vis-à-vis d'un chauffage d'appoint

Coût marginal pour un appoint de puissance dp autour de p :

- stockage $\frac{g}{c\ l}$ M (p) dp

l : coefficient multiplicateur supérieur à 1 qui est déterminé à partir de la chronique des puissances appelées.

- chauffage d'appoint : B dp + nb M (p) dp

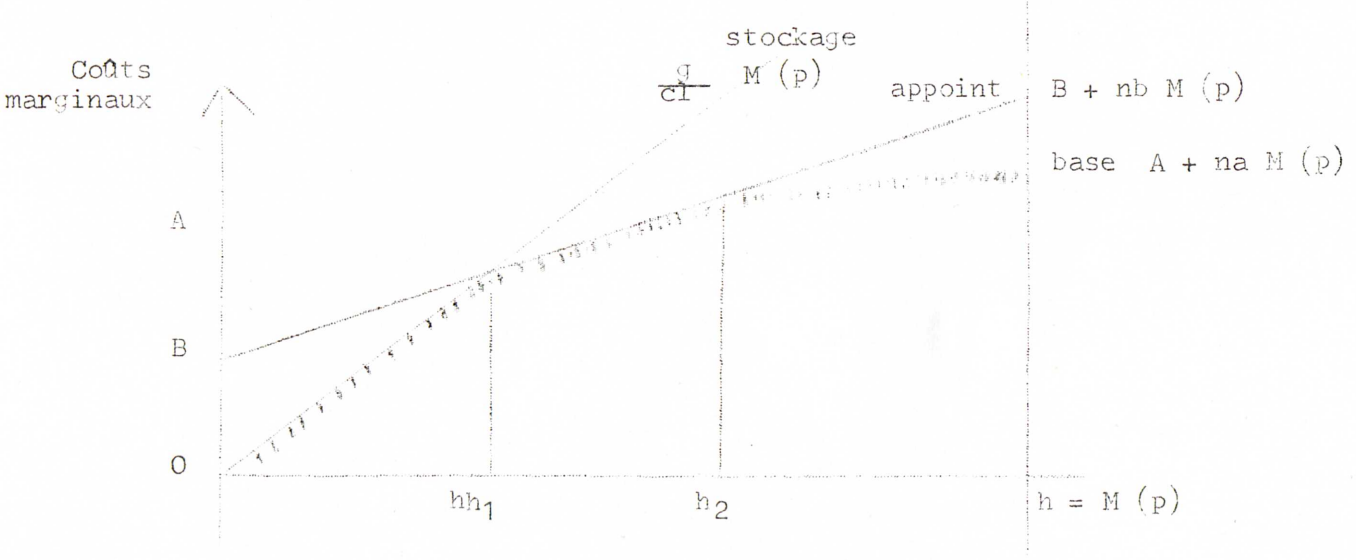
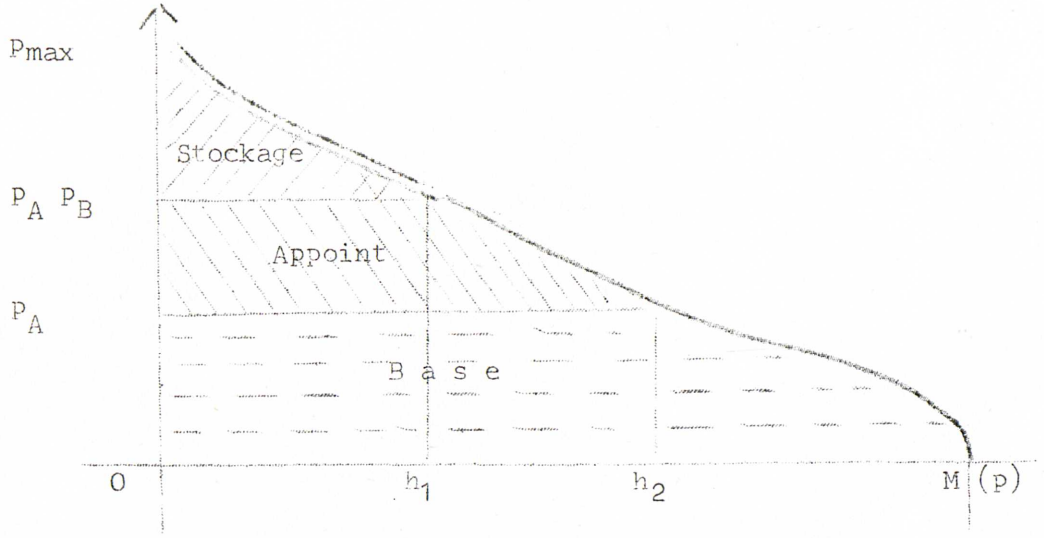
la comparaison des 2 expressions donne la valeur de M (p) (donc de p) pour laquelle l'égalité des coûts marginaux se réalise.

...

4) Rentabilité d'un chauffage d'appoint vis-à-vis du chauffage de base

Par un raisonnement marginal identique au précédent la puissance p à partir de laquelle l'appoint est plus avantageux est donnée par l'équation :

$$A + an\ M(p) = B + bn\ M(p)$$

ou

$$M(p) = \frac{A-B}{n(b-a)} \qquad \text{d'où } p$$