

1015
CEA

Rencontre annuelle de la Société Française des
Thermiciens : aspects thermiques des problèmes éner-
gétiques actuels. Grenoble, 24-26 mai 1976

CEA-CONF--3611

FR 7700 288

LE CHAUFFAGE URBAIN NUCLEAIRE

P. Ricateau

Commissariat à l'Energie Atomique
Direction des Programmes et de la Planification
29-33, rue de la Fédération, 75015 Paris

INTRODUCTION

En fin 1973, devant le renchérissement soudain des produits pétroliers, on s'est livré en France comme ailleurs à une révision secteur par secteur des quantités de combustible primaire consommées, gaz, charbon, fuel ou autres produits pétroliers et l'on s'est demandé dans quelle mesure pouvaient être mis en oeuvre des énergies de substitution, en l'espèce les énergies dites nouvelles et l'énergie nucléaire.

La chaleur consommée dans les habitations apparaît comme un secteur essentiel de la consommation de fossile, qu'y pouvait-on à court et moyen terme ? Chacun connaît les mesures prises à court terme : baisse de température dans les logements, isolation renforcée des nouveaux immeubles. Mais qu'en est-il à plus long terme ?

Pour le chauffage de l'habitation les énergies nouvelles apportent la solution solaire mais elle bute sur le prix encore trop élevé des capteurs qui ne semble acceptable moyennant progrès que pour de longues durées d'utilisation annuelles, c'est-à-dire pour la production d'eau chaude sanitaire plus que pour le chauffage des pièces.

Un deuxième moyen est le chauffage par l'électricité qui avait d'ailleurs pris son élan avant les événements. Puisque l'électricité

va devenir de plus en plus nucléaire le chauffage électrique offre de prime abord une solution efficace. On lui fait cependant souvent deux objections qu'il est difficile à la fois d'adopter complètement et de rejeter complètement. En premier lieu le chauffage électrique créera surtout un appel de puissance d'hiver, sera-t-il raisonnable de suppléer à cette demande saisonnière par des moyens de production nucléaires plutôt que fossiles ? En outre le combustible nucléaire produit d'abord de la chaleur, est-il raisonnable et inévitable de transformer cette chaleur en électricité avec une perte supérieure aux 2/3 pour recréer ensuite de la chaleur dans l'immeuble à une température qui n'a pas besoin d'être élevée pour le confort de l'habitant ?

A la première critique sur le caractère saisonnier de la demande de chauffage peu favorable à une production nucléaire où la part d'investissement est prépondérante, le chauffage urbain direct à partir de la chaleur nucléaire n'apporte pas de solution tant que des moyens de stockage saisonniers de la chaleur n'auront pas été reconnus comme à la fois économiques et praticables. Des recherches dans ce sens se poursuivent activement comme vous le dira une autre communication de ce colloque.

Le chauffage urbain nucléaire direct, à savoir la ponction de chaleur au réacteur lui-même et son transfert à l'habitation par de l'eau chaude, échappe évidemment dès le départ à la deuxième objection. La question est considérée avec attention et sérieux en France et dans les grands pays occidentaux parmi lesquels tout particulièrement les pays nordiques - Suède, Finlande, Danemark - l'Allemagne et la Suisse. Des pays de l'Est comme la Tchécoslovaquie y portent un intérêt au moins égal. Nous sommes moins bien informés sur les intentions et peut-être même les réalisations d'un pays comme l'U. R. S. S.

Une étude de chauffage nucléaire se subdivisera en un certain nombre de chapitres : la production de chaleur, son transport vers la zone à desservir, l'organisation de la distribution jusqu'aux

consommateurs. Ce n'est qu'après un examen complet de ce système que l'intérêt économique peut être correctement apprécié et qu'une décision peut être prise mettant en balance le chauffage nucléaire direct et les moyens plus traditionnels. Nous allons très brièvement exposer les principales solutions qui se dessinent pour la production de chaleur nucléaire en examinant les conditions qui seraient les plus favorables aux unes et aux autres, puis nous essayerons de mesurer le chemin à parcourir jusqu'à leur mise en place.

1. PRODUCTION DE CHALEUR PAR LES CENTRALES DE PUISSANCE

La production de chaleur par les centrales de puissance, P. W. R. en France, B. W. R. dans certains autres pays, semble s'imposer à première vue étant donné le mariage possible entre les besoins considérables des immeubles urbains qui se situent à 80 ou 90° et la chaleur sous-produite en quantité énorme dans les centrales électriques, dont la température est voisine de 30° à l'optimum de production d'électricité, mais qui pourrait être relevée à 80, 100 ou 150° avec un manque à produire croissant mais non prohibitif d'électricité. Il est clair et bien compréhensible que le sacrifice en unités d'électricité pour une ponction d'une unité d'énergie chaleur passe de 0 à 30° à environ 1/3 à la température de 270° correspondant à la ponction en chaudière. Le rapport entre énergie calorifique soutirée et énergie électrique sacrifiée passe donc de l'infini à environ 3. Les étapes intermédiaires apparaissent dans le tableau de la figure 1. Si donc par exemple ce rapport atteint la valeur 5, la chaleur vaudra de ce fait le cinquième du coût de production de l'électricité ou plutôt d'une certaine électricité qui a fait plus nettement défaut à certaines heures de la journée et justement pendant la saison d'hiver. En ce qui concerne les heures journalières de pointe électrique où le prélèvement de chauffage serait particulièrement onéreux, il existe deux moyens d'éviter le conflit électricité-chaleur : soit en

disposant d'une masse de stockage horaire d'eau chaude capable de passer ces courtes pointes, soit en mettant en route à ces moments-là les chaufferies à fuel du réseau de chaleur urbaine qui auront de toute façon été prévues comme moyen de secours. Le conflit subsiste pourtant à l'échelle de la saison avec des poussées parallèles des demandes d'électricité et de chaleur en hiver et ne pourrait être résolu que par la mise en oeuvre de stockages saisonniers tels que le stockage en nappe phréatique mis en avant dans une autre communication de ce colloque.

Au coût de substitution avec l'électricité à traiter comme un coût proportionnel s'ajoute le coût fixe des modifications à prévoir en centrale pour prélever la chaleur. Il faut en effet réaliser des dérivations de vapeur vers des échangeurs à condensation de même nature que ceux du poste d'eau. Dans la pratique deux circonstances peuvent se produire : ou bien le soutirage reste suffisamment peu important pour être un simple piquage sans modification des corps de turbine, ou bien l'importance de la ponction conduit à une modification voire à une réétude complète du groupe. Tout dépend donc de la place du soutirage fonction de la température demandée et de l'importance de ce soutirage. Sont considérés comme relevant du premier cas dans les P. W. R., le prélèvement en chaudière à 270° et 55 bars qui n'affecte le groupe que globalement par baisse du débit vapeur (Figure 2 a) et aussi le soutirage à l'échappement de l'étage haute pression à 186° et 11 bars praticable jusqu'à concurrence d'environ 150 MWth (Figure 2 b). En dehors du prélèvement en chaudière et d'un soutirage modeste à l'échappement du corps haute pression, le groupe doit être modifié car les soutirages intermédiaires qui existent dans les corps de turbine pour l'alimentation du poste d'eau ne permettraient pas de surdébit sans risque d'incidents mécaniques sur l'étage amont.

Une troisième solution consiste à prévoir dans la centrale un groupe turbo-alternateur indépendant destiné spécifiquement à l'alimentation en contrepression du réseau de chauffage (Figure 2 c).

On se trouve en pratique devant deux sortes de situation :

Ou bien la puissance demandée plafonne à 100 ou 200 MWth et il ne semble pas justifié d'après les études étrangères et françaises de rechercher un réchauffage de l'eau du réseau urbain en plusieurs paliers grâce à plusieurs soutirages. Le groupe n'est pas à modifier.

Ou bien la puissance demandée au nucléaire est plus proche de 1000 MWth que de 100 comme c'est le cas dans l'étude suédoise de l'alimentation de Malmö et il y a lieu d'envisager la modification du groupe pour augmenter les puissances soutirables aux étages intermédiaires (Figure 3). Ces modifications entraînent ces frais d'autant plus élevés que l'étude du groupe modifié est amortie sur peu d'exécutions. Il resterait à savoir si un groupe modifié trouverait un véritable marché parmi les nations européennes qui permette à un constructeur d'amortir convenablement ses études.

2. CONCEPTION DE L'ENSEMBLE DU SYSTEME DE CHAUFFAGE URBAIN NUCLEAIRE

Les sites de centrales nucléaires de puissance comporteront plusieurs tranches, souvent 4, de 900 ou 1000 MWe auxquelles seront associées des capacités de réfrigération de l'ordre de 4×2000 MWth. Il ne saurait être question d'écouler une puissance aussi importante sur une agglomération unique dont la consommation de crête correspond à 3 ou 4 kWth par habitant au plus dur d'un hiver dur et à 7 ou 8 fois moins en plein été. L'agglomération parisienne elle-même, avec ses 8,5 millions d'habitants n'appelle guère en été que la moitié de la puissance rejetée par un site de 4 tranches. Dans tous les cas que l'on ait à considérer en pratique le site de la centrale nucléaire de puissance sera choisi en fonction des impératifs du réseau électrique et des facilités de réfrigération, l'argument d'une éventuelle distribution de chaleur urbaine sera le plus souvent de peu de poids. Dans ces conditions la centrale de puissance n'a pas de raison précise

de s'établir à 10 ou 20 km des zones urbaines plutôt qu'à 50 ou 100. Le coût du transport de la chaleur jouera donc le plus souvent un rôle important dans l'économie du système.

Le système comportera donc plusieurs morceaux (Figure 4) :

- la centrale nucléaire à distance de l'agglomération ;
- une ligne dite de transport, alimentée en eau chaude, avec une deuxième canalisation pour le retour d'eau froide ;
- un point de livraison ou point d'éclatement dans l'agglomération ou en périphérie d'où partent les artères maîtresses du réseau de distribution ;
- une chaufferie fossile au point de livraison (ou des chaufferies fossiles aux noeuds du réseau de distribution) pour être capable de suppléer le réacteur en cas par exemple d'indisponibilité de la canalisation de transport.

La modulation annuelle de la demande de l'agglomération peut être synthétisée par une courbe monotone de charge donnant en abscisse le nombre d'heures annuelles où une puissance portée en ordonnée est dépassée. Le fourniture complète de la puissance de pointe par le réacteur coûterait très chère non seulement à cause des dimensions à donner à la canalisation de transport et aux installations de prélèvement en centrale pour une pointe de courte durée mais également à cause du coût élevé de l'électricité retirée au réseau électrique à ce moment de l'année. On arrive donc à partager la production de pointe entre le réacteur et la ou les centrales fossiles de secours (Figure 5) qui jouent par conséquent un rôle d'appoint en plus du rôle de secours signalé plus haut. En règle générale la puissance nucléaire correspond à 40 ou 50 % de la puissance de crête et la quantité de chaleur fournie par le nucléaire à 80 ou 90 % de la consommation annuelle globale. Dans cette situation la production annuelle de chaleur du réacteur équivaut à la marche de celui-ci durant 4 500 à 5 000 heures à pleine puissance.

Le partage des puissances entre nucléaire et fossile est une première optimisation relativement claire et assez bien découplée des autres problèmes posés par le système. Mais il faut également fixer les températures et particulièrement la température de transport aller et retour. La température de retour du transport se trouve reliée à la température de retour du chauffage des immeubles, l'écart entre les deux dépendant de la qualité des échangeurs interposés soit au pied de l'immeuble soit dans des noeuds du système de distribution. Le retour de transport peut varier de 40° avec un habitat particulier chauffé par aérothermes ou par le sol jusqu'à 80 - 90° dans un réseau de chauffage urbain habituel correctement exploité. Il reste à déterminer l'écart ΔT entre température d'aller et de retour du transport. Si cet écart est élevé les échanges côté agglomérations sont facilités, la ligne de transport coûte moins cher puisqu'un même débit d'eau transporte une puissance supérieure mais le sacrifice en électricité du côté de la centrale devient plus important. Il existe donc un optimum économique qui fixe le ΔT de transport compte tenu de la puissance à transporter et de la distance de transport. Il serait trop long d'entrer dans ces calculs d'optimisation. D'après les différentes études qui ont été faites en France et à l'étranger il semble bien apparaître que la limite économique de transport par comparaison avec le même réseau urbain alimenté par des chaufferies au fuel se situe aux environs de 50 km pour une puissance transportée de 1000 MWth. On se référera au tableau de la figure 6 qui résume un certain nombre d'études d'alimentations de villes importantes des pays européens. On constatera que les températures de transport atteignent ou dépassent toujours 160°. Le cas de la ville de Bâle est un peu particulier en ce sens que la distance étant très courte la température aurait été inférieure mais on a dû tenir compte de l'existence dans l'agglomération d'un réseau à température élevée qui a imposé au transport sa propre norme.

La distance limite économique de transport varie à peu près

comme l'exposant 0,4 de la puissance transportée. Il en résulte que si la limite de transport est bien de 50 km pour 1000 MW à 160° on se trouvera également à limite de portée économique pour la même température dans les circonstances suivantes :

<u>Puissance</u> MWth	<u>Distance</u> km	<u>Population à desservir</u> habitants
1000	50	670 000
500	38	330 000
200	26	130 000
100	19	67 000

On a fait figurer dans une troisième colonne le nombre d'habitants de la zone urbaine à desservir à raison du chiffre moyen de 1,5 kWth pour un habitant situé dans cette zone. Cette manière de voir ne constitue bien entendu qu'un repère valable pour une certaine situation de prix du fuel de 1975 puisque la comparaison est faite par rapport à un chauffage urbain alimenté directement par des chaufferies au fuel lourd.

3. CHAUFFAGE URBAIN A PARTIR DE REACTEURS SPECIALISES

Nous avons parlé jusqu'à présent des possibilités d'alimentation urbaine à partir de réacteurs de puissance en notant d'une part que le site de ces réacteurs résulte d'impératifs étrangers à la desserte en chaleur des agglomérations et d'autre part que la distance limite économique entre réacteur et agglomération est plus courte que l'on avait pu l'imaginer tout au début des investigations. La Suède par exemple dont la ville de Göteborg est d'ores et déjà équipée en chauffage urbain au niveau de 1000 MWth en pointe dont à peu près 500 MWth reviendraient au nucléaire et qui dispose, à 60 km à vol d'oiseau, du site nucléaire ouvert de Ringhals s'interroge sur l'intérêt de l'opération de raccordement et n'entreprend pas d'étude approfondie comme elle le fait entre Malmö et Barseback distants de 26 km.

On peut en conclure que les réacteurs de puissance ne conviennent qu'exceptionnellement et un peu par hasard à ce genre de service. On peut se demander si d'autres types de réacteurs ne pourraient pas mieux s'accorder au chauffage. Il semble bien y avoir deux voies dans cette direction.

Une première voie consisterait à concevoir un réacteur suivant le même principe mais à ne lui demander que de la chaleur en quantité voulue et au moment voulu. Le réacteur qui écoule toute sa chaleur chez le client n'a plus besoin de source de réfrigération et cette contrainte de site disparaît. Mais sa puissance devrait alors épouser ce qu'il est possible de trouver un jour ou l'autre dans des agglomérations de nos pays. On aboutit à un réacteur de même principe, de moindre taille donc désavantagé en ce qui concerne le prix de l'énergie, mais purement calogène et n'amenant aucun rejet thermique nécessitant la proximité d'un fleuve et certaines précautions écologiques.

A trop baisser la puissance de ce réacteur la déséconomie due à la réduction de taille ferait disparaître sa compétitivité vis-à-vis du fuel, mais à la baisser trop peu il deviendrait de plus en plus difficile de trouver en France ou ailleurs en Europe une demande de chaleur suffisante. Le compromis semble se situer vers 1000 MWth et à cette fin le C. E. A. met au point à l'heure actuelle un réacteur pressurisé à eau légère de 1100 MWth dénommé CAS 2 B, utilisable non seulement pour la production de chaleur urbaine mais également pour la fourniture de vapeur jusqu'à environ 250° à l'industrie. La Finlande de son côté étudie, assez sommairement pour le moment, un réacteur également à eau légère de 100 à 200 MWth dont la taille nous semble réellement trop basse pour espérer une production de chaleur à des coûts compétitifs avec le fuel.

Mais une autre voie peut être suivie qui consiste en un mariage encore plus étroit entre les besoins de la chaleur urbaine

et les spécifications du réacteur. En effet la température de 160° ne se justifie que pour alléger le coût du transport à des distances de dizaines de kilomètres. Les besoins urbains en fait ne l'exigent nullement et il existe des réseaux en France à la température de 110° alimentant directement les immeubles sans échangeurs par un système de régulation à vannes de mélange. Pour de tels réseaux, que rien n'empêche de multiplier, la température nécessaire en été et en demi-saison n'excède pas 100° et il serait possible l'hiver de fournir une base de chaleur à 100° quitte à effectuer un réchauffement par fuel les jours les plus froids. Dans ces conditions rien n'interdit de concevoir des réacteurs à très basse température qui n'auraient pas besoin d'être pressurisés.

On arrive ainsi au concept de réacteur piscine dont il existe d'ailleurs pour des besoins de recherche de nombreux exemples dans les centres de recherche nucléaire. Dans ce réacteur le coeur se trouve noyé sous une couche d'eau à surface libre d'environ 10 mètres d'épaisseur (Figure 7) telle que la chaleur émise ne peut en aucun cas faire dépasser la température d'ébullition, il n'y a pas de réservoir sous pression. Le principe convient à des réacteurs de petite taille, 100 MWth environ, correspondant à la desserte d'une zone d'environ 70 000 habitants qui devrait être située à moins d'une dizaine de kilomètres. Leur étude se poursuit à l'heure actuelle au C. E. A. La Suède s'y est également intéressée. L'extrême simplicité de ces réacteurs et, comme corollaire, leur fiabilité et leur facilité d'exploitation exceptionnelles méritent d'être soulignées.

4. CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT DU CHAUFFAGE URBAIN NUCLEAIRE

Pour que des opérations de raccordement de chauffage urbain à des réacteurs nucléaires se dessinent il faut réunir plusieurs conditions : qu'à une date plus ou moins lointaine la puissance de chauffage urbain réunie dans l'agglomération soit suffisamment

élevée, qu'un site nucléaire de puissance ou qu'un site de réacteur calogène puisse être ouvert à une distance dépendant de la puissance réunie. Afin d'approcher la réalité française on peut se poser deux problèmes successifs : quelles seraient premièrement les puissances réunissables en principe pour le chauffage urbain nucléaire dans les agglomérations françaises admettant par la pensée qu'en 1985 tous les immeubles pourvus de chauffage central pouvaient être raccordés ; à quelle distance ensuite le chauffage urbain se trouve-t-il aujourd'hui de cette étape ultime et quelque peu idéale ?

En ce qui concerne le premier point, il est possible de faire une projection assez complète des besoins tenant compte des évolutions du peuplement urbain, des nouvelles conditions d'isolation thermique des logements neufs, de l'existence dans le tissu urbain d'une certaine proportion de tertiaire avec des normes particulières de consommation, enfin des circonstances climatiques. Lorsqu'on prend en compte tous ces facteurs dans une étude qui établit au passage les valeurs des puissances moyennes par habitant qui reviendraient au nucléaire en cas de raccordement (tableau de la figure 8), on arrive à un histogramme des principales agglomérations françaises donné en figure 9. Les puissances y sont données en kth/h, on rappellera que 1 MWth équivaut à 0,86 kth/h.

On est particulièrement frappé dans ce tableau de l'importance de la Région Parisienne sur les 40 premières agglomérations représentant les demandes potentielles les plus fortes. Elle reflète évidemment la structure de la démographie française. Une deuxième remarque concerne la puissance importante réunissable dans l'ensemble des agglomérations : 200 à 600 kth/h. Si pour ces dernières on admettait une pénétration du chauffage urbain couvrant seulement 40 % du total, ces agglomérations admettraient 100 à 300 MWth nucléaires, valeurs compatibles soit avec une centrale de puissance sans modification de turbine et à une distance de

15 à 30 km au maximum, soit avec un réacteur piscine à quelques kilomètres.

Le deuxième point à examiner concerne le fossé qui sépare l'état actuel du chauffage urbain français de l'état de couverture complète qui vient d'être présenté. Les réseaux français de chauffage urbain ont été recensés en 1975 et totalisés à l'intérieur de chaque agglomération. Le figure 10 illustre en ordonnée les puissances qui reviendraient à un réacteur nucléaire si tous ces chauffages urbains existant dans l'agglomération lui étaient raccordés et en abscisse le taux de pénétration que représentent ces chauffages dans l'agglomération. Les taux de pénétration ne dépassent pratiquement pas 30 % et sur la quarantaine d'agglomérations recensées 14 n'ont pas du tout de réseau ; toutes ne sont pas des villes méridionales comme on peut le voir dans le tableau de la figure 11 dont le graphe précédent est une traduction.

Du point de vue des niveaux absolus de puissance, Paris intramuros atteint 1000 MWth avec un réseau unique qui a d'ailleurs la particularité d'être un réseau de vapeur à 235°. En périphérie de Paris existe également une puissance de cet ordre en réseaux d'eau chaude à 180/90° et quelquefois 110/70° mais beaucoup plus épars et non réunissables en pratique ; en cas d'alimentation nucléaire du réseau de Paris il est fort probable que les canalisations radiales d'amenée irrigueraient les secteurs traversés de la périphérie.

Au-dessous du niveau de Paris la puissance tombe brutalement à 100 MWth dans les agglomérations régionales avec des réseaux d'eau chaude le plus souvent à 180/90°. Quelques agglomérations atteignent ce seuil de 100 MWth et quelques autres s'en approchent mais il s'agit parfois d'agglomérations très importantes ainsi qu'on le constate au taux de pénétration extrêmement bas.

CONCLUSIONS

Depuis les événements pétroliers un effort d'investigation se poursuit en France et dans différents pays d'Europe comme la Suède,

la Finlande, l'Allemagne Fédérale, la Suisse et la Tchécoslovaquie pour apprécier l'intérêt d'un développement des chauffages urbains en vue de leur raccordement à des sources nucléaires. Du point de vue strict des économies d'énergie primaire, toutes sources confondues, il est bien certain qu'une récupération, nécessairement partielle, de la chaleur rejetée par les centrales électrogènes de puissance aurait le plus grand intérêt. Cependant les quelques études faites, à l'étranger comme en France, avec suffisamment de profondeur montrent les conséquences du coût élevé des techniques actuelles de transport d'eau chaude. La distance limite de compétitivité entre site et agglomération est évidemment fonction de la puissance réunissable mais ne dépassera pas pratiquement la cinquantaine de kilomètres pour les agglomérations les plus importantes et les mieux équipées si toutefois le prix du fuel reste stationnaire.

Toutes les investigations concernant des transports importants de chaleur entre un site et l'agglomération vont vers le choix d'une température de transport élevée dès que la distance atteint une vingtaine de kilomètres. Le bénéfice réalisé aux basses températures au niveau de la production, tempéré d'ailleurs par des frais fixes indépendants de la température de soutirage, ne suffit pas à compenser les frais élevés de transport quand l'écart de température entre aller et retour devient de plus en plus bas. Pour maintenir cet écart à un niveau suffisant on est amené à soutirer vers 160° au moins en centrale et à abaisser autant que se peut la température de retour par un choix judicieux des normes du réseau de l'agglomération. Dans les cas finalement peu nombreux où la distance site-agglomération justifie l'adduction nucléaire, l'économie d'énergie, sans être aussi totale qu'une simple récupération de rejet, n'en est pas moins très substantielle.

Si l'on change de point de vue en passant d'une optique d'économie stricte d'énergie primaire à celui d'une économie d'énergie fossile en même temps que d'une économie monétaire

(point de vue qui a motivé le passage au nucléaire pour les centrales électriques) il s'ouvre de nouvelles possibilités avec des réacteurs purement calo-gènes non soumis aux contraintes de réfrigération des sites. Deux voies sont à considérer, soit le réacteur pressurisé de la gamme des 1000 MWth pour les agglomérations les plus importantes ou lorsqu'une conjugaison est possible avec une fourniture de vapeur industrielle, soit le réacteur piscine de la centaine de mégawatts adapté vu sa petite taille à un plus grand nombre de situations et par ailleurs remarquable par la simplicité de sa conception.

Au niveau des moyens non nucléaires dont la mise au point pourrait modifier les données économiques, il faut citer d'une part l'effort de recherche entrepris notamment en Suède et en France sur des techniques de canalisation qui permettraient de faire baisser les coûts de transport et autoriseraient des températures plus basses allant de 100 à 120°. Encore faut-il pour en bénéficier éventuellement que les réseaux urbains qui s'édifieront d'ici là soient à température compatible. L'autre effort de recherche de première importance concerne le stockage saisonnier de la chaleur. Il en est question dans une autre partie de cette réunion.

FIGURE 1

Energie récupérée en chaleur dans une tranche nucléaire
en contrepartie du sacrifice d'une unité d'énergie électrique

T' départ	100°	120°	140°	160°	180°	
Pour <u>un</u> soutirage	6,56	5,52	4,82	4,33	3,96	
Pour <u>une infinité</u> de soutirages et T' retour égale à	(40°	9,82	8,46	7,49	6,77	6,21
	(60°	8,33	7,37	6,65	6,09	5,65
	(80°		6,58	6,02	5,58	5,21
	(100°			5,53	5,17	4,86
	(120°				4,84	4,56
	(140°					4,34
	(

FIGURE 2 a

Prélèvement à la sortie du générateur de vapeur

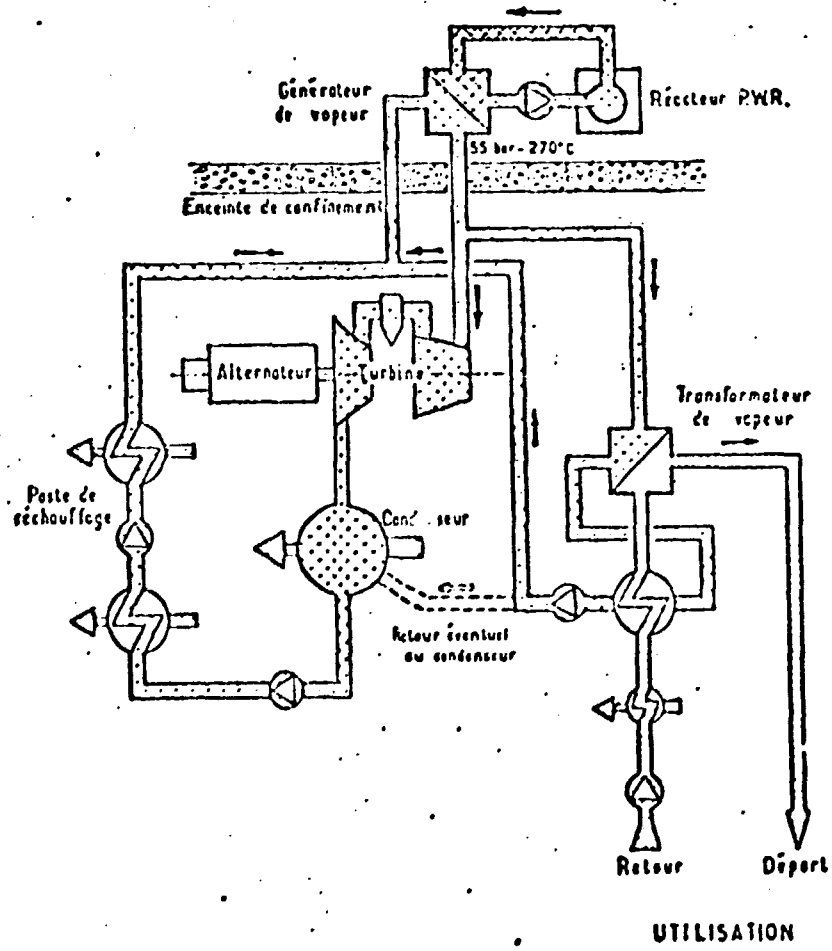


FIGURE 2 b

Prélèvement sur l'échappement du corps H. P.

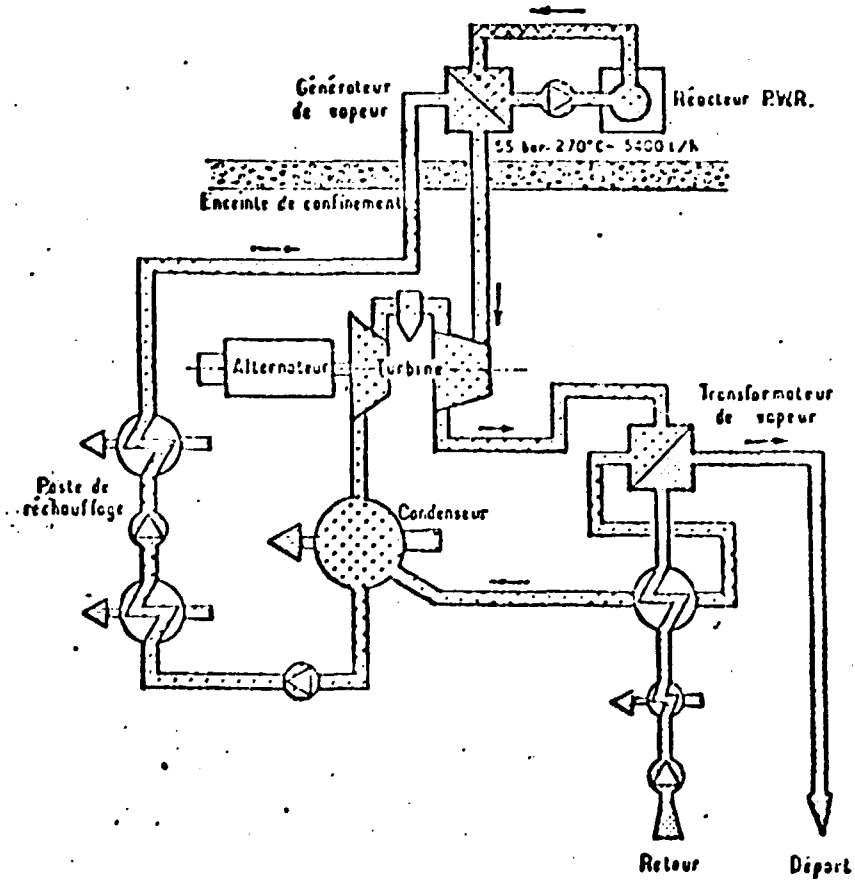


FIGURE 2c

Turbine à contrepression

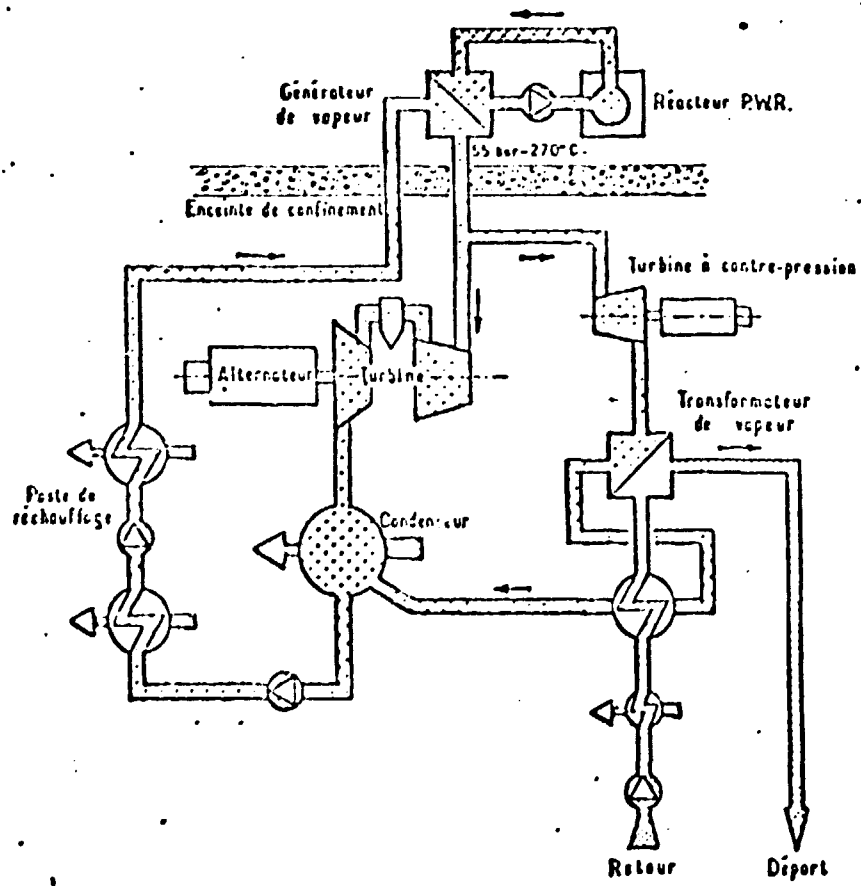


FIGURE 3

Projet d'aménagement de la tranche de la centrale de Barseback
en vue de l'alimentation de la ville suédoise de Malmö

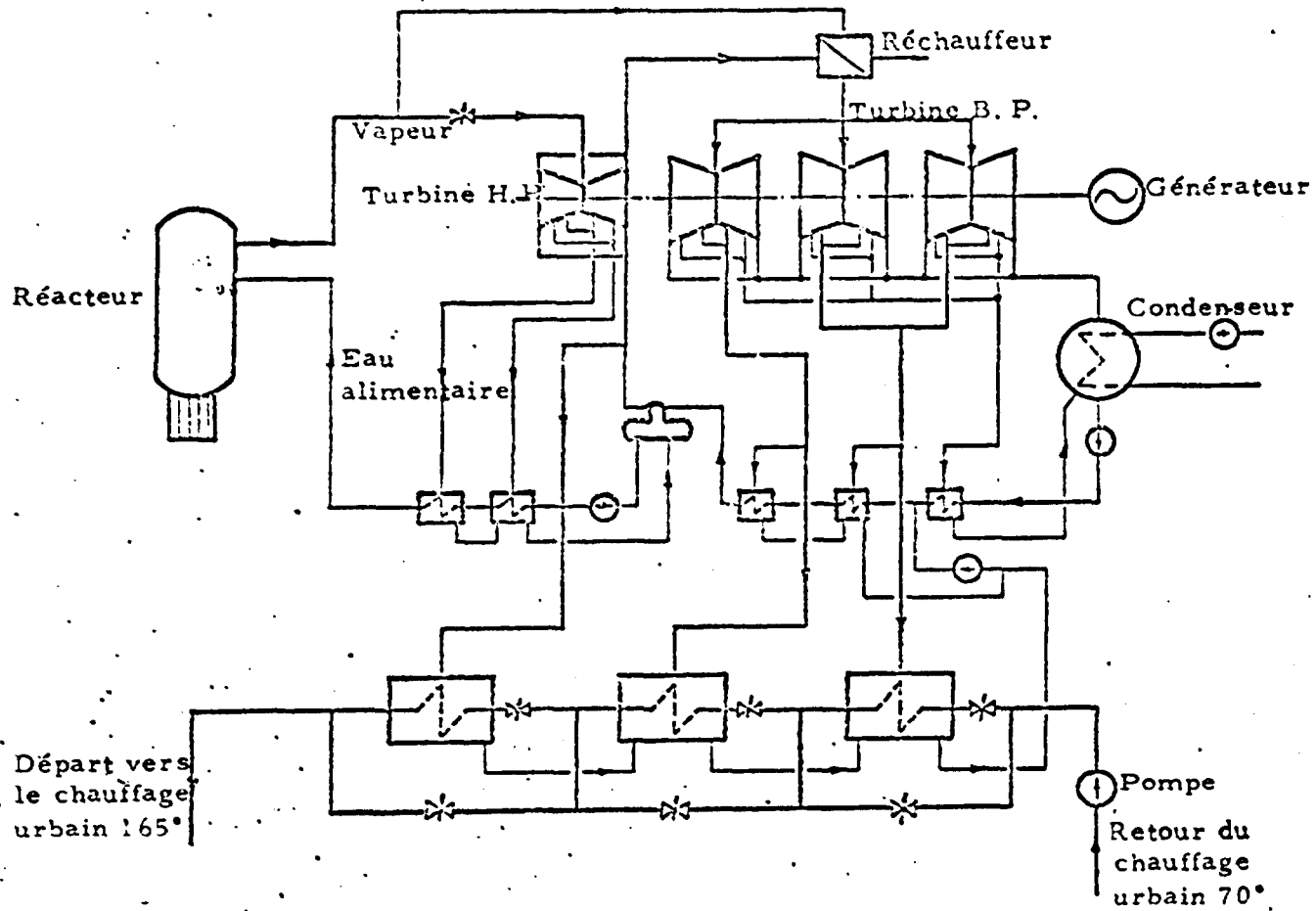


FIGURE 4

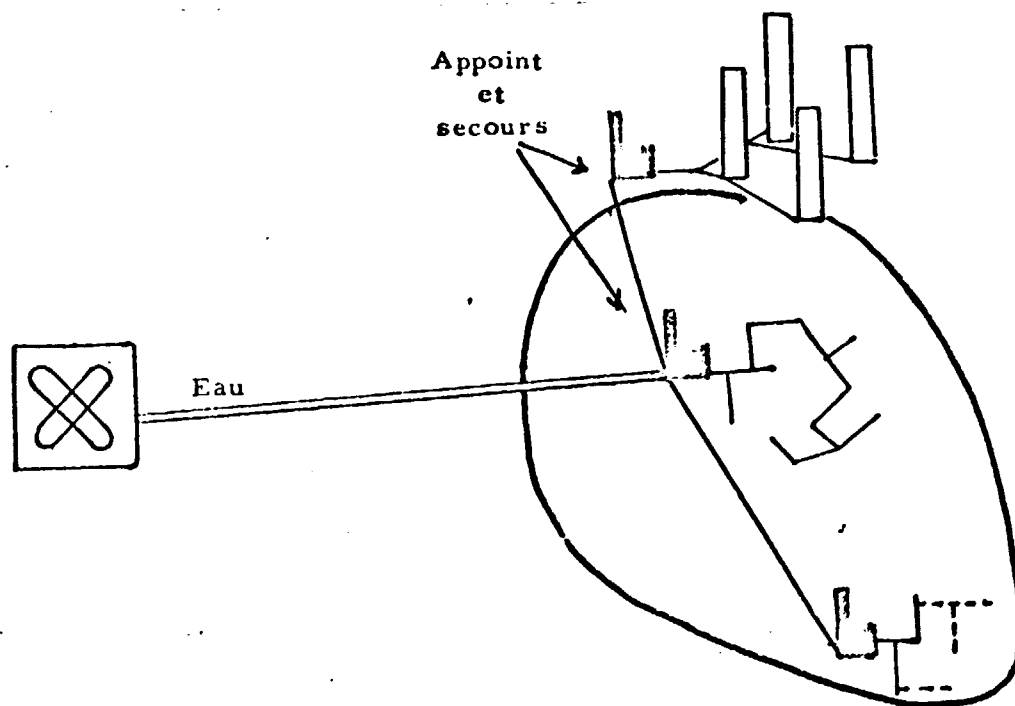


FIGURE 5

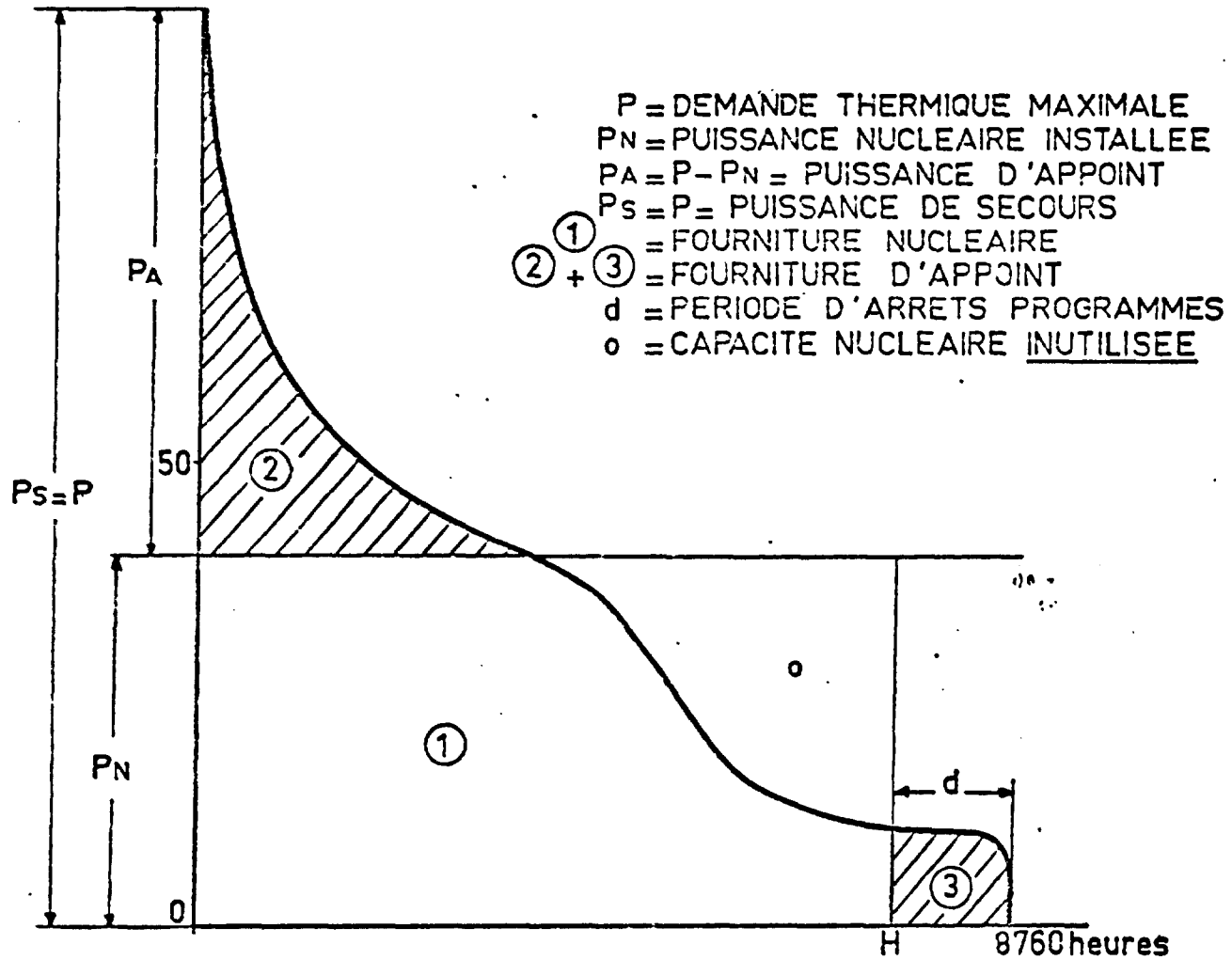


FIGURE 6

Comité Technique A. I. E. A. - VIENNE - 15 ou 19 mars 1976

Comparaison de projets de production combinée à partir des centrales de puissance

Pays	Suède	Danemark	Finlande	Suisse	R. F. A.
Centrale :					
Nom du site	Barseback	Gyllingnaess (non décidé)		Kaiseraugst	Gundrimmingen
Réacteur	L. W. R. 900	L. W. R. 900		B. W. R. 925	B. W. R. 1310
Tranche en service en :	83 (non décidé)	82 - 83	84 - 86		80 et 81
Mode prélèvement	soutirages multiples	en chaudière		soutirages multiples	en soutirage
Puissance prélevée MWth	950	1000	1000 + 500 (2 unités)	462	150
Transport :					
Localités desservies	Malmö-Lund	Aarhus	Helsinki	Bâle et voisinage	8 bourgs (55 000 habitants)
Distance (km)	26	35 - 50	50	5, 9 et 14	15
Longueur canalisations (km)	31				45 à 50
Température	165/70°	200/70°	160°	160° (réseau 160° existant)	170/70°
Système	Acier en surface (autoroute)	Acier en surface	Caniveau ou tunnel		Acier en caniveau
Economie relative par rapport au fuel	Environ 15 %	10 %	nulle	30 %	Perte de 10 à 20 % (s)

(s) Sans tenir compte des investissements pour prélèvement en centrale

FIGURE 7

Configuration du réacteur calogène piscine (Technicatome)

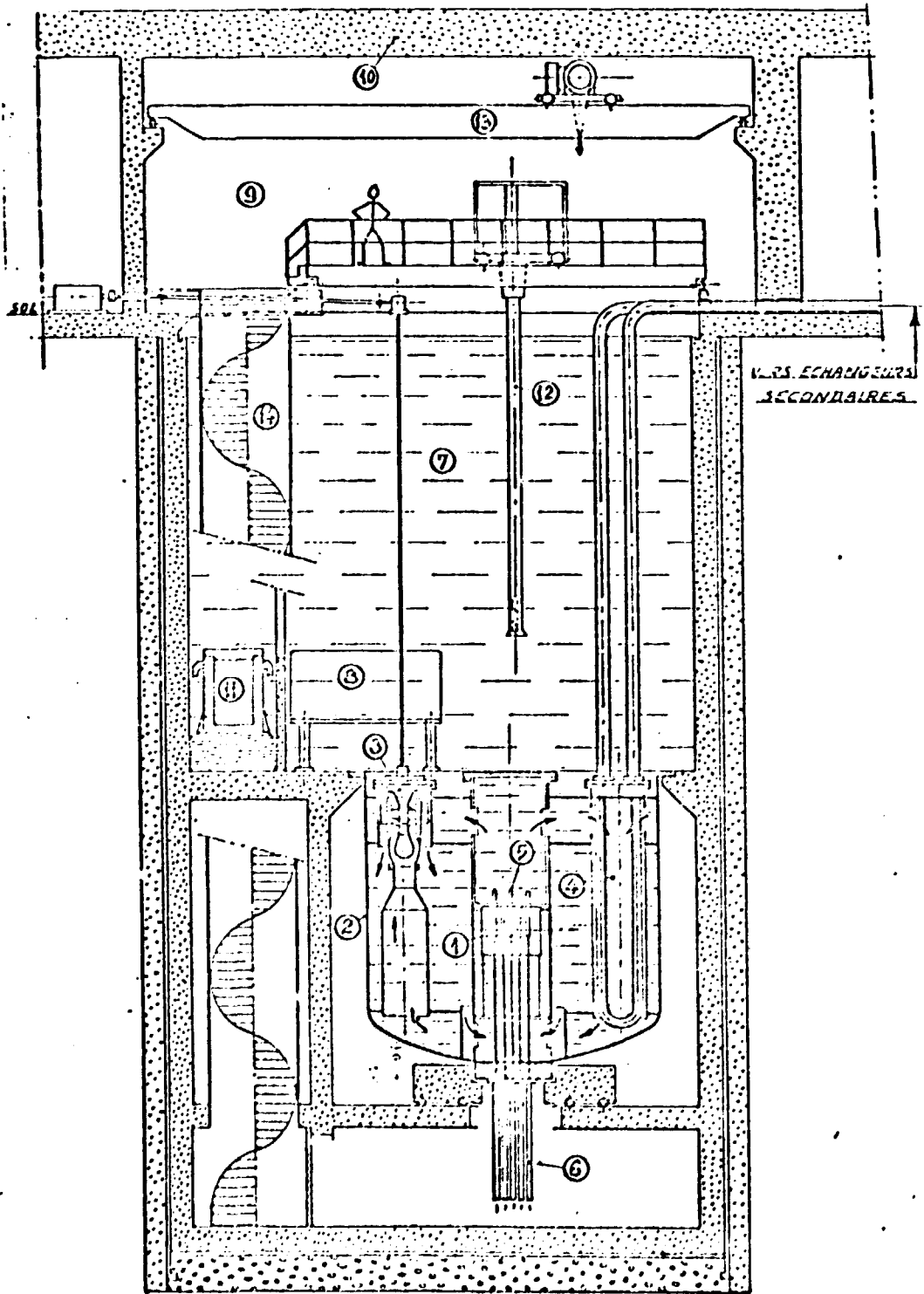


FIGURE 8

PUISSANCE PAR HABITANT RACCORDABLE AU NUCLEAIRE

(en thermie par heure par habitant)

	31-12-74	31-12-75	31-12-80	31-12-85	31-12-90
Région Parisienne	1,14	1,14	1,21	1,27	1,31
Alpes	1,08	1,11	1,22	1,30	1,38
Alsace	1,13	1,16	1,29	1,37	1,43
Aquitaine - Poitou - Charentes	0,83	0,86	0,95	1,03	1,07
Auvergne - Limousin	1	1,04	1,15	1,22	1,29
Bourgogne - Franche-Comté	1,06	1,09	1,20	1,30	1,34
Bretagne	0,95	0,97	1,07	1,15	1,20
Champagne	1,10	1,11	1,24	1,31	1,38
Côte d'Azur	0,61	0,65	0,71	0,77	0,80
Midi-Pyrénées	0,85	0,86	0,97	1,03	1,09
Loire-Centre	0,90	0,93	1,04	1,10	1,16
Lorraine	1,15	1,18	1,31	1,40	1,47
Nord - Picardie	1,12	1,15	1,27	1,35	1,42
Normandie	1,06	1,09	1,20	1,30	1,34
Provence-Languedoc	0,74	0,75	0,84	0,90	0,95
Rhône	0,97	1	1,11	1,19	1,25

FIGURE 9

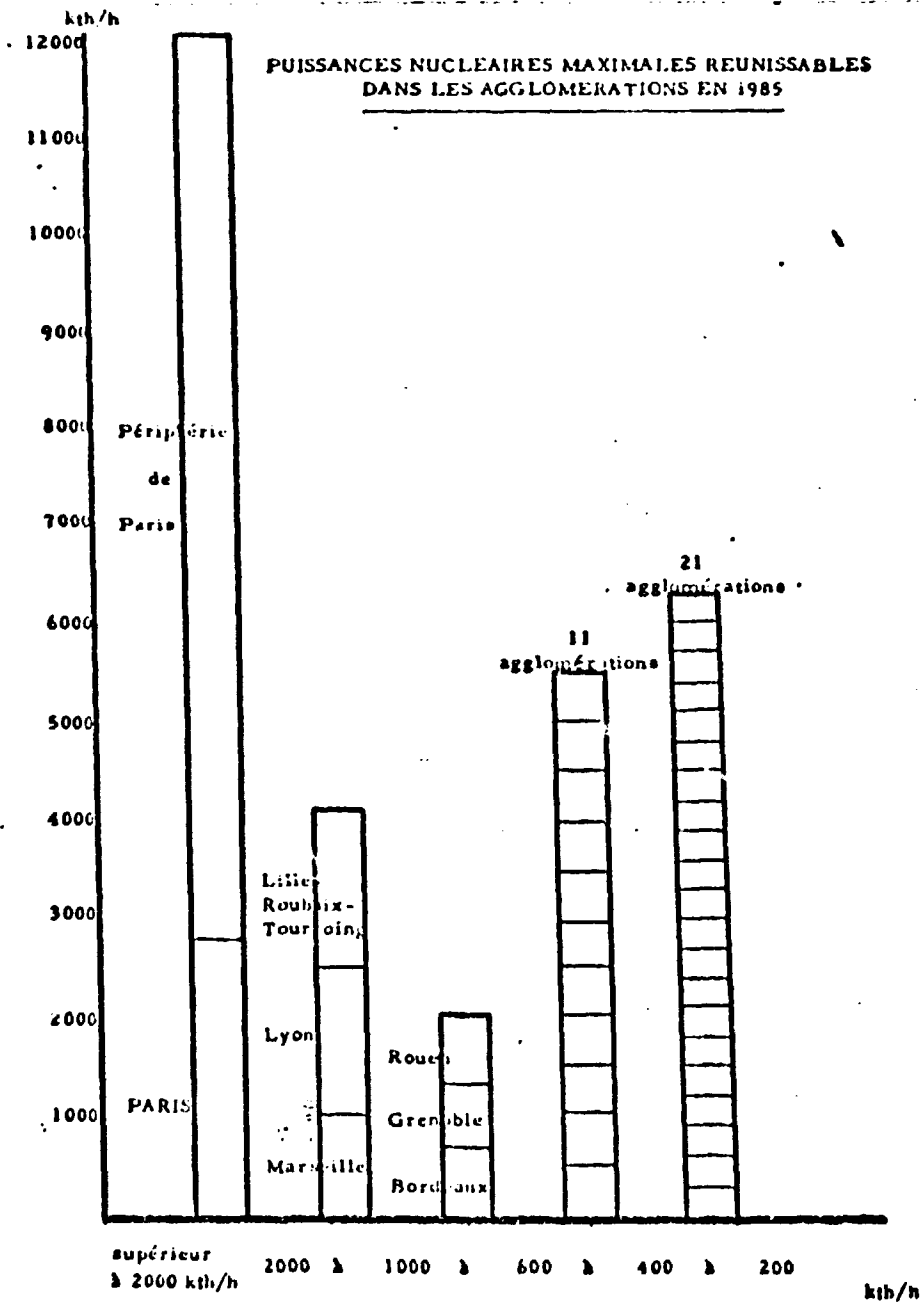


FIGURE 10

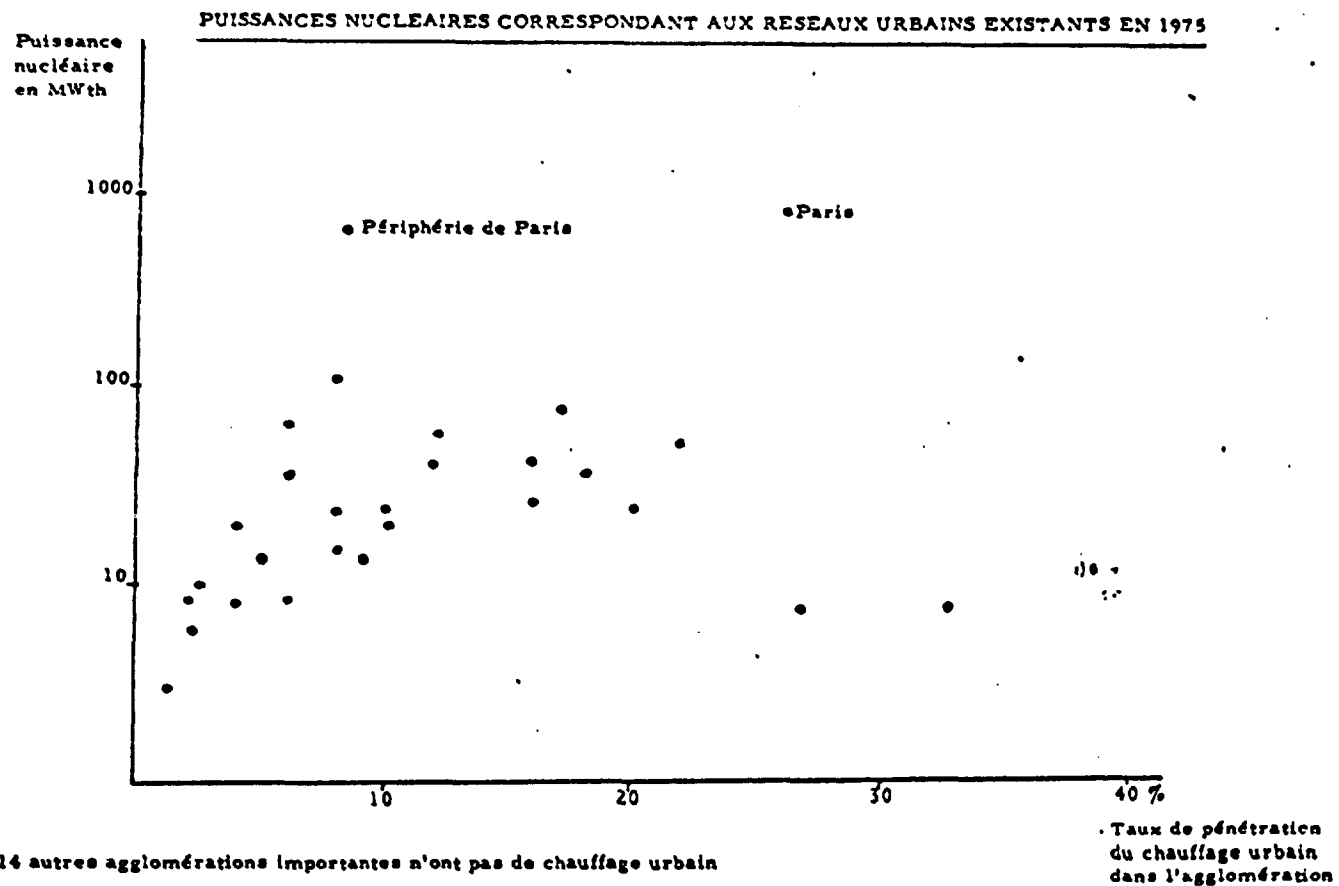


FIGURE 11
PUISSANCE RACCORDABLE AU NUCLEAIRE DES RESEAUX URBAINS EXISTANTS ET PROJETES (1)
TAUX DE PENETRATION CORRESPONDANTS (2)

Agglomération	31-12-1974		31-12-1980		Agglomération	31-12-1974		31-12-1980	
	(1) kth/h	(2) %	(1) kth/h	(2) %		(1) kth/h	(2) %	(1) kth/h	(2) %
Paris	720	26	1 000	36	Marseille	0	0	0	0
Couronne de Paris	570	8	1 140	14	Metz	57	27	80	31
Amiens	7	4	16	8	Montbéliard	12	9	21	13
Angers	13	8	25	11	Montpellier	0	0	0	0
Avignon	0	0	0	0	Mulhouse	11	5	14	5
Bayonne	0	0	0	0	Nancy	38	12	47	12
Besançon	23	16	55	29	Nantes	18	4	33	6
Bethune-Bruay	8	2	8	2	Nice	3	1	7	2
Bordeaux	30	6	39	6	Nîmes	21	20	42	33
Brest	0	0	0	0	Orléans	17	33	82	36
Caen	18	10	29	12	Pau	0	0	0	0
Clermont-Ferrand	5	2	5	2	Perpignan	0	0	0	0
Dijon	37	16	52	18	Reims	22	10	70	24
Dunkerque	0	0	0	0	Rennes	47	22	77	28
Douai	21	8	-	-	Rouen	53	12	56	10
Grasse-Cannes-Antibes	0	0	10	5	Saint-Etienne	3	1	14	3
Grenoble	52	12	134	25	Saint-Nazaire	0	0	0	0
Le Havre	5	2	22	6	Strasbourg	71	17	86	17
Le Mans	30	18	30	14	Thionville-Hagondange	0	0	0	0
Lens	7	2	18	4	Briey	0	0	0	0
Lille - Roubaix - Tourcoing	62	6	84	7	Toulon	0	0	0	0
Limoges	0	0	35	17	Toulouse	18	4	30	6
Lyon	87	8	108	8	Tours	21	10	28	10
					Troyes	8	6	25	14
					Valenciennes - Denain	0	0	0	0