

Le chauffage urbain nucléaire dans les pays du CAEM

Plusieurs solutions ont été mises au point pour exploiter les centrales nucléaires comme sources de chaleur

par V.L. Losev, M.V. Sigal, et G.E. Soldatov

L'énergie nucléaire, depuis qu'on l'exploite, sert surtout à produire de l'électricité. En Union soviétique comme ailleurs, l'industrie nucléaire a commencé par suivre la voie de la production d'électricité, en cherchant d'abord à accroître sa capacité. Actuellement, la puissance installée des 45 centrales nucléaires d'Union soviétique est d'environ 35 gigawatts électriques (GWe). La production est assurée pour l'essentiel par des réacteurs construits en série, à cuve pressurisée, modérés et refroidis à l'eau (VVER) d'une puissance électrique de 440 ou de 1000 mégawatts, ou par des réacteurs à canaux modérés au graphite et refroidis à l'eau, du type RBMK, eux aussi produits en série, d'une puissance électrique de 1000 ou 1500 mégawatts. Les centrales VVER mises au point par les spécialistes soviétiques équipent aussi les pays membres du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM).

Dès les premiers stades de développement du nucléaire en URSS, il est apparu que la seule production d'électricité ne permettrait pas de résoudre de manière satisfaisante le problème fondamental auquel était confronté le secteur industriel tout entier, à savoir l'insuffisance des ressources du pays en combustibles organiques. La seule manière de remédier à la situation énergétique soviétique consiste à étendre l'utilisation de l'énergie nucléaire au secteur gros consommateur de combustibles que représente la production de chaleur pour le chauffage urbain et les usages industriels (l'ensemble de ce secteur consomme une fois et demie plus de combustible que les centrales électriques). Dans les pays du CAEM, dont les ressources en combustibles fossiles sont relativement moindres que celles de l'URSS, le problème est encore plus aigu.

Le plan visant à développer le chauffage urbain nucléaire qu'ont élaboré les spécialistes soviétiques pour répondre aux besoins nationaux en combustible et en énergie intègre quatre solutions différentes:

- extraction de vapeur sans régulation en sortie de turbine dans les centrales à condensation;
- construction de centrales nucléaires mixtes équipées de turbines à forte contre-pression (TK) pour le chauffage

urbain, et à condensation, avec soutirage de vapeur régulé;

- construction de centrales nucléaires spécialisées dans la production d'énergie thermique pour le chauffage public et domestique (DHAPP);
- construction de centrales nucléaires spécialisées dans la production de chaleur industrielle qui, de par leurs caractéristiques techniques nouvelles, pourraient être implantées à proximité immédiate du lieu de consommation et produiraient de la chaleur et de l'électricité, ou de la chaleur exclusivement.

Actuellement, ce sont les trois premières solutions qui sont les plus avancées techniquement. Le soutirage sans régulation de la vapeur des turbines des centrales nucléo-électriques classiques — en service ou en construction — occupe une place privilégiée. En pratique, c'est le seul mode de chauffage nucléaire effectivement utilisé jusqu'ici. L'expérience remonte à plus de 20 ans, avec l'installation d'un système permettant de distribuer, à partir de la centrale de Beloyarsk, de la chaleur et de l'eau chaude dans les bâtiments et les installations du site lui-même, et dans les zones résidentielles adjacentes. Par la suite, ce système a été installé dans d'autres centrales. La production totale de chaleur des centrales déjà en service est assez impressionnante — elle dépassait 3000 mégawatts thermiques (MWth) au début de 1989.

Les diverses turbines actuellement utilisées dans ces centrales, et celles qui sont en cours de fabrication pour les centrales en construction, ont diverses capacités de production de chaleur pour le chauffage urbain (*voir le tableau*).

Les caractéristiques de conception des systèmes de distribution de la chaleur provenant de centrales nucléaires sont fondées sur les règles actuelles de radioprotection des usagers de l'énergie thermique. Ainsi, l'eau de chauffage circule dans un circuit tertiaire (par rapport au cœur du réacteur). La pression dans ce circuit est maintenue à une valeur plus élevée que la pression maximale possible de la vapeur soutirée sans régulation, ce qui rend impossible que des produits radioactifs pénètrent dans l'eau de chauffage en cas de perte d'intégrité des échangeurs de chaleur. Dans les centrales équipées de réacteurs RBMK, un circuit intermédiaire est prévu entre la sortie des turbines et l'eau de chauffage. Ce circuit tampon est maintenu à une pression supérieure à

M. Soldatov est directeur de division, et MM. Sigal et Losev sont membres de l'Institut fédéral de recherche scientifique sur l'exploitation des centrales nucléaires, à Moscou.

Caractéristiques des installations nucléaires de chauffage urbain par extraction de vapeur

| Type de turbine | Nombre de turbines et type de réacteurs | Capacité thermique garantie de la vapeur soutirée (MWth) | Intervalle de température de l'eau chaude (°C) |
|------------------|---|--|--|
| K-220-44 | 2 × VVER-440 | 29 × 2 | 130/70 |
| K-500-65/3000 | 2 × RBMK-1000 | 87 × 2 | 150/70 |
| K-750-65/3000 | 2 × RBMK-1500 | 116 × 2 | 165/70 |
| K-1000-60/1500-2 | 1 × VVER-1000 | 232 | 150/70 |
| K-1070-60/1500-3 | 1 × VVER-1000 | 1047 et plus | 170/70 |

celle de la vapeur, mais inférieure à celle du circuit de chauffage urbain. Dans les centrales équipées de réacteurs VVER, l'eau du réseau de chauffage est chauffée dans des échangeurs par la vapeur soutirée de la turbine. La pression la plus élevée de la vapeur soutirée est inférieure à la pression dans le circuit primaire et à la pression dans le circuit de distribution de chaleur. Pour prévenir la contamination radioactive de l'eau de chauffage en cas d'accident, l'échangeur peut être isolé à la fois de la vapeur de chauffage et du réseau de distribution d'eau chaude. L'eau de chauffage est aussi soumise à une surveillance radiologique permanente.

Il est important, et économiquement séduisant, d'exploiter au maximum la capacité de chauffage urbain des centrales électriques nucléaires. Même compte tenu d'une certaine réduction de la production électrique due au soutirage de vapeur pour le chauffage, cette double utilisation (production d'électricité et d'énergie thermique) des centrales nucléaires équipées de réacteurs VVER-440 permet d'économiser annuellement 30 000 tonnes d'équivalent-charbon en combustibles organiques par réacteur. On peut économiser davantage encore si l'on fait participer des centrales équipées de VVER-1000 au chauffage urbain. La quantité de combustible organique que permet d'épargner un réacteur de ce type se chiffre entre 130 000 et 750 000 tonnes d'équivalent-charbon par an, selon le type de turbine.

Malgré cet avantage certain, la majorité des centrales n'exploitent pas au maximum leur capacité de fournir de la chaleur. La raison en est que leur implantation n'est pas toujours idéale pour desservir le consommateur. Les consommateurs « assurés » (c'est-à-dire la centrale elle-même et les logements associés) n'utilisent habituellement qu'une petite partie de la chaleur éventuellement disponible pour le chauffage urbain. La consommation théorique sur le site se chiffre en gros à 30 MWth par tranche de 1000 à 1500 MWe. Par ailleurs, la consommation théorique totale des usagers vivant dans les logements de fonction à proximité de la centrale ne dépasse guère 260 MWth. Pour les installations de chauffage public et domestique (chauffage des locaux, production d'eau chaude et climatisation), les sources nucléaires fonctionnent en charge de base, avec chaudières d'appoint à combustible organique. Il en résulte que, pour une centrale équipée de quatre VVER-1000 de série et de turbines K-1000-60/1500-2, la « charge »

maximale de l'installation nucléaire de chauffage desservant le site (bâtiments du site et logements) ne dépasse guère 230 MWe, alors que la capacité totale est à peu près quatre fois plus élevée. Ainsi, dans toute centrale moderne exploitée à plein régime, il existe une assez grande marge de production de chaleur à exploiter.

Le plus logique serait d'utiliser cette capacité disponible pour fournir un chauffage centralisé aux consommateurs des environs qui pourraient être des complexes industriels et des zones résidentielles, par exemple. Or, il y a des contraintes, car des considérations tant techniques qu'économiques veulent que les réseaux de chauffage alimentés par une centrale nucléaire desservent un minimum d'usagers dans un périmètre donné*. Au-delà, le déficit de production d'électricité (puisque la centrale produit de la chaleur) et le coût du transport de la chaleur jusqu'au lieu de consommation excèdent l'économie de combustible organique. L'importance de la zone desservie est fonction des conditions climatiques de la région (qui déterminent le régime de production de chaleur), du coût relatif des combustibles organiques auxquels on substitue la chaleur nucléaire, de la quantité de chaleur fournie par la centrale nucléaire, des conditions pratiques de mise en place de la conduite reliant la centrale aux consommateurs, du type de générateur installé à la centrale, plus quelques autres facteurs. Il convient en outre de prendre en compte d'autres solutions de chauffage urbain pour établir une comparaison réaliste des coûts. Il n'est pas facile d'intégrer tous ces facteurs au stade du projet, car la proximité de consommateurs potentiels est loin d'être le critère le plus important pour les autorités réglementaires quand il s'agit d'approuver le choix d'un site. Le règlement de radioprotection en vigueur en URSS fixe la distance minimale admissible entre les centrales nucléaires et les zones d'habitat dense. Ainsi, par exemple, dans le cas d'une centrale de 4000 MWe, cette distance va d'environ 25 km, si la concentration de population est comprise entre 100 000 et 500 000 habitants, à 100 km si la concentration est supérieure à 2 millions de personnes. Pour maintes raisons, cependant, les sites nouveaux doivent se trouver bien au-delà des distances réglementaires indiquées ci-dessus. Aussi la majorité des centra-

* «L'utilisation des centrales nucléaires comme sources de chaleur pour les complexes industriels, résidentiels et agricoles», Losev, V.L., Sigal, M.V., et al., *Teplোধnergetika* 8 (1988) (en russe).

les nucléaires actuellement en exploitation disposent-elles de réserves importantes de production de chaleur inutilisées.

Centrales en exploitation ou en projet

On compte plusieurs exemples d'utilisation effective de chaleur nucléaire. La centrale de Balakovo, par exemple, chauffe la ville du même nom (à 12 km de la centrale, demande supérieure à 1000 MWth); la centrale de Rostov fournit du chauffage à la ville de Volgograd (à 13 km de la centrale, demande supérieure à 1000 MWth); la centrale de Tatarsk dessert la ville de Nizhnekamsk (40 km de la centrale, demande supérieure à 2000 MWth); enfin, la centrale de Bashkir fournit de la chaleur à la ville de Neftekamsk.

Le transport de chaleur loin de la centrale se pratique aussi ou est prévu dans d'autres pays du CAEM. En République démocratique allemande, la centrale Bruno Leuschner assure le chauffage urbain de la ville de Greifswald depuis 1984 (à 22 km de la centrale, production de chaleur: 260 MWth), et un système de chauffage pour la ville de Magdebourg, alimenté par la centrale Stendhal actuellement en construction, est à l'étude (distance de la centrale: 95 km).

En Tchécoslovaquie, on prévoit d'équiper toutes les centrales VVER-440 (12 tranches au total) pour le chauffage urbain: la centrale de Bohunice pour la ville de Trnava, la centrale de Dukovany pour Brno, et la centrale de Mochovice pour Levice. Il existe un projet de transport de chaleur jusqu'à la ville de České Budějovice à partir de la centrale de Temelín. Les réseaux de distribution de chaleur à partir de ces centrales sont très étendus, et la production de chaleur assez élevée (par exemple, le thermoduc qui relie la centrale de Dukovany à Brno est long de 40 km, la puissance disponible atteint 500 MWth).

En Pologne, on envisage d'utiliser la centrale de Zarnowec pour fournir de la chaleur à la région de Gdansk-Gdynia (la centrale se trouve à 75 km de Gdynia). Il existe aussi un plan pour desservir Poznan avec la centrale de Warta, dont la construction est programmée.

En Bulgarie, un projet de chauffage urbain à partir de la centrale nucléaire de Belene est à l'étude, pour les villes de Pleven (58 km), Svishtov et Belene. La puissance nécessaire est évaluée à 700 MWth environ. On prévoit aussi d'utiliser la centrale de Kozloduj pour fournir de la chaleur à la ville de même nom.

Les caractéristiques techniques de ces systèmes sont analogues, à maints égards, à celles des centrales VVER soviétiques dont on a déjà parlé. A noter que les pays du CAEM coopèrent étroitement pour résoudre les problèmes du chauffage urbain nucléaire; ils ont adopté un programme scientifique et technique global, qui assure la coordination jusqu'à l'an 2000.

Parallèlement à l'utilisation, à des fins de chauffage urbain, des centrales actuellement en service ou en construction, les techniciens ont opté pour les centrales nucléaires à double vocation — thermogènes et électrogènes — ou à vocation unique — exclusivement thermogènes. Le programme d'équipement électrique que l'URSS vient d'adopter prévoit la construction de plusieurs de ces centrales d'ici à l'an 2000.

Un modèle mixte a été étudié pour la région européenne de l'URSS, fondé sur le réacteur VVER-1000 et équipé de nouvelles turbines (TK-450/500-60/3000), avec soutirage régulé de vapeur et grande capacité thermique*. Une centrale mixte de deux tranches de ce type peut assurer une production de chaleur pouvant atteindre 2100 MW. Le projet consiste à mettre en service d'ici à l'an 2000 au moins trois de ces centrales: à Odessa, Minsk, et Kharkov. Il convient de noter que ces centrales sont non seulement thermogènes, mais aussi à condensation (les turbines ont une importante capacité de condensation «ajoutée»), solution obligatoire avec les réacteurs de forte puissance nominale.

L'examen des orientations techniques du nucléaire, après l'accident de Tchernobyl, a entraîné la révision de certaines décisions concernant le modèle de centrale mixte que l'on venait de mettre au point. Les sites ayant été choisis vers la fin des années 70 et au début des années 80 (les prescriptions étaient alors moins rigoureuses qu'aujourd'hui), les centrales mixtes d'Odessa et de Minsk ne répondaient plus aux normes nouvelles de sûreté et leur construction fut suspendue. L'étude de la centrale de Kharkov a de même été interrompue.

Une centrale nucléaire à vocation exclusive de chauffage urbain a été étudiée en URSS en même temps que le projet de centrale mixte.

La raison en est notamment qu'il est impossible, dans certains cas, d'implanter des centrales de chauffage à condensation à cause du manque d'eau industrielle, car il en faut de grandes quantités pour refroidir les condenseurs des turbines dotées d'une importante capacité de condensation «ajoutée», outre que, dans certaines régions, il n'est pas besoin d'une capacité supplémentaire de production électrique. Un réacteur refroidi et modéré à l'eau, d'une puissance nominale de 500 MWth, a été spécialement conçu pour les centrales thermogènes pures. Ce modèle dénommé AST-500 peut être installé à proximité immédiate d'un centre de population, jusqu'à 5 km de la zone urbaine**. Le projet AST-500 est actuellement en cours d'exécution à Gorki et à Voronezh. Il était prévu de construire un certain nombre de centrales thermogènes dans la région européenne de l'Union soviétique; toutefois, l'attitude négative du public vis-à-vis de l'énergie nucléaire depuis l'accident de Tchernobyl a retardé (et dans certains cas remis en question) l'exécution de certains projets nucléaires dont la mise en chantier était pourtant déjà fixée.

Les autres pays du CAEM portent un intérêt certain aux centrales nucléaires à vocation exclusive de chauffage. Il convient de noter cependant qu'en raison des

* Dans le Grand Nord soviétique, la première centrale mixte du pays fonctionne avec succès depuis 1974. Elle comporte quatre tranches équipées de réacteurs convertisseurs électro-hydrauliques et de turbines à extraction régulée (Bilibino).

Voir "Centrales nucléaires mixtes pour le chauffage urbain", Kuznetsov, Yu.A., Sakharov, A.G., Abrosimov, A.F., dans: *Vème Conférence internationale sur le chauffage urbain*, 7-10 septembre 1982, Kiev, Rapports, Section II, Question 1, rapports 11 à 29 (en russe).

** Cette centrale est décrite en détail dans "Centrales électriques nucléaires", par Kats, V.L., Kuznetsov, Yu.A., Pleskov, G.I., Tatarnikov, V.P., *At. Ehlekt. Sn.* 4 (1981) (en russe).

particularités de l'urbanisation dans ces pays il y faut des installations nettement moins puissantes que celles qui sont la norme en URSS. C'est pourquoi les concepteurs soviétiques ont étudié une centrale d'une puissance nominale de 300 MWth, présentant des caractéristiques techniques similaires à celles de l'AST-500, et des travaux se poursuivent en coopération avec les organismes spécialisés des pays du CAEM pour construire des installations encore moins puissantes.

Outre le travail d'amélioration de la conception de centrales nucléaires thermogènes, et l'étude de types nouveaux de réacteurs pour les équiper, la recherche d'une meilleure exploitation du potentiel thermogène des centrales nucléaires existantes conserve toute son importance pratique. Il apparaît à l'analyse que cette source continuera de dominer l'infrastructure nucléaire de l'URSS et des pays du CAEM pendant longtemps encore.

Deux voies notamment semblent extrêmement prometteuses:

- utiliser la capacité disponible des installations de production de chaleur des centrales nucléo-électriques pour distribuer de la chaleur industrielle à grande distance;
- convertir les centrales nucléaires qui sont au terme de leur durée utile normale en centrales thermogènes (en exploitant le réacteur à faible puissance et à bas régime).

La mise en pratique de la première solution favorisera un élargissement sensible de la clientèle potentielle de l'énergie thermique d'origine nucléaire et permettra à l'énergie nucléaire de pénétrer le secteur dévoreur de

combustibles qu'est celui de la chaleur industrielle. Les travaux réalisés en URSS et Tchécoslovaquie ont montré que, pour desservir des usagers industriels à grande distance, il est économiquement logique de transporter la chaleur jusqu'au lieu de consommation sous forme d'eau chaude sous pression. Cette eau chaude permet ensuite de produire de la vapeur ayant les caractéristiques requises dans les installations propres de l'utilisateur (de préférence au moyen de thermocompresseurs)*. On aborde actuellement le stade des réalisations techniques.

La deuxième solution est encore à l'étude, mais il est extrêmement important de trouver les réponses, car elles permettront de résoudre d'un coup deux problèmes: premièrement, prolonger la durée utile des équipements principaux des grandes centrales nucléaires et, deuxièmement, constituer des sources centralisées de grande puissance pour la production de chaleur dans de brefs délais et relativement à bon compte.

Pour conclure, on peut affirmer avec certitude que l'utilisation de sources d'énergie nucléaire pour le chauffage urbain centralisé est maintenant techniquement au point, se pratique à grande échelle et promet un bel avenir.

* "Transport à grande distance d'eau de chauffage provenant des centrales nucléaires pour fournir de la vapeur aux usagers", Sigal, M.V., Gusakov, V.I., Dlugoselsky, S.V., *Teploenergetika* 12 (1987) (en russe), et "Problèmes et applications de la thermo-compression de la vapeur d'eau", Petrovski, I., dans: *Colloque sur les échanges d'expérience entre pays membres du CAEM*, vol. 2, Prague (novembre 1986) (en russe).

