

# Refroidissement des centrales thermiques dans un climat changeant



**« Pour respecter les limites réglementaires relatives à la température des rejets d'eau, nous avons dû réduire la puissance de sortie et, dans certains cas, interrompre la production... En 2003 et en 2006, les pertes de production se sont établies à 5,5 TWh et à 2,5 TWh respectivement. »**

Alain Vicaud, directeur, Environnement et Prospective; et Éric Jouen, directeur, Projets, Électricité de France (EDF)



Pour répondre à leurs besoins de refroidissement considérables, les centrales thermiques utilisent habituellement l'eau ou l'air ambiant. Les changements climatiques constituent un défi de taille pour les procédés de refroidissement, car ils modifient les conditions environnantes comme la température de l'eau et de l'air. Conséquemment, le secteur de l'énergie doit porter une plus grande attention aux technologies et aux options de conception pour réduire les vulnérabilités dues aux changements du climat régional.

Cette étude de cas examine la réponse de trois sociétés d'énergie aux enjeux soulevés par ces changements. Ontario Power Generation (OPG) a investi dans de l'équipement visant à prévenir l'obstruction des prises d'eau causée par des particules de glace en suspension lors du cycle gel-dégel. Électricité de France (EDF), quant à elle, effectue de la recherche visant à quantifier le compromis entre l'efficacité du refroidissement et la performance environnementale des technologies disponibles, tandis qu'Eskom s'est engagée à installer des systèmes de refroidissement sec dans toutes ses nouvelles centrales thermiques.

## CONTEXTE

Les centrales nucléaires ainsi que les centrales aux combustibles fossiles et à la biomasse sont conçues pour produire de la chaleur. Pour générer de l'électricité, elles utilisent la chaleur afin de convertir l'eau en vapeur et faire tourner une turbine qui actionne un générateur. Elles se servent habituellement d'eau froide (rivière, lac ou océan) et parfois de l'air ambiant pour reconvertir la vapeur en eau.

Les besoins en eau des centrales thermiques qui refroidissent la vapeur au moyen de l'eau varient selon la technologie de refroidissement utilisée. En règle générale, les centrales plus âgées et les infrastructures situées au voisinage de grands plans d'eau utilisent des systèmes de refroidissement en circuit ouvert qui puisent l'eau à proximité et l'acheminent dans les tuyaux afin d'absorber la chaleur produite par les condensateurs. L'eau, qui est maintenant plus chaude, est rejetée dans l'environnement, et la perte nette pour le bassin est minime. Les systèmes en circuit fermé, plus récents, utilisent un procédé semblable pour refroidir la vapeur d'échappement, mais font circuler l'eau chauffée dans des tours de refroidissement exposées à l'air, ce qui entraîne une perte d'eau par évaporation. Ils prélèvent moins d'eau que les systèmes en circuit ouvert, mais le procédé engendre des pertes en eau pour le bassin versant et nécessite des traitements chimiques de l'eau recirculée<sup>2</sup>. Dans les régions où l'eau est rare, le refroidissement sec devient une option intéressante. Comme cette technologie utilise de l'air pour refroidir la vapeur, les besoins en eau sont réduits au minimum. Cependant, elle coûte plus cher à construire et est moins efficace.

Les changements climatiques auront des conséquences perturbatrices pour les générateurs thermiques partout dans le monde. Comme ce fut le cas en France, en 2003 et 2006, puis aux États-Unis en 2012<sup>3</sup>, il sera plus difficile pour les systèmes de refroidissement en circuit ouvert de respecter les limites thermiques des rejets en eau. Les gouvernements règlementent ces rejets afin de protéger la vie aquatique (par exemple, la Loi sur les pêches au Canada<sup>4</sup>). Avec la hausse des températures, la demande de pointe (attribuable à une utilisation accrue de la climatisation) risquera davantage de coïncider avec des périodes où la température des plans d'eau récepteurs sera plus élevée. Cela pourra inciter les gouvernements à imposer des restrictions sur les rejets. Au Connecticut, en août 2012, les autorités ont ordonné à Dominion Resources d'arrêter un réacteur nucléaire après que des températures records ont été enregistrées dans le détroit de Long Island. Cela lui a occasionné une perte de plusieurs millions de dollars<sup>5</sup>.

Un autre impact des changements climatiques a trait à la perte d'efficacité des procédés de refroidissement en raison de la hausse de la température de l'eau et de l'air. Pour le refroidissement sec, des températures ambiantes élevées peuvent réduire la capacité de production jusqu'à 15 %<sup>6</sup>. Les pays nordiques devront également faire face à des conditions de glace changeantes qui entraîneront l'obstruction des prises d'eau en raison d'une quantité et d'une fréquence accrues du frasil, soit des particules de glace en suspension. L'obstruction des prises et des filtres d'eau causée par des éclosions d'algues, la capacité de dilution réduite des plans d'eau récepteurs en

période de sécheresse et des restrictions plus strictes étant donné la disponibilité réduite de l'eau constituent également des impacts potentiels des changements climatiques.

## LA RÉPONSE D'OPG AU ACTUEL

Le climat d'aujourd'hui affecte déjà le procédé de refroidissement des centrales nucléaires canadiennes. Par exemple, une des centrales d'Ontario Power Generation (OPG) qui puise son eau à la surface du lac Ontario est directement touchée par les fluctuations climatiques saisonnières et leurs conséquences sur les conditions du lac. Durant l'hiver, OPG opère un équipement spécialisé pour empêcher le frasil (des particules de glace) d'obstruer le système de dégrillage et le système d'alimentation en eau d'urgence.

« Depuis quelques années, nous avons eu des problèmes de prolifération d'algues », mentionne Kimberley Melo, analyste principale du service de gestion du risque d'entreprise chez OPG. Récemment, à la centrale de Pickering, plusieurs épisodes d'éclosion importune de *Cladophora* sont survenus pendant des périodes prolongées où l'eau du lac affichait des températures élevées. En 2007, OPG a dû arrêter un réacteur et réduire sa puissance de sortie parce que les dégrilleurs et les filtres d'une prise d'eau étaient en train de se boucher<sup>4</sup>. En revanche, dans d'autres centrales nucléaires qui puisent au fond d'un lac une eau plus fraîche, le problème des algues ne se pose pas. « Il arrive aussi que les changements climatiques favorisent des espèces aquatiques envahissantes, comme la moule zébrée, qui se plaquent sur les prises d'eau et bouchent les

décharges », ajoute Kimberley Melo. Les scientifiques ont établi un lien entre les fortes éclosions d'algues dans le lac Ontario et les moules zébrées; ces dernières filtrent l'eau et, ce faisant, permettent à la lumière du soleil de pénétrer plus profondément dans l'eau.

Dans l'ensemble, pour les installations d'OPG, le risque lié aux températures élevées et à d'autres conditions climatiques demeure relativement faible puisque ses centrales ont de larges marges de sûreté. Cependant, si de nouvelles infrastructures de production d'énergie thermique devaient être construites au Canada, la hausse des températures deviendrait un facteur important dans la conception des systèmes de refroidissement.

## LES MESURES D'ADAPTATION À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE

Dans l'Union européenne, la hausse des températures et l'efficacité du refroidissement sont au cœur de la modification prochaine des règlements concernant les rejets thermiques. Selon la directive relative aux émissions industrielles (IED) 2010, pour obtenir leur permis d'utilisation, les sociétés d'énergie doivent s'appuyer sur les meilleures techniques disponibles (MTD). Dans le cadre de sa révision des documents de référence 2011 sur les meilleures techniques pour les systèmes de refroidissement industriel, la Commission européenne (CE) prévoit d'entamer sous peu des consultations auprès des sociétés d'énergie et autres utilisateurs industriels des ressources en eau. Elle a explicitement choisi de

tenir compte des projections de changements climatiques dans la détermination des techniques de refroidissement qui intégreront le mieux les exigences industrielles à la performance environnementale à long terme.

Pour analyser les risques associés aux changements dans les extrêmes et les normales climatiques, Électricité de France (EDF), la société française d'énergie nucléaire, a mis en place une stratégie d'adaptation en quatre volets :

- 1- Prévoir en temps opportun les changements climatiques jusqu'en 2030 pour les actifs existants et jusqu'en 2050 pour les projets en développement.
- 2- Évaluer la vulnérabilité des infrastructures existantes et en renforcer la capacité d'adaptation.
- 3- Améliorer la résilience des infrastructures et des projets en réponse aux risques climatiques actuels et futurs.
- 4- Intégrer les connaissances sur les projections des changements climatiques dans la conception des projets futurs.

EDF a également commandé un projet de recherche visant à quantifier et à comparer les divers indicateurs de la performance environnementale (ex., rejets d'eau, émissions atmosphériques, efficacité énergétique et utilisation de l'énergie) de quelques technologies de refroidissement dans un climat changeant<sup>8</sup>. Cette évaluation intégrée repose sur des estimations de l'évolution des températures de l'air et de l'eau, de l'humidité relative et des niveaux de pluie et de débit, établies à partir de projections à échelle réduite de modèles climatiques et hydrologiques. EDF dispose des outils voulus pour mettre en

œuvre des pratiques de refroidissement résilientes pour sa production d'énergie nucléaire. Depuis les vagues de chaleur historiques de 2003 et 2006, la société est devenue un chef de file mondial dans l'adaptation aux changements climatiques, et ce, grâce à l'investissement dans un ensemble de mesures préventives. Dans le cadre du projet Grands Chauds, elle a révisé les températures de l'eau et de l'air dans la conception de ses systèmes de refroidissement pour tenir compte des changements climatiques, ce qui l'a amenée à accroître la capacité de refroidissement de deux centrales nucléaires. EDF bénéficie également d'un système interne de prévision météorologique et hydrologique sophistiqué. Qui plus est, elle a mis sur pied une unité de gestion du risque qui coordonne les réponses et la gestion des parties prenantes durant les crises liées au climat. L'unité apporte également son soutien aux équipes opérationnelles pour déterminer si des circonstances exceptionnelles justifient une dérogation temporaire aux limites réglementaires des rejets thermiques<sup>1</sup>.

Dans l'hémisphère sud, les températures plus chaudes ont déjà justifié d'importants investissements dans de nouvelles technologies de refroidissement qui font appel à l'air plutôt qu'à l'eau. C'est le cas notamment d'Eskom, la société d'énergie de l'Afrique du Sud. La plupart des infrastructures de production d'Eskom consomment des combustibles fossiles, et l'Afrique du Sud est l'un des plus importants consommateurs d'eau douce<sup>6</sup>. Dans les années 1980, l'entreprise a pris la décision stratégique d'investir dans le refroidissement

sec. Cependant, la technologie de refroidissement sec coûte plus cher à bâtir et consomme plus de combustible par kilowatt-heure produit. Par exemple, 2 % de la capacité de production de la centrale au charbon de Matimba sert à alimenter les ventilateurs de refroidissement<sup>6</sup>. De plus, la performance de production d'une centrale refroidie à sec est sensible aux conditions météorologiques.

Au départ, les investissements d'Eskom dans les technologies de refroidissement sec pour ses centrales thermo-électriques ont été effectués en réponse à la rareté de l'eau en Afrique du Sud, mais justifiés par la suite par les réductions projetées des ressources en eau douce causées par les changements climatiques.

Dans sa stratégie d'adaptation aux changements climatiques, Eskom reconnaît que les technologies de refroidissement sec pour ses centrales thermiques sont une solution d'adaptation à court terme. Toutes les nouvelles centrales alimentées par des combustibles fossiles incorporent des systèmes de refroidissement sec. Depuis le milieu des années 1980, l'entreprise a accru de 12 000 MW sa capacité installée de refroidissement à l'air<sup>10</sup>. Avec une capacité installée de 4 GW, sa centrale de Kendal est la centrale refroidie à l'air la plus importante du monde<sup>9</sup>. Eskom prévoit d'y ajouter une capacité de production refroidie à sec de 4,8 GW grâce à la mise en service de sa centrale au charbon de Medupi, qui sera la première à combiner les technologies de refroidissement sec et humide.

## LES LEÇONS APPRISES

**E**n règle générale, l'adaptation matérielle aux changements climatiques peut se faire dans la phase de conception ou d'exploitation des infrastructures de production. L'une des mesures d'adaptation aux conséquences de la hausse des températures et de la rareté de l'eau qui s'offrent aux centrales thermiques est d'intégrer la résilience dans la conception des infrastructures. Par exemple, un système adéquat de prise d'eau ou une technologie de refroidissement peut aider la centrale à prendre en compte les changements climatiques projetés et éviter ainsi des réductions ou des arrêts de production. L'installation des centrales à proximité de la côte permet d'utiliser l'eau de mer pour le refroidissement. Quant aux centrales thermiques, il est possible de les moderniser en augmentant la capacité de refroidissement ou en installant un nouveau système de refroidissement, mais cela coûte très cher.

Prendre des mesures en réponse aux changements climatiques exige parfois des compromis entre la performance économique et la résilience, surtout lorsque les centrales prélèvent une ressource limitée. Les technologies de refroidissement sec coûtent plus cher à construire et à exploiter que les technologies conventionnelles de refroidissement humide. Elles réduisent la production globale des centrales et consomment plus d'énergie par kilowatt produit<sup>2</sup>. Comme il est prévu que l'accès réduit à l'eau pour le refroidissement causera des interruptions, Eskom a accepté que la résilience l'emporte sur les considérations d'ordre financier.

Dans le cas des technologies de refroidissement humide, la recherche d'EDF montre qu'il existe des compromis possibles entre les rejets thermiques, la consommation d'eau et d'énergie et le rejet de polluants. Dans l'Union européenne, comme la performance des systèmes de refroidissement

est réglementée, les régulateurs doivent déterminer si la résilience climatique justifie la réduction de la performance environnementale ou les coûts élevés associés aux systèmes en circuit fermé, ou les deux.

**Auteur :** Jean-Christophe Amado, Deloitte | **Collaborateurs :** Élyse Fournier, Ouranos, Marco Braun, Ouranos, Kimberley Melo, Ontario Power Generation

**Édition :** Peter McKinnon | **Traduction :** Lise Malo, La Plume Déliée | **Mise en Page :** André Hughes, Pro-Actif

**Citation suggérée :** Ouranos 2016. Refroidissement des centrales thermiques dans un climat changeant. Étude de cas présentée à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 8 p.

<sup>1</sup> Vicaud, A., and Jouen, E. Adapter les centrales nucléaires au changement climatique : le retour d'expérience des canicules de 2003 et 2006. La Revue Générale Nucléaire 3, 39-44 (2015).

<sup>2</sup> Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K., C. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. Environmental Research Letters 7, 1-10 (2012).

<sup>3</sup> Environment Canada. Environmental effects assessment of freshwater thermal discharge. (Environment Canada, 2014).  
Voir : <[https://ec.gc.ca/ee-ea/E8FBACCA-2E85-4E76-978B-5A1D45AACD82/1617\\_FinalThermalGuidance\\_e\\_07.pdf](https://ec.gc.ca/ee-ea/E8FBACCA-2E85-4E76-978B-5A1D45AACD82/1617_FinalThermalGuidance_e_07.pdf)>

<sup>4</sup> Stoms, D., Franco, G., Raitt, H., Wilhem, S., & Grant, S. Climate Change and the California Energy Sector. (California Energy Commission, 2013). Voir : <<http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-100-2013-002/CEC-100-2013-002.pdf>>

<sup>5</sup> Hamilton, T. Algae prompt reactor shutdown. thestar.com 1 (2007). Voir : [https://www.thestar.com/business/2007/08/10/algae\\_prompt\\_reactor\\_shutdown.html](https://www.thestar.com/business/2007/08/10/algae_prompt_reactor_shutdown.html)

<sup>6</sup> United States Government Accountability Office. Climate change – energy infrastructure risks and adaptation efforts. (GAO, 2014).  
Voir : <<http://www.gao.gov/products/GAO-14-74>>

<sup>7</sup> Bushart, S. Advanced Cooling Technologies for Water Savings at Coal-fired Power Plants. (Cornerstone, 2014).  
Voir : <<http://cornerstonemag.net/advanced-cooling-technologies-for-water-savings-at-coal-fired-power-plants/>>

<sup>8</sup> Anderhalt, M. Power plants and climate change: how to optimize environmental performances of power plant's cooling systems. (2015).

<sup>9</sup> Pather, V. Eskom and water. In Proceedings of the 2004 water institute of Southern Africa Biennial conference. (2004).

<sup>10</sup> Eskom. Powering your world. (2015). Voir : <<http://www.eskom.co.za/Pages/Landing.aspx>>

# POINTS À RETENIR

1

**La résilience à la hausse des températures et à la rareté de l'eau doit être intégrée à la conception des infrastructures de production énergétique.**

2

**Les changements climatiques projetés peuvent avoir une incidence considérable sur le rendement des meilleures techniques disponibles.**

3

**De judicieux investissements en matière d'adaptation ne peuvent se faire sans compromis entre la résilience, la performance environnementale et la performance technique.**



## **ORGANISATION(S)**

Électricité de France (France), Eskom (Afrique du Sud), Ontario Power Generation (Canada)

## **SOUS-SECTEUR(S) ÉNERGÉTIQUE(S)**

Production d'électricité provenant des centrales thermiques

## **TYPE(S) D'ADAPTATION**

- Information – Équipement et technologie de suivi
- Gestion – Exemptions réglementaires et contrats
- Physique – Nouvelle capacité de production, de transport et de transformation

## **IMPACT(S) DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

- Hausse des températures ambiantes et du nombre de journées chaudes
- Hausse des températures de l'eau
- Changements dans l'écoulement de surface, la réalimentation de l'aquifère et les niveaux d'eau

## **COÛTS D'ADAPTATION**

- Le ralentissement ou l'arrêt de réacteurs exigé en vertu de la réglementation des rejets thermiques représente un coût élevé.
- Passer d'un système conventionnel à un système en circuit fermé ou à une technologie de refroidissement sec représente un coût en capital très élevé.
- L'adoption de technologies de refroidissement qui minimisent les rejets thermiques représente un coût opérationnel élevé.

## **AVANTAGE(S) DE L'ADAPTATION**

- Capacité accrue de prise en charge des journées chaudes et des faibles débits
- Meilleure performance environnementale

## **CONTACT**

Kimberley Melo  
[kim.melo@opg.com](mailto:kim.melo@opg.com)

## **RAPPORT ENTIER**

<https://ouranos.ca/programmes/etudes-de-cas-adaptation-energie/>

