



Le système électrique face aux changements climatiques

Problématique

Beaucoup des infrastructures que l'on construit aujourd'hui seront encore en exploitation en 2050, voire en 2100. Elles doivent être conçues pour faire face au climat de demain. Prendre en compte dès maintenant le risque climatique et mettre en œuvre des mesures d'adaptation est indispensable. Les surinvestissements consentis aujourd'hui pour construire un système résilient sont autant d'économies pour l'avenir, car ils permettront d'éviter de coûteuses réparations et de tout aussi coûteuses interruptions de service.

Cette fiche présente des exemples d'impacts climatiques et de solutions à mettre en œuvre pour le système électrique. Elle décrit également une démarche structurée pour évaluer le risque climatique et définir des mesures d'atténuation.

Principes de base

Le terme « changement climatique » recouvre un ensemble de phénomènes observés au cours des dernières décennies. Le plus notable de ceux-ci est le réchauffement planétaire : la température moyenne à la surface du globe s'est déjà élevée d'environ 1°C. Des modifications du régime des précipitations et des vents, de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes (ouragans, sécheresses, inondations) sont déjà perceptibles. Les scientifiques estiment certain que les phénomènes observés aujourd'hui vont se poursuivre et s'intensifier dans le futur.

La notion de « résilience » désigne la capacité du système électrique à continuer de fonctionner normalement dans un contexte de changement climatique, ou à revenir rapidement à un fonctionnement normal après un événement climatique extrême.

Encadré 1. Les modèles climatiques et le défi des impacts sur le système électrique

Les outils les plus utilisés pour simuler le climat futur sont les modèles sélectionnés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ces modèles simulent les phénomènes climatiques au niveau mondial en fonction d'hypothèses sur l'évolution des émissions de gaz à effet de serre. Il n'existe pas un seul modèle faisant autorité ; on travaille en général avec les résultats de plusieurs modèles, en observant si les résultats convergent – ce qui indique un bon niveau de confiance – ou si, au contraire, les résultats des différents modèles sont dispersés – ce qui indique alors une incertitude.

Par exemple, concernant l'Afrique de l'Ouest, les modèles indiquent tous une augmentation significative des températures, mais sont moins cohérents en ce qui concerne l'évolution des précipitations, certains donnant une tendance à la hausse et d'autres une tendance à la baisse (voir l'étude de cas).

L'utilisation de ces modèles pour travailler sur le système électrique soulève deux défis importants. D'abord, les modèles utilisés par le GIEC sont des modèles mondiaux, peu précis à l'échelle locale. Il est nécessaire de recourir à des modèles régionaux – mais il en existe peu pour l'Afrique – ou à des méthodes de réduction d'échelle (*downscaling*). Le second défi est lié à l'échelle de temps et d'espace. Les modèles climatiques permettent de discerner de grandes tendances de long terme. Mais ils ne sont pas en mesure d'offrir des réponses précises pour aborder des phénomènes localisés dans l'espace et dans le temps, tels que des tornades et des orages violents, voire des pics de température à court terme. Les répercussions de ces événements sur le système électrique sont donc difficiles à évaluer avec certitude.

Description technique

L'infrastructure électrique face au climat

La figure 1 illustre comment l'infrastructure électrique peut être affectée par le climat.

Une des conséquences les plus évidentes et les plus visibles des événements climatiques extrêmes est la *destruction de l'infrastructure*. Par exemple, l'ouragan Maria, qui a frappé les Caraïbes en 2017 avec des vents de plus de 280 km/h, a totalement ravagé le réseau électrique de l'île de Porto Rico. Il a fallu plus de six mois pour restaurer un niveau de service proche de la normale. Lors des crues du printemps 2019, au Québec, ce sont les riverains d'une centrale hydroélectrique sur la rivière Rouge qui ont dû être évacués, car la sécurité du barrage n'était plus assurée. Avec le changement climatique, la fréquence et l'intensité de ces événements vont probablement croître.

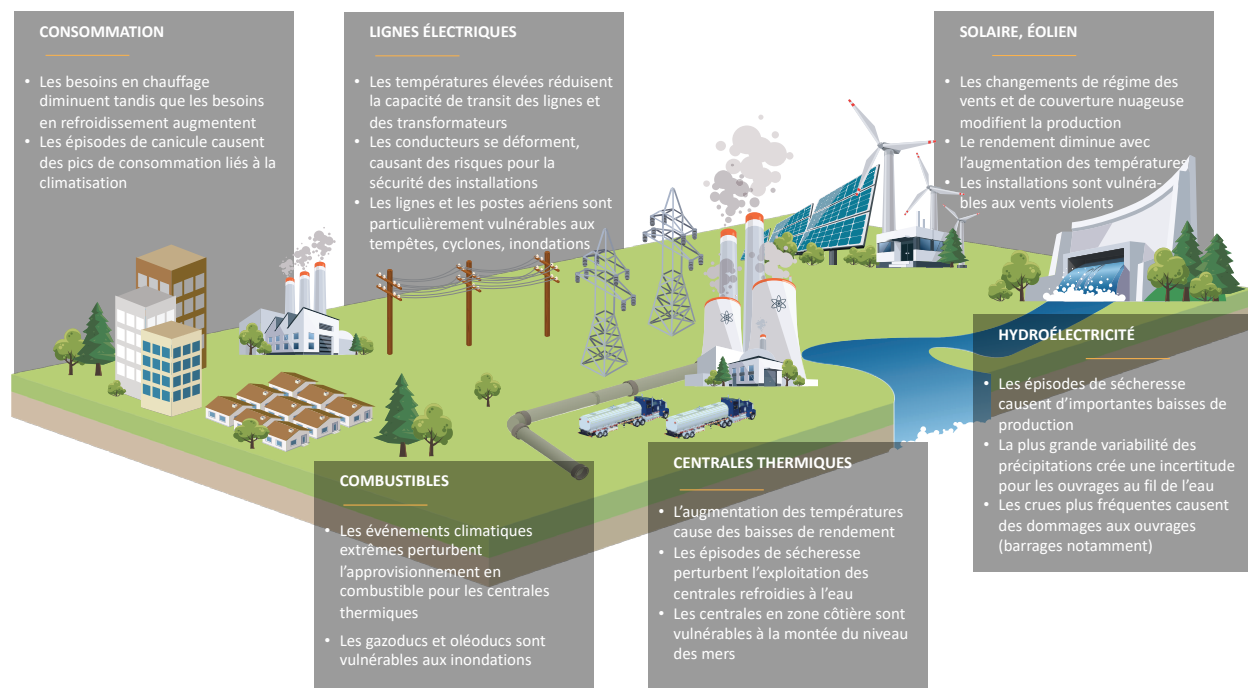
La *hausse des températures* affecte aussi directement la production d'électricité. Typiquement, le rendement d'un panneau solaire baisse de 0,45 % pour chaque degré supplémentaire. Avec des températures dépassant 40 °C, la baisse de rendement peut atteindre 5 % à 10 % par rapport aux conditions standards (température de 25 °C). Les centrales thermiques pâtissent également de la hausse des températures. Les centrales refroidies grâce à l'eau des fleuves doivent respecter des normes environnementales et notamment ne

pas dépasser des seuils de température maximale pour les rejets. Lors de fortes chaleurs, l'eau est déjà trop chaude et ne peut pas être utilisée pour le refroidissement. La centrale doit alors ralentir ou arrêter sa production. Pour les centrales refroidies par air également, l'élévation de la température ambiante a aussi pour effet direct de faire baisser le rendement. Pour maintenir la production d'énergie à un niveau constant lorsque la température augmente, une plus grande quantité de combustible est alors nécessaire. Cet effet est de l'ordre de 0,1 % à 0,6 % par degré supplémentaire, ce qui devient significatif lors d'épisodes de canicule.

Les *sécheresses et, plus généralement, les variations du régime des précipitations* menacent directement la production hydroélectrique. Les pays d'Afrique de l'Est et du Sud ont connu ces dernières années d'importantes baisses de production causées par des épisodes de sécheresse. À la mi-juin 2019, le barrage de la centrale de Kariba (1600 MW) qui alimente la Zambie et le Zimbabwe n'était plein qu'à 29 %, au lieu de 88 % l'année précédente.

Les *lignes de transport* sont également touchées. Sous l'effet de la chaleur, les conducteurs se dilatent. Si la dilatation dépasse les limites pour lesquelles la ligne a été conçue, il existe un risque pour la sécurité de l'installation. Les lignes peuvent aussi être à l'origine d'incendies de forêt, un risque aggravé par le changement climatique. Ainsi, en Californie, c'est une ligne à haute tension qui a causé le catastrophique incendie de Camp Fire en novembre 2018. L'incendie a tué 85 personnes et causé pour 16,5 milliards de dollars de dommages. L'exploitant PG&E, incapable de faire face à ses responsabilités, s'est retrouvé en faillite.

Figure 1. L'infrastructure électrique face au climat



Le changement climatique se répercute également sur la *consommation d'électricité* : les besoins en chauffage diminuent tandis que les besoins en refroidissement augmentent. La probable augmentation des épisodes de canicule dans le futur causera des pics de consommation. Combinés à la perte de rendement des centrales de production, ces événements sont donc de nature à accentuer les déséquilibres de l'offre et de la demande.

Un exemple de combinaison de ces conséquences est illustré par les effets de la canicule en France en juillet 2019 sur le réseau électrique. La consommation électrique a atteint un pic de près de 60 GW, environ 10 GW de plus que lors d'une journée estivale typique, sous l'effet des besoins en climatisation et ventilation. Dans le même temps, la compagnie d'électricité EDF a dû mettre à l'arrêt un réacteur nucléaire et en ralentir deux autres, du fait de la chaleur et de la sécheresse. Les températures ont eu une incidence également sur les panneaux photovoltaïques, et le manque d'eau a causé une forte diminution de la production hydroélectrique. Heureusement, la robustesse du réseau français a permis cette fois-ci d'y faire face sans conséquence sur la fourniture d'électricité.

Des solutions techniques, mais aussi organisationnelles

Face à ces défis, des solutions existent (tableau 1). La résilience du système doit être pensée dès le stade de la planification (stratégie sectorielle, plans directeurs). Une première option de renforcement de la résilience est de *diversifier le mélange énergétique* : un parc de production diversifié, utilisant des technologies et des sources d'énergie différentes, sera moins vulnérable. Un *réseau de transport*

d'électricité maillé, avec un bon niveau de redondance, présentera également moins de risque. Il est aussi recommandé de privilégier la *production décentralisée* : un système constitué d'un ensemble de petites unités réparties sur le territoire et situées plus près des centres de consommation sera moins vulnérable qu'un système centralisé.

Au stade de la conception d'une infrastructure donnée, une attention particulière doit être portée aux *critères de conception*. Des paramètres tels que la crue de projet pour une centrale hydroélectrique ou la température maximale admissible pour une ligne à haute tension devraient être vérifiés pour s'assurer que les valeurs utilisées seront toujours valables dans quelques décennies. Certains de ces paramètres sont codifiés sous forme de norme ou de règlement, leur modification est donc un enjeu non seulement technique, mais aussi réglementaire ou institutionnel. Pour les centrales thermiques, les systèmes de refroidissement doivent être adaptés au climat de demain, pour rester performants même en cas de hausse des températures ou de baisse de la ressource en eau. Le refroidissement par air peut alors s'avérer préférable au refroidissement par eau.

La résilience n'est pas qu'une affaire d'ingénierie. L'analyse de *rentabilité économique et financière* effectuée pour une infrastructure donnée doit tenir compte des possibles baisses de rendement ou de disponibilité liées au changement climatique. Certains risques climatiques peuvent être couverts sur le plan financier, par une assurance ou par la constitution de provisions. Les *procédures d'exploitation* aussi peuvent être modifiées pour plus de résilience, avec, par exemple, la définition de plans d'urgence en cas d'événement climatique grave.

Tableau 1. Événements climatiques, conséquences et solutions pour le système électrique

Événement climatique	Conséquences sur le système électrique	Solutions
Augmentation de la température moyenne	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de rendement des installations de production (centrales photovoltaïques et thermiques) 	<ul style="list-style-type: none"> Modification des critères de conception et d'analyse économique Redimensionnement des circuits de refroidissement
Canicule	<ul style="list-style-type: none"> Pic de consommation (climatisation) Déformation des conducteurs due à la chaleur Réduction de la capacité de transport 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures de maîtrise de la demande (MDE) Modification des critères de conception des lignes
Montée du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> Dommages aux infrastructures situées en bord de mer 	<ul style="list-style-type: none"> Surélévation ou protection des infrastructures (digues, pompage) À terme, relocalisation
Tempêtes, cyclones	<ul style="list-style-type: none"> Dommages aux infrastructures Perturbation des chaînes d'approvisionnement en combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> Modification des critères de conception Lignes enterrées Production distribuée, mini-réseaux renouvelables
Crues, inondations	<ul style="list-style-type: none"> Dommages aux infrastructures Rupture de barrage (centrales hydroélectriques) 	<ul style="list-style-type: none"> Modification des critères de conception Surélévation ou protection des infrastructures (digues, pompage) Étude de danger, plans d'urgence
Sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de production (centrales hydroélectriques) Problèmes de refroidissement (centrales thermiques) 	<ul style="list-style-type: none"> Modification des critères de conception et d'analyse économique Refroidissement par air plutôt que par eau

Stratégies de mise en œuvre et résultats

La mise en œuvre doit s'appuyer sur une revue rigoureuse et exhaustive des points de vulnérabilité des infrastructures électriques face au changement climatique. Cette revue permet ensuite de déterminer les mesures d'adaptation susceptibles d'améliorer la résilience, et de démontrer la pertinence de ces mesures par une analyse coût/bénéfice.

Quelles méthodologies d'évaluation utiliser ?

Il existe plusieurs méthodologies et outils particuliers pour faire une telle analyse. Cependant, plusieurs ne sont pas disponibles en français.

- La démarche proposée par l'initiative européenne JASPERS (encadré 2) peut être appliquée à tout type de projet d'infrastructure et elle est relativement simple à prendre en main.
- Le ministère canadien de l'Infrastructure a développé une méthodologie assez similaire. Intitulée « Optique des changements climatiques », elle est accessible en français sur Internet et est mise à jour régulièrement (<https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>).

Encadré 2. Survol de la démarche d'analyse des vulnérabilités et risques climatiques JASPERS

JASPERS (Assistance conjointe pour le soutien aux projets dans les régions européennes) est un partenariat entre la Commission européenne, la Banque européenne d'investissement et la Banque européenne pour la reconstruction et le développement. JASPERS propose une démarche en quatre étapes pour l'analyse du risque et l'adaptation d'un projet d'infrastructure.

1. *Préparation de l'analyse*: définir le périmètre sur lequel portera l'analyse. On doit avoir une description claire du projet et de ses fonctionnalités et une description de toutes les parties prenantes.
2. *Identification des vulnérabilités*: définir les vulnérabilités du projet ou du système face aux événements climatiques. L'analyse des événements passés constitue une très bonne base de travail : les exploitants du système électrique sont en général en mesure d'en décrire les impacts avec précision. À l'issue de l'étape 2, tous les événements climatiques qui peuvent avoir un effet négatif sur le projet doivent avoir été décrits. C'est à partir de cette identification initiale qu'une analyse plus approfondie sera faite à l'étape suivante.
3. *Évaluation du risque*: évaluer de manière plus approfondie chaque risque, c'est-à-dire la probabilité d'occurrence (grâce aux projections climatiques) et l'importance des conséquences (dommages physiques directs, répercussions sur l'exploitation des ouvrages, sur la continuité du service et sur les consommateurs, risques pour la santé et la sécurité des personnels et des riverains et pour l'environnement, conséquences financières pour l'exploitant et, éventuellement, le risque réputationnel). L'analyse des risques doit enfin tenir compte du degré de criticité du projet pour le système électrique pris dans son ensemble : les conséquences seront-elles limitées au projet (exemple : délestage local) ou auront-elles des répercussions sur l'ensemble du système (exemple : panne nationale) ?
4. *Définition des mesures d'adaptation* : ces mesures peuvent se traduire par des modifications de la conception des ouvrages. Par exemple, augmenter la taille du réservoir d'une installation hydroélectrique pour faire face à la variabilité accrue de l'hydrologie ou, encore, opter pour le refroidissement par air plutôt que par eau d'une centrale thermique exposée à un fort risque de sécheresse. Les mesures d'atténuation sont également immatérielles : par exemple, des plans d'urgence décrivant l'organisation de crise interne et les procédures associées, la communication vers les consommateurs et la population, les mesures de défense du système électrique et le plan de restauration – pour un retour à la normale une fois l'événement terminé. Pour chaque mesure proposée, il peut être utile de faire une analyse coût/bénéfice afin de justifier un éventuel surinvestissement. Par exemple, pour une sous-station qui se retrouve à risque d'inondation pendant des crues importantes, le coût correspond aux modifications de design telles que la surélévation de la sous-station ou la construction d'une digue de protection. Les bénéfices correspondent aux dommages que ces modifications permettent d'éviter ; ils peuvent être ici évalués à partir de la fréquence d'occurrence des crues et d'une évaluation chiffrée de leurs conséquences – en matière tant d'énergie non distribuée que de dégâts matériels et réparations.

Source: traduction et adaptation du guide *JASPERS Guidance Note: The Basics of Climate Change Adaptation Vulnerability and Risk Assessment* de juin 2017, disponible en ligne : <http://www.jaspersnetwork.org/plugins/servlet/documentRepository/download-Document?documentId=381>.

- La Banque mondiale propose un outil en ligne pour faire l'analyse initiale décrite à l'étape d'identification des vulnérabilités. À partir de données de base sur le projet fournies par l'utilisateur, l'outil prépare automatiquement une matrice d'identification des risques et met en évidence ceux qui devraient faire l'objet d'une analyse plus poussée. Cet outil est offert en anglais seulement (<https://climatescreeningtools.worldbank.org>).
- La Banque africaine de développement propose un système de sauvegarde contre les conséquences du changement climatique (CSS). Le CSS est un ensemble d'outils décisionnels et de guides pour choisir les projets dans les secteurs vulnérables aux risques du changement climatique et évaluer les mesures d'adaptation appropriées pour réduire cette vulnérabilité (https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Generic-Documents/CSS%20Basics-Fr_def.pdf).
- Pour les projets hydroélectriques, l'Association internationale de l'hydroélectricité (IHA) a rédigé un guide méthodologique très précis qui décrit toutes les particularités de ce type de projet. Il est déjà mis en pratique sur plusieurs projets hydroélectriques à travers le monde (étude de cas 2).

La disponibilité d'un système d'information énergétique (SIE) détaillé et actualisé facilite l'analyse de la vulnérabilité du secteur de l'énergie et du système électrique en particulier, en fournissant des connaissances sur les capacités installées, le type d'infrastructure, leur emplacement, les pays d'importation, les secteurs consommateurs (donc vulnérables), la diversité du secteur énergétique. Ces informations sont essentielles pour améliorer la résilience des infrastructures existantes et prendre des décisions éclairées pour les infrastructures futures (encadré 3). Des informations climatiques peuvent d'ailleurs être ajoutées aux données des SIE à cette fin.

Encadré 3. Les indicateurs de Traitement de l'information pour les politiques énergétiques et l'écodéveloppement (TIPEE)

HELIO international, avec l'appui notamment de l'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD), a mis en place une méthodologie d'évaluation des politiques énergétiques basée sur 24 indicateurs, dont plusieurs portent sur la vulnérabilité climatique du système énergétique, distinguant la vulnérabilité des approvisionnements centralisés (accent sur les risques d'inondation), celle des énergies renouvelables (accent sur les changements de potentiels et de variabilité de la ressource) et celle des systèmes de transmission et de distribution (accent sur les risques de destruction). L'existence d'information scientifique, de directives d'implantation tenant compte du climat et de mesures de gestion de crise et d'assurances est aussi prise en compte dans les indicateurs.

Appliquée au Mali, au Togo et au Bénin, cette analyse a montré combien la disponibilité de bois de feu est tributaire de la variabilité climatique. De plus, les centrales hydroélectriques – qui fournissent plus de la moitié de l'électricité consommée au Mali – sont fortement sensibles aux précipitations ; elles accusent souvent une baisse de 20 % de leur production les années de faibles précipitations. Quant au Bénin, il importe 90 % de l'électricité qu'il consomme ; une importante proportion de cette électricité provient de centrales hydroélectriques de pays voisins, ce qui entraîne une double vulnérabilité : face aux fluctuations des importations et face aux changements climatiques. Au Togo, 75 % de la capacité de génération thermique se situe dans des zones côtières, sujettes aux inondations.

Sources : http://helio-international.org/wp-content/uploads/2017/03/TIPEE_4-pager.pdf et <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2015/08/CDKN-HELIO-Inside-Story-Energy-Smart2.pdf> (version en français sur demande à info@enerisconsultants.com).

Qui est concerné par une telle démarche ?

Les défis liés au changement climatique concernent tous les acteurs du secteur de l'électricité, des producteurs aux consommateurs, des ministères et agences gouvernementales aux organisations de la société civile. Chaque acteur devrait, à son niveau, évaluer ses risques et établir sa propre démarche de résilience climatique. De plus en plus, les bailleurs de fonds demandent à disposer d'une analyse du risque climatique avant de financer une infrastructure.

Quand et à quel niveau la mettre en œuvre ?

Les conséquences du changement climatique se font déjà sentir. Il est donc urgent d'intégrer systématiquement une démarche d'analyse du risque climatique à tous les niveaux.

- **Politique et stratégie sectorielle** : les objectifs de résilience climatique devraient être clairement établis, avec une identification

des acteurs responsables et des moyens (techniques, matériels, financiers) disponibles pour mener des actions.

- **Planification du système électrique (plans directeurs)** : prise en compte des vulnérabilités du système, priorité donnée aux infrastructures qui accroissent la résilience d'ensemble.
- **Développement de projets, études de concept ou de préféabilité** : analyse de risque selon une méthodologie reconnue et modification de la conception des ouvrages.
- **Infrastructures existantes** : analyse des vulnérabilités sur la base de l'historique des événements climatiques récents et définition de mesures d'adaptation.

Quelles expertises mobiliser ?

L'analyse initiale, telle que l'étape 1 de la méthodologie décrite à l'encadré 2, peut être confiée à des experts, mais elle peut également être menée à l'interne sans recourir à une expertise climatique pointue. En effet, des guides méthodologiques sont disponibles en ligne gratuitement, de même que des données climatiques de base

(voir ci-dessous). Lorsque c'est possible, il est recommandé de s'appuyer également sur le retour d'expérience des exploitants quant aux perturbations engendrées par des événements climatiques récents – par exemple, en organisant un atelier de partage d'expérience sur le sujet. On peut ainsi se faire rapidement et à faible coût une première idée de la vulnérabilité d'un projet d'infrastructure ou du système dans son ensemble. Cette identification initiale permet de déterminer si un travail plus approfondi est nécessaire – et, le cas échéant, de mobiliser les financements nécessaires pour la poursuite de l'étude.

L'analyse détaillée des risques climatiques, la conception de mesures d'atténuation et l'évaluation chiffrée des coûts et des bénéfices, correspondant aux étapes 2 et 3 de la méthodologie de l'encadré 2, nécessitent une expertise pointue à la fois en ingénierie et en modélisation climatique. Ces analyses, plus longues et plus coûteuses que l'analyse initiale, doivent être confiées à des bureaux spécialisés. Les grands bureaux d'étude internationaux ont développé au cours des dernières années les compétences nécessaires pour réaliser ce type d'étude.

Quelles données climatiques sont nécessaires ?

L'analyse initiale peut s'appuyer sur des données de base disponibles gratuitement en ligne. Le portail pour la connaissance du changement climatique (Climate Change Knowledge Portal) de la Banque mondiale permet d'avoir accès facilement aux données climatiques historiques ainsi qu'aux projections issues de différents modèles climatiques. Les données sont consultables par pays ou par bassin versant. Le portail offre également quelques éléments d'analyse des impacts du changement climatique pour les secteurs de l'énergie, de l'eau, de l'agriculture et de la santé.

L'analyse approfondie requiert en général des données climatiques plus détaillées, qui peuvent être issues de la combinaison d'informations sur le climat passé et actuel provenant directement de stations de mesures à proximité du site du projet, avec des méthodes particulières de modélisation et de projection. Il est alors nécessaire de se tourner vers des bureaux spécialisés.

Conclusion

Le changement climatique a de multiples incidences sur le système électrique pouvant se mesurer en milliards de dollars de dégâts et en interruptions de service coûteuses pour l'économie et la société en général. Face au risque climatique, la solution est d'abord d'adapter l'infrastructure et de modifier les critères de conception. Mais la résilience se construit aussi de manière immatérielle : revoir les normes et les standards de conception et les critères de planification, intégrer l'expertise climatique à la planification du système et à la programmation de l'exploitation, préparer des procédures d'urgence, réaliser une surveillance des événements climatiques et de leurs impacts.

Certains arguent que les changements climatiques représentent une telle incertitude qu'il est impossible de s'y préparer. Malgré cette incertitude, il est possible d'agir. Des méthodologies solides et

rigoureuses existent. Des projections climatiques sont disponibles gratuitement en ligne. Chaque acteur du secteur électrique peut donc commencer dès maintenant, à son niveau, à déterminer ses vulnérabilités et à augmenter sa résilience.

Références

Outils et bases de données

- Banque mondiale. Outils d'analyse des risques climatiques (en anglais seulement) <https://climatescreeningtools.worldbank.org>.
- Infrastructure Canada. Lignes directrices générales de l'évaluation de la résilience aux changements climatiques (en français) <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html#3>.
- International Hydropower Association. Guide méthodologique pour la résilience du secteur hydroélectrique : <https://www.hydro-power.org/climateresilienceguide> (en anglais seulement)
- JASPERS. Guide méthodologique. *The Basics of Climate Change Adaptation Vulnerability and Risk Assessment* (en anglais seulement) : <http://www.jaspersnetwork.org/plugins/servlet/documentRepository/downloadDocument?documentId=381>.
- Méthodologie « Traitement de l'information pour des politiques énergétiques favorisant l'écodéveloppement » (TIPEE) (en français) https://www.ifdd.francophonie.org/media/docs/publications/465_Polen_ecodev_PDR19_web.pdf.

Ouvrages

- Agence internationale de l'énergie. 2015. *Making the energy sector more resilient to climate change*. Paris. <https://webstore.iea.org/making-the-energy-sector-more-resilient-to-climate-change> (en anglais seulement).
- Banque mondiale. *Accélérer un développement résilient au changement climatique et à faibles émissions de carbone : Business plan pour le climat en Afrique*. <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Africa/africa-climate-business-plan-french.pdf>.
- Braun, M., et E. Fournier. 2016. Études de cas d'adaptation dans le secteur de l'énergie : surmonter les obstacles à l'adaptation. Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 114 p. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-EtudeDeCas-FR.pdf>.
- Ebinger, J., et W. Vergara. 2011. *Climate Impacts on Energy Systems : Key Issues for Energy Sector Adaptation*. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/2271> (en anglais seulement).
- Groupe de la Banque africaine de développement. 2019. *Système de sauvegarde contre les conséquences du changement climatique : identification des risques climatiques et procédures de revue et d'évaluation des mesures d'adaptation (AREP)*. Livret.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2014. Changements climatiques : incidences, adaptation et vulnérabilité. *Résumé en français*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_fr-1.pdf.
- Blogue. Réseaux électriques et changement climatique : une menace inévitable. <https://energie-developpement.blogspot.com/2019/08/reseau-electrique-risque-changement-climatique.html>.

Étude de cas 1. Évaluation préliminaire du risque climatique pour le système électrique du Burkina Faso

Description

De mars à septembre 2019, CPCS a accompagné le gouvernement burkinabè dans la préparation d'une feuille de route 2020-2035 pour le secteur électrique. Cette feuille de route s'inscrit dans le cadre plus vaste du programme « Compact » du Millenium Challenge Corporation (MCC, financé par le gouvernement des États-Unis) pour le Burkina Faso. La notion de durabilité étant un élément fondamental de la stratégie Énergie du gouvernement burkinabè, il s'est avéré nécessaire d'inclure la résilience climatique dans la feuille de route. Aussi, CPCS et son partenaire Callendar ont entrepris l'identification préliminaire des vulnérabilités burkinabè face au changement climatique en vue de proposer des solutions.

Stratégie de mise en œuvre

L'analyse a procédé en deux temps. D'abord, la projection des évolutions probables du climat (température, précipitations, vitesse maximale du vent) à l'horizon 2020-2050, sur la base d'un échantillon de sept modèles climatiques issus de l'expérience Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX); à noter que la résolution spatiale des données CORDEX sur la zone Afrique est de 0,44° (soit environ 50 km). Puis, l'identification des risques particuliers que ces évolutions font courir au système électrique. Pour chaque risque, des mesures ont été recommandées. Les recommandations issues de l'analyse figurent maintenant dans le Plan d'action pour la mise en œuvre de la feuille de route 2020-2035. Après une première validation par les parties prenantes du secteur électrique burkinabè, ces documents sont en cours d'approbation officielle par les autorités.

Résultats

Impacts de la hausse des températures sur le système électrique

D'ici 2050, la température moyenne connaîtra une augmentation qui pourrait être comprise entre +1,5 et +1,7°C. Cette hausse sera encore plus marquée en saison chaude : jusqu'à +2,2°C.

Les conséquences les plus importantes pour le système électrique burkinabè sont les suivantes :

- Perte d'efficacité des centrales thermiques, refroidies par air, engendrant une augmentation de la consommation de combustibles pour produire la même quantité d'électricité. Les centrales thermiques représentent aujourd'hui plus des quatre cinquièmes de la production d'électricité du pays.
- Perte d'efficacité des panneaux solaires. La capacité solaire photovoltaïque du Burkina Faso est de 35 MW et l'énergie solaire est encore marginale dans le mélange de production. Mais plusieurs projets sont en développement et, à terme, le pays compte déployer plusieurs centaines de mégawatts d'énergie solaire photovoltaïque.

Combinées, ces baisses de rendement sur le thermique et sur le photovoltaïque auront pour effet de renchérir marginalement le coût moyen du kilowattheure. En outre, la survenue simultanée d'une hausse des consommations, liée à l'utilisation croissante des climatiseurs, et d'une baisse de la capacité disponible, thermique et photovoltaïque, rendra plus probable l'apparition de forts déséquilibres entre l'offre et la demande.

Évolution des précipitations et impacts sur le système électrique

Les modèles indiquent que les précipitations pourraient en moyenne rester stables. Mais l'évaporation augmentera avec le réchauffement, affectant la disponibilité de l'eau. Cet effet devrait toutefois rester marginal sur le mélange burkinabè : l'hydroélectricité représente 10 % de la production et, à terme, avec l'arrivée du solaire, la part de l'hydroélectricité devrait plutôt décroître.

Cependant, le Burkina Faso est fortement dépendant des importations depuis les pays voisins : 30 % de l'énergie consommée au Burkina Faso vient de la Côte d'Ivoire. Ce pays a donc été inclus dans l'analyse. Les modèles climatiques vont dans le sens d'une augmentation des précipitations en Côte d'Ivoire, mais avec une saisonnalité plus marquée : une saison sèche plus sèche et plus précoce, une saison humide plus humide. Cette saisonnalité pourrait poser problème : en saison sèche, ce sont les installations au fil de l'eau qui voient leur production baisser ; en saison humide, le risque de crues plus importantes peut entraîner des dommages aux installations. Dans les deux cas, la production est réduite.

Conclusion

Cette analyse préliminaire avait pour objet de décrire les principaux risques et de sensibiliser les décideurs à la problématique. En effet, bien qu'elle ait été soulignée dans le Plan national d'adaptation aux changements climatiques (PNA), la vulnérabilité climatique du système électrique n'était pour l'instant pas prise en compte dans les documents de politique et de planification du secteur électrique. Au terme de cette analyse préliminaire, la feuille de route 2020-2035 pour le secteur électrique recommande à présent de procéder à une étude plus poussée, de faire un retour d'expérience sur les événements climatiques récents et de définir des mesures d'adaptation. Ce travail pourrait être financé dans le cadre du programme « Compact » du Millenium Challenge Corporation (MCC) au Burkina Faso.

Références

Rapport final de l'étude « Burkina Faso – Feuille de route électricité », 2019 (contacter l'auteur de la fiche).

Étude de cas 2. Évaluation du risque climatique par « stress test » pour un projet hydroélectrique à Madagascar

Cette étude de cas est publiée avec l'aimable autorisation de la Nouvelle Société hydroélectrique de l'Onive (NEHO).

Description

Le projet de centrale hydroélectrique « Sahofika » est situé sur la rivière Onive à Madagascar. D'une puissance prévue de 192 MW pour un débit d'équipement de 34 m³/s, le projet comporte également une retenue d'eau dont la capacité est équivalente à deux mois de production à pleine puissance. Le projet est développé par un partenaire privé, NEHO, en vue de vendre

l'électricité produite à Jirama, la société nationale d'eau et d'électricité. Il s'agit d'un montage de type « producteur indépendant d'électricité ». Le démarrage des travaux est prévu pour 2020.

Stratégie de mise en œuvre

Comme pour tout ouvrage de ce type, une étude de l'hydrologie a été réalisée lors des études de faisabilité (2017-2018). Basée sur des données de débits et de pluviométrie couvrant plusieurs décennies, cette étude reflétait

l'hydrologie passée. Pour simuler les conséquences que le changement climatique pourrait avoir à l'avenir, une analyse de sensibilité avait été menée, considérant une diminution uniforme des débits journaliers de 10 % et une diminution des débits journaliers de saison sèche de 25 %. L'effet sur le productible a été estimé à une baisse de 1 % à 5 % de la production d'énergie annuelle. Au terme de l'étude de faisabilité, le risque climatique avait donc été considéré comme faible.

Cependant, cette première analyse présentait des limitations : les scénarios n'étaient pas justifiés par des projections climatiques et seules les conséquences sur la production d'énergie avaient été considérées. Le dialogue avec les différents partenaires du projet (investisseurs privés, banques de développement, partenaires publics) a fait ressortir des préoccupations au sujet du risque climatique. Aussi, au printemps 2019, le promoteur du projet a lancé une étude approfondie basée sur la méthodologie de l'Association internationale de l'hydroélectricité (IHA), qui a publié, en 2019, un guide méthodologique spécialement pour les projets hydroélectriques. La méthodologie s'appuie sur la notion de test de résistance (*stress test*), c'est-à-dire la simulation du comportement de l'installation dans différents scénarios climatiques possibles. Elle permet de déterminer les paramètres climatiques limites au-delà desquels l'installation n'est plus en mesure de résister. Elle est particulièrement bien adaptée pour gérer l'incertitude qui entoure les projections climatiques. L'étude a été entièrement financée par le partenaire privé et réalisée par Tractebel sous la supervision des différentes parties prenantes, notamment CPCS en tant que conseil de l'État et Mott MacDonald en tant que conseil des banques de développement.

Résultats

Construction de scénarios

Après une phase initiale d'identification et analyse des risques, l'étude a réalisé la simulation du comportement de l'installation sous différents scénarios climatiques (tests de résistance, plus connus sous l'appellation *stress tests*) ; 35 scénarios climatiques classés de « peu plausible » à « très plausible » ont été utilisés. Les variables suivantes ont été utilisées :

- Température annuelle moyenne : évolution de +1 °C, +2 °C, +3 °C, +4 °C
- Précipitations annuelles moyennes : de -30 % à +30 %
- Variabilité intra-annuelle : de -20 % à +30 %
- Variabilité interannuelle : de -40 % à +100 %

Impacts sur le productible et sur les crues

Pour la période 2020-2049, les scénarios climatiques « très plausibles » se traduisent par une baisse du productible de 1 % à 3 %. Les scénarios moins plausibles entraînent une baisse jusqu'à 9 %. Le projet est sensible surtout à une diminution des précipitations, mais relativement résilient aux évolutions des autres paramètres (température, variabilité inter- et intra-annuelle).

L'augmentation des températures augmente en revanche la probabilité de précipitations exceptionnelles, se traduisant par un risque de crues supplémentaire de 7 % à 21 %. La capacité de l'installation à résister à ces crues est essentielle, elle est en cours d'analyse approfondie. Les mesures d'adaptation pourraient inclure une augmentation de la capacité de l'évacuateur de crue ou un rehaussement d'une des composantes du barrage.

Conclusion

Du fait de sa configuration favorable et de choix de conception plutôt conservateurs, le projet paraît assez résilient au risque climatique. Des mesures d'adaptation seront définies pour accroître la résistance de l'ouvrage face aux crues exceptionnelles.

Nota : L'étude du risque climatique est toujours en phase de validation et sa version finale est attendue en début d'année 2020.

Références

Rapports de l'étude « Sahofika Hydropower Project : Climate Risk Assessment », Tractebel, 2019. (contacter l'auteur de la fiche).

International Hydropower Association. Guide méthodologique pour la résilience du secteur hydroélectrique. <https://www.hydropower.org/climateresilience-guide> (en anglais seulement).

Les fiches techniques PRISME (Programme international de soutien à la maîtrise de l'énergie) sont publiées par l'IFDD. Cette fiche a été réalisée avec l'appui technique de CPCS, Canada.

Auteure :

Clara Kayser-Bril, Directrice adjointe, Power Unit, CPCS, ckayserbril@cpcs.ca

Directeur de la publication :

Jean-Pierre Ndoutoum, Directeur, IFDD

Comité éditorial :

Mamadou Kone, Spécialiste de programme, IFDD
Ibrahima Dabo, Spécialiste de programme, IFDD
Boufeldja Benabdallah, Spécialiste de programme a.i., IFDD

Appui à l'édition et à la diffusion :

Louis-Noël Jail, Chargé de communication, IFDD
Marilyne Laurendeau, Assistante de communication, IFDD

Supervision technique :

Maryse Labriet, Eneris Consultants, info@enerisconsultants.com

Édition et réalisation graphique :

Perfection Design inc.

Clara Kayser-Bril est ingénieure et a plus de quinze années d'expérience dans le développement des infrastructures électriques à travers le monde. En tant que consultante auprès des acteurs publics du secteur, elle intervient sur l'élaboration de politiques et de stratégies sectorielles ainsi que sur la préparation de programmes et de projets d'investissement. Elle est responsable de la thématique « Énergie durable » chez CPCS.

Décembre 2019



L'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD) est un organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF). Il est né en 1988 de la volonté des chefs d'État et de gouvernement des pays francophones de conduire une action concertée visant le développement du secteur de l'énergie dans les pays membres. En 1996, cette action a été élargie à l'environnement. Basé à Québec (Canada), l'Institut a aujourd'hui pour mission, notamment, de :

- contribuer au renforcement des capacités nationales et au développement de partenariats dans les domaines de l'énergie et de l'environnement,
- promouvoir l'approche développement durable dans l'espace francophone.

Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)
56, rue Saint-Pierre, 3^e étage
Québec (Québec), Canada G1K 4A1
Téléphone: +1 418 692-5727
Télécopie: +1 418 692-5644
Courriel: ifdd@francophonie.org
Site Internet: www.ifdd.francophonie.org



CPCS est une société de conseil en gestion spécialisée dans les secteurs de l'énergie, des transports, et des PPP. CPCS assiste les acteurs publics dans la planification, la construction et l'exploitation des infrastructures de manière à optimiser les ressources tout en améliorant les services à la population. Fort de sa vaste expérience des partenariats public-privé, CPCS développe des stratégies et des projets qui répondent aux objectifs publics tout en offrant aux investisseurs des opportunités bancaibles. Dans les économies émergentes comme dans les économies développées, CPCS a fourni des conseils objectifs et réalistes pour améliorer l'efficacité et la compétitivité des systèmes électriques.

CPCS
Suite 200, 979 Bank Street
Ottawa (Ontario)
Canada K1S 5K5
Téléphone: +1 (613) 237 2500
Courriel: ottawa@cpcs.ca
Site Internet: www.cpcs.ca

Imprimé sur papier contenant 100 % de fibres recyclées postconsommation.

