

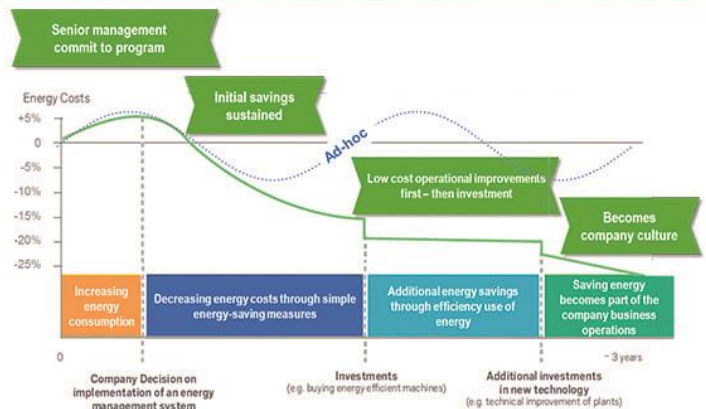
Direction Stratégie Et Systèmes

# Bulletin de Veille Technologique

émise par La Société Algérienne de  
Production de l'Electricité



**Structured Energy Management**



Source: Kahleborn et al. (2012), based on Lackner & Hübner (2007)

**Vol 2020 - N° 02 : Février 2020**

[www.spe.dz](http://www.spe.dz)

## Table des Matières

<b>GE accomplis le premier démarrage “black start” d'une turbine à gaz “heavy duty” assisté par batterie</b> .....	3
<b>Engineering Group: Les turbines à gaz américaines resteront pertinentes mais devront être améliorées</b> .....	3
Domaines de recherche susceptibles de changer la trajectoire des turbines à gaz .....	5
turbines à gaz : Les États-Unis est en retard dans les investissements R&D .....	5
<b>Ansaldo Energia s'associe à son concurrent ABB pour un contrat de systèmes électriques</b> .....	6
<b>L'Algérie vise 16 GW de capacités renouvelables d'ici 2035</b> .....	6
<b>Combien coûtera l'énergie à base d'hydrogène ?</b> .....	7
<b>Comment les services publics peuvent mieux gérer et maintenir la qualité de leurs ressources de données</b> .....	10
<b>Lancement du premier réacteur des Émirats arabes unis</b> .....	12
La centrale comprendra quatre réacteurs .....	12
Une région prête pour le développement nucléaire .....	12
<b>SIEMENS GAS &amp; POWER parie sur l'innovation</b> .....	13
<b>'OIL &amp; GAS' : Essais, inspection et mise en service des turbines à gaz</b> .....	14
<b>Utilisation du 'Self-Service-Analytics' pour améliorer l'efficacité des centrales électriques</b> .....	16
Gestion de l'énergie 4.0 .....	17
Amélioration de l'efficacité globale de l'équipement.....	17
Analyser, surveiller et prévoir la consommation WAGES .....	18
Cas pratiques d'utilisation .....	18
<b>Calendrier des événements</b> .....	20
ELECTRIC POWER Conférence et Exhibition .....	20
Powergen Africa .....	20
<b>Références</b> .....	20

## GE accomplis le premier démarrage "black start" d'une turbine à gaz "heavy duty" assisté par batterie



**Pour la première fois, GE a utilisé le stockage d'énergie pour démarrer en "Black Start" l'une de ses turbines à gaz de grande puissance.**

GE a annoncé mercredi avoir réalisé le "Black Start" assisté par batterie d'une turbine à gaz GE 7F.03 au niveau de l'unité à cycle simple de 150 MW située à la centrale électrique de Perryville à Entergy en Louisiane.

La centrale électrique de Perryville est prise en charge par le système de stockage d'énergie sur batterie de 7,4 MW de GE couplé à la turbine à gaz du site.

« La technologie "Black Start" prouve que les sources de production d'énergie intégrées aux systèmes de stockage d'énergie par batterie sont une bonne méthode pour soutenir efficacement le réseau », a déclaré Prakash Chandra, PDG de Renewable Hybrids, GE Renewable Energy.

Un "Black Start" consiste à redémarrer une centrale électrique à l'arrêt sans prise en charge par le réseau en cas de perturbation majeure du système ou de panne de système. En règle générale, les centrales électriques utilisent des petits générateurs diesel pour redémarrer les systèmes. Cependant, GE a réalisé le "Black Start" d'une turbine à gaz GE à usage intensif en utilisant uniquement le stockage d'énergie.

Aujourd'hui, la centrale électrique de Perryville est prise en charge par le système de stockage d'énergie sur batterie de 7,4 MW de GE associé à la turbine à gaz à cycle simple de la centrale. L'usine de Perryville a été mise en service en 2001.

« Il s'agit d'une utilisation innovante de la technologie des batteries qui fournit un autre outil pour renforcer la

fiabilité et la résilience globales de notre système », a déclaré Phillip May, PDG d'Entergy Louisiana.

## Engineering Group: Les turbines à gaz américaines resteront pertinentes mais devront être améliorées

Compte tenu des tendances actuelles, l'industrie américaine des turbines à gaz est appelée à jouer un rôle extrêmement important dans la production d'électricité, la propulsion des avions et l'industrie pétrolière et gazière "pour les décennies à venir", mais elle pourrait bénéficier de la recherche et du développement (R&D) et leadership technologique, conclut un nouveau rapport des Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine.

La publication, 'Advanced Technologies for Gas Turbines', publiée plus tôt ce mois-ci, découle d'une demande du Département américain de l'énergie (DOE) que les National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine - une institution privée à but non lucratif qui fournit des conseils d'experts au gouvernement sur les défis pressants - forme un comité ad hoc pour identifier les opportunités hautement prioritaires qui pourraient créer et améliorer les technologies avancées dans la conception et la fabrication des turbines à gaz pour améliorer leur efficacité et les coûts du cycle de vie.

Le comité de tous les ingénieurs de 14 membres réuni par le Conseil des académies nationales de l'aéronautique et du génie spatial, qui fait partie de sa division du génie et des sciences physiques, s'est réuni quatre fois en 2018 et 2019. Il comprenait des professeurs de grandes écoles d'ingénieurs à travers le pays, ainsi que des professionnels du secteur d'entreprises telles que Pratt & Whitney, GE, Siemens, Solar Turbines et Bechtel.

Chargé d'identifier les améliorations qui pourraient être réalisées d'ici 2030, le comité a évalué le paysage mondial actuel et futur des turbines à gaz, examinant le leadership mondial, les tendances du marché et les tendances technologiques qui auraient une incidence sur les applications des turbines à gaz afin d'identifier des objectifs de recherche spécifiques. Il a également élaboré un processus de priorisation ainsi que des domaines de recherche hautement prioritaires qui étaient les plus pertinents pour atteindre ses objectifs.

Dans le cadre de son évaluation, le comité a également cherché à répondre à des questions clés sur les futurs clients de turbines à gaz, ce qui est particulièrement important pour l'industrie électrique car il continue de

faire face à une série de perturbations. Dans son rapport, le comité a conclu que les moteurs du marché mondial suggérant de fortes opportunités de croissance pour les turbines à gaz comprennent l'expansion démographique; un besoin important de sécurité énergétique et de résilience; un mouvement vers la décarbonisation (entraîné par les politiques et les normes climatiques ainsi que par les objectifs de l'entreprise) qui pourrait stimuler l'adoption plus généralisée des énergies renouvelables, du stockage et des véhicules électriques; et des profils de la concurrence et des clients.

Entre-temps, parmi les principales tendances qui ont permis de définir l'environnement technologique dans lequel la recherche et le développement des turbines à gaz pourraient prospérer, citons : les capacités de calcul à grande échelle et peu coûteuses; systèmes hautement autonomes; la fabrication additive; intelligence artificielle; et la cybersécurité.

### Objectifs de recherche prioritaires

En évaluant ces facteurs, le comité a déterminé que pour améliorer efficacement et créer des technologies avancées pouvant être rapidement introduites dans la conception et la fabrication des turbines à gaz, le DOE (et d'autres agences gouvernementales), l'industrie et le monde universitaire devraient prioriser les objectifs de recherche. En utilisant l'amélioration des performances, le risque technique et l'étendue de l'application comme critères clés, il a classé les objectifs pour le secteur de l'énergie comme suit :

**Gains d'efficacité.** Augmentation de l'efficacité des turbines à gaz à cycle combiné (TGCC) à 70% et de l'efficacité des cycles simples à plus de 50%. Le rapport note que ces gains peuvent être obtenus par "un rapport de pression de cycle plus élevé et une température d'entrée de turbine plus élevée", et que la température d'entrée de turbine est peut-être le paramètre de conception le plus important pour l'amélioration de l'efficacité. Les coûts du cycle de vie, quant à eux, peuvent recevoir un coup de pouce grâce aux progrès technologiques, comme dans la fabrication additive et le prototypage rapide. Il note également que : "Des modifications de la configuration sous-jacente de la turbine peuvent être nécessaires. Le développement, les tests et la validation peuvent être rythmés par la capacité de concevoir et de fabriquer le matériel nécessaire. Les solutions peuvent nécessiter de nouveaux matériaux, qui ont toujours nécessité des délais de développement plus longs".

**Compatibilité avec les sources d'énergie renouvelables.** Réduire les temps de démarrage des turbines et améliorer la capacité des turbines à gaz fonctionnant en cycles simples et combinés à fonctionner à haut rendement tout en répondant aux demandes de puissance flexibles et aux autres exigences associées à l'intégration des turbines de production d'électricité avec des sources d'énergie renouvelables et des systèmes de stockage d'énergie. Le rapport note, en particulier, que les turbines à gaz produisant de l'électricité "devront accélérer plus rapidement et surchauffer [fonctionner à une température plus élevée que prévu] plus fréquemment. De plus, les modes de fonctionnement qui n'avaient pas été envisagés dans le passé seront de plus en plus importants. Par exemple, certaines turbines à gaz devront probablement fonctionner dans des centrales électriques hybrides, où elles devront fonctionner de manière symbiotique avec la production d'énergie solaire et les piles à combustible".

**Réduire les émissions de CO<sub>2</sub>.** Réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à "aussi près de zéro que possible" tout en respectant les normes d'émission d'azote (NO<sub>x</sub>). Les fabricants de turbines à gaz sont confrontés à un défi majeur : "Les nouvelles conceptions de turbines à gaz qui réduisent le CO<sub>2</sub> ne seront toutefois pas compétitives si elles entraînent une baisse des performances ou si elles empêchent les turbines à gaz de respecter les normes de NO<sub>x</sub> et d'autres émissions nocives", dit le rapport.

**Accroître la flexibilité du carburant.** Permettre aux turbines à gaz pour la production d'électricité de fonctionner avec des mélanges de gaz naturel contenant de fortes proportions (jusqu'à 100%) d'hydrogène et d'autres combustibles gazeux renouvelables de diverses compositions. Cependant, le rapport note que si plusieurs fabricants de turbines à gaz développent actuellement des turbines capables de brûler 100% d'hydrogène, l'augmentation du volume d'hydrogène pose plusieurs défis qui pourraient "être les plus difficiles à surmonter".

**Coût nivelé de l'électricité.** Permettre des réductions du coût nivelé de l'électricité provenant des turbines à gaz de production d'électricité afin de garantir que ces coûts restent compétitifs avec le coût des systèmes solaires et éoliens à long terme. Bien que le LCOE (Levelized Cost of Electricity) soit un paramètre problématique dans la comparaison des coûts technologiques, il devient "un critère clé pour déterminer si une entreprise de services publics décide d'acquérir et

d'exploiter une turbine à gaz”, indique le rapport. “Il est probable que les ventes de turbines à gaz seront affectées négativement une fois que le coût des énergies renouvelables réduira systématiquement le coût des turbines à gaz. Deux évaluations récentes prévoient que cela pourrait se produire dans la période 2020-2024”.

### Domaines de recherche susceptibles de changer la trajectoire des turbines à gaz

Parmi les domaines de recherche hautement prioritaires pour les turbines à gaz de production d'électricité, le comité a identifié :

**1. Combustion.** Le comité a exhorté les intervenants à améliorer les “connaissances fondamentales” nécessaires aux systèmes de combustion à faibles émissions qui : (1) peuvent fonctionner dans des environnements à haute pression et à haute température qui seront nécessaires pour les cycles à haut rendement, y compris les systèmes de combustion à pression constante et à gain de pression ; et (2) ont des caractéristiques opérationnelles qui ne limitent pas la réponse transitoire ou le ralentissement de la turbine à gaz (c'est-à-dire la capacité de fonctionner de manière acceptable sur une gamme de réglages de puissance), avec des performances acceptables sur une gamme de compositions de carburant.

**2. Matériaux structurels et revêtements.** Développer : (1) la technologie requise pour produire des composites à matrice céramique (CMC); (2) modèles informatiques avancés; et (3) technologies avancées de matériaux et composants métalliques qui amélioreraient l'efficacité des turbines à gaz et réduiraient leur temps de développement et leurs coûts de cycle de vie.

**3. Fabrication additive pour turbines à gaz.** Intégrez des définitions basées sur un modèle des matériaux de turbine à gaz (ceux déjà utilisés ainsi que des matériaux avancés en cours de développement), des processus de matériaux et des machines de fabrication avec des outils de conception et des équipements d'atelier pour accélérer la conception et augmenter le rendement des composants tout en réduisant la variabilité des performances.

**4. Gestion thermique.** Développer des stratégies de refroidissement avancées qui peuvent être incorporées rapidement et à peu de frais dans les turbines à gaz et permettre des températures d'entrée de turbine plus élevées, des rapports de pression de cycle accrus et des débits de refroidissement de la chambre de combustion

et de la turbine plus faibles, ce qui augmente l'efficacité du cycle thermodynamique tout en répondant aux exigences de durée de vie des turbines à gaz.

**5. Simulations intégrées et expériences de validation à haute fidélité.** Développer et valider des simulations prédictives de calcul à haute fidélité basées sur la physique qui permettent une analyse technique détaillée au début du processus de conception, y compris l'exploration virtuelle des interactions des modules de turbine à gaz et des conditions de fonctionnement hors conception.

**6. Cycles thermodynamiques non conventionnels.** Étudier et développer des cycles thermodynamiques non conventionnels pour les turbines à gaz à cycle simple et combiné afin d'améliorer l'efficacité thermique, tout en veillant à ce que les compromis avec d'autres éléments de la performance des turbines à gaz, tels que le coût du cycle de vie, soient acceptables.

**7. Intégration du système.** Améliorer, modifier et/ou étendre l'architecture de turbine à gaz conventionnelle (c.-à-d. un module de compresseur, un module de chambre de combustion et un module de turbine sur un arbre commun dans le sens du flux de gaz) pour permettre le développement de turbines à gaz avec des performances plus élevées et/ou une plus grande largeur d'application.

**8. Opérations et maintenance conditionnelles.** Développer des technologies qui amélioreront le fonctionnement des turbines à gaz en réduisant la quantité de maintenance planifiée et non planifiée, réduisant ainsi les arrêts non planifiés.

**9. Jumeaux numériques et leur infrastructure de support.** Développer la capacité de générer des jumeaux numériques améliorés et une infrastructure de fils numériques qui les prend en charge.

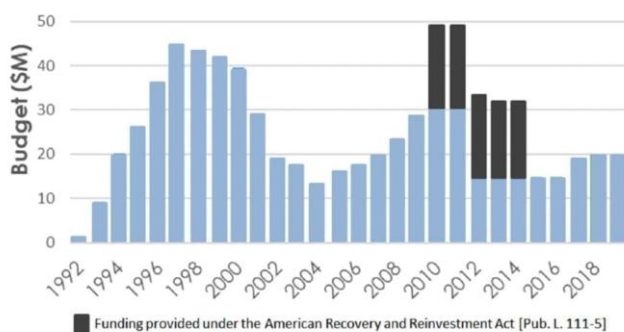
**10. Turbines à gaz dans les applications de pipelines.** Examiner : (1) les possibilités d'améliorer l'efficacité des turbines à gaz dans les applications de pipelines exposées à de longues périodes de fonctionnement à charge partielle et ; (2) les implications pour la sécurité des turbines à gaz avec un pourcentage substantiel d'hydrogène dans le carburant.

### turbines à gaz : Les États-Unis est en retard dans les investissements R&D

Il convient de noter en particulier les observations intéressantes du rapport sur l'état de la R&D aux États-

Unis sur les turbines à gaz. Parce que leurs caractéristiques techniques offrent "un potentiel de croissance économique et technologique important", les pays du monde entier investissent massivement dans la R&D sur les turbines à gaz, comme les programmes Clean Sky 1 et 2 de l'Union européenne (UE), qui ont été lancés en 2008 et 2014. En 2016, la Chine a également lancé son groupe moteur aérodynamique (Aero-Engine) contrôlé par l'État, qui est soutenu par 7,5 milliards de dollars de capitaux pour développer des moteurs militaires et commerciaux, et depuis elle a lancé un programme national de développement des turbines à gaz à usage intensif pour soutenir ses efforts d'électrification et de décarbonisation .

Aux États-Unis, le rapport souligne que la recherche du DOE est limitée par un budget d'environ 15 à 20 millions de dollars par an depuis 2015. La demande de budget du DOE pour l'exercice 2021 publiée lundi, par exemple, remonte énormément sur son Programme des technologies du gaz naturel (réduction du financement de 51 millions de dollars demandé l'an dernier à 15 millions de dollars).



Le rapport exhorte à poursuivre les investissements dans la R&D sur les turbines à gaz, mais il appelle également à un "leadership technologique", notant que les États-Unis sont le principal exportateur de turbines à gaz avec une valeur d'exportation de 32 milliards de dollars en 2017. Les turbines à gaz représentent un marché mondial de 90 milliards de dollars, dit le rapport.

—Sonal Patel est un éditeur associé senior de POWER.

## Ansaldo Energia s'associe à son concurrent ABB pour un contrat de systèmes électriques

Le Groupement Temporaire de Concurrents formé par Ansaldo Energia et ABB a remporté une commande de Terna, d'un montant total de plus de 70 millions d'euros, suite à un appel d'offres européen.

L'étendue des fournitures pour Ansaldo Energia, qui dirige l'Association temporaire des entreprises, comprend la conception, la fourniture, la mise en service et la maintenance de trois condenseurs synchrones, de 250 MVAR chacun, pour une installation au centre et au sud de l'Italie, ainsi que des options pour deux condenseurs à être exercées au plus tard 36 mois à compter de la date de la commande.

L'installation des trois unités couvertes par des commandes fermes sera achevée en 2022.

Les condenseurs synchrones sont des applications spéciales de générateur électrique qui, lorsqu'ils sont connectés au réseau de transport de Terna, échangent de l'énergie réactive avec le réseau et augmentent la puissance de court-circuit. Ils contribuent également à l'inertie du réseau électrique, en augmentant la stabilité. Ceci est particulièrement important dans un réseau avec de nombreuses centrales de production qui utilisent des sources renouvelables, qui sont intrinsèquement discontinues et caractérisées par une inertie faible ou nulle. Les dernières fournitures concernent les condenseurs synchrones équipés du "système de volant", conçus et mis en œuvre à l'aide de solutions innovantes développées par Ansaldo Energia, qui augmentent l'inertie globale du système rotatif tout en minimisant les pertes mécaniques car il est contenu à l'intérieur d'une chambre à vide.

Pour cet appel d'offres, Ansaldo Energia a choisi comme partenaire ABB, un leader mondial des technologies pionnières utilisées pour mettre en œuvre des réseaux électriques plus intelligents, robustes et durables. ABB fournira, installera et mettra en service le système qui connecte les condenseurs synchrones au réseau, y compris les systèmes de protection et de contrôle et les solutions de surveillance et de diagnostic.

Le contrat prévoit également la maintenance et l'assistance des deux usines pendant vingt ans.

## L'Algérie vise 16 GW de capacités renouvelables d'ici 2035

Le gouvernement algérien vise à atteindre 4 GW de capacité d'énergie renouvelable d'ici 2024 et 16 GW d'ici 2035. L'objectif précédent était d'atteindre 22 GW de capacité solaire d'ici 2030. Le pays manque actuellement d'approvisionnement en électricité et en gaz dans certaines régions et le développement des centrales solaires devraient garantir des coûts en énergie moins

chers. Le recours à l'énergie solaire permettrait à l'Algérie de répondre à la demande croissante d'électricité et d'économiser 240 milliards de m<sup>3</sup> de gaz à l'exportation. Augmenter ou maintenir le niveau des exportations de gaz et de pétrole afin qu'elles soient moins utilisées à des fins de production d'électricité est une priorité absolue pour le pays.

En outre, le gouvernement espère développer l'industrie solaire locale, afin de réduire la dépendance du pays à la rente pétrolière. Le gouvernement cherche également à encourager l'industrie pétrochimique à augmenter la production nationale d'hydrocarbures, à répondre à la demande nationale de dérivés pétroliers et à stimuler les exportations.

En novembre 2019, l'Assemblée nationale populaire, chambre basse du Parlement algérien, a adopté une nouvelle loi sur l'énergie poursuivant l'objectif de stimuler les investissements dans le secteur des hydrocarbures. Le texte introduit de nouveaux types de contrats pour les entreprises désireuses de coopérer avec la compagnie pétrolière nationale algérienne Sonatrach sur des projets d'hydrocarbures, y compris le partage de la production, la participation et les risques.

### Combien coûtera l'énergie à base d'hydrogène ?

Les coûts associés à 40 technologies de l'hydrogène utilisées dans 35 applications, y compris pour la chaleur et l'électricité, pourraient chuter considérablement au cours de la prochaine décennie à mesure que la production, la distribution et la fabrication d'équipements et de composants d'hydrogène se poursuivront. Pour certaines applications, l'hydrogène pourrait devenir compétitif avec d'autres alternatives à faible teneur en carbone, et même des options conventionnelles. Ce sont les principales conclusions d'une évaluation approfondie des coûts d'application de l'hydrogène fournis par l'industrie que le Conseil de l'hydrogène -un organisme consultatif international au niveau des CEO- a souligné dans un rapport publié le 20 janvier.

Les résultats offrent un aperçu important des efforts croissants pour intégrer l'hydrogène dans le cadre énergétique mondial. Dans le cadre des objectifs concertés de décarbonisation, 18 gouvernements (dont les économies représentent 70% du produit intérieur brut mondial) avaient élaboré des stratégies détaillées pour déployer des solutions d'hydrogène, en janvier. L'industrie accorde également une attention particulière

aux améliorations importantes des inducteurs de coûts associés à la production d'hydrogène "renouvelable" et au rôle polyvalent que l'hydrogène pourrait jouer dans les futurs systèmes énergétiques.

### L'intérêt de l'industrie pour l'hydrogène monte en flèche

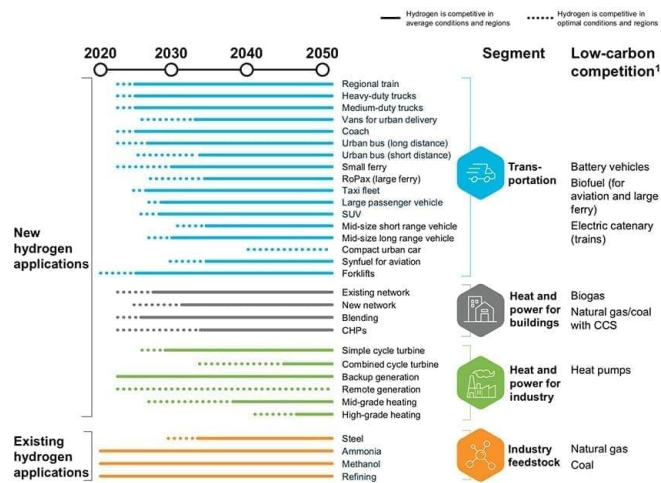
Le Conseil de l'hydrogène, qui sert de point de collaboration pour l'industrie de l'hydrogène (mais aussi une ressource pour les normes de sécurité et un interlocuteur pour la communauté des investisseurs), par exemple, a noté que son nombre de membres est passé de 13 entreprises en 2017 à 81 entreprises en date du mi-janvier. Les membres "principaux" du secteur de l'énergie comprennent les PDG d'EDF, d'ENGIE, d'Equinor, de Shell, de Total, de Siemens et de Cummins, et les membres "de soutien" incluent ITOCHU Corp., Marubeni et Mitsubishi Heavy Industries. En 2020, le conseil a également lancé un nouveau groupe d'investisseurs, une catégorie d'adhésion qui comprend actuellement cinq banques européennes.

Bien que le conseil fasse la promotion active de l'hydrogène en tant que composante essentielle de la future décarbonisation industrielle mondiale, il admet que malgré un intérêt accru - et plus de 30 investissements majeurs dans des segments tels que le camionnage lourd, le rail et la production d'acier à partir d'hydrogène à faible teneur en carbone ou renouvelable - de nouveaux projets n'ont pas encore été approuvés. Le groupe affirme que cela est "probablement dû au manque de politiques et de cadres réglementaires appropriés" et, de manière significative, à un manque de visibilité sur la viabilité économique à court et à long terme et sur l'état de préparation de l'industrie. Il suggère que les gouvernements peuvent stimuler "l'économie de l'hydrogène" en renforçant la coordination, la normalisation et en se concentrant sur les investissements dans les infrastructures, ainsi qu'en offrant des incitations.

Le rôle de l'industrie devrait quant à lui se concentrer sur l'établissement d'un marché. Cela pourrait être réalisé en réduisant l'incertitude du marché, en se concentrant sur la mise à l'échelle des applications et en faisant progresser les technologies qui créent la plus grande "amélioration pour l'investissement". Par exemple, "la mise à l'échelle de la production de piles à combustible de 10000 à 200000 unités peut réduire les coûts unitaires jusqu'à 45%, quelles que soient les percées technologiques majeures, et peut avoir une incidence sur plusieurs cas d'utilisation finale. La mise à l'échelle

jusqu'à 70 GW d'électrolyse entraînera des coûts d'électrolyse de moins de 400 \$ par kW", affirme-t-il.

C'est pourquoi le conseil a publié son rapport "Chemin vers la compétitivité de l'hydrogène : une perspective de coût". Le rapport, qui a été examiné par un groupe consultatif indépendant, comprenant des experts en hydrogène et en transition énergétique, découle des efforts de McKinsey & Co. pour collecter et analyser 25000 points de données auprès de 30 entreprises de l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène aux États-Unis, en Europe, au Japon, en Corée du Sud et en Chine. Il l'a divisé en 35 applications, qui vont du transport - y compris les trains et les chariots élévateurs à pile à combustible, l'aviation et les navires - aux matières premières de l'industrie, et à la chaleur et à l'électricité. Il décompose en outre la chaleur et l'électricité de l'hydrogène par des applications pour les bâtiments, l'industrie et le réseau. Pour chaque application, il a évalué le coût total de possession (TOC : total cost of ownership) d'une "solution d'hydrogène à faible teneur en carbone" de 2020 à 2050, puis a comparé les coûts avec d'autres solutions à faible teneur en carbone, telles que les batteries, les véhicules et les pompes à chaleur, ainsi que les technologies conventionnelles, telles que les véhicules à moteur diesel et les chaudières à gaz (figure 1). Il indique que plus de 70% du TOC qu'il a interrogé étaient destinés à des applications non liées au transport.



1. Le Conseil de l'hydrogène a évalué la manière dont les solutions d'hydrogène pourraient rivaliser avec les alternatives à faible émission de carbone actuellement disponibles (telles que les batteries) et les alternatives conventionnelles jusqu'en 2050. Pour les turbines à cycle combiné, par exemple, la compétitivité de l'hydrogène dépend de la disponibilité du captage et du stockage du carbone (CSC). Si le CSC n'est pas disponible, l'hydrogène offre le seul moyen de décarboniser l'application, dit-il.  
Gracieuseté: Hydrogen Council.

## Décomposer l'économie des applications de l'hydrogène pour l'énergie

Parmi ses principales conclusions, il est vrai que, bien que cela dépende fortement de la région, pour les applications électriques, les coûts éventuels de l'hydrogène renouvelable est important. Aujourd'hui, l'hydrogène renouvelable issu de l'électrolyse coûte environ 6 \$/kg. En général, cependant, il conclut qu'à court terme (jusqu'en 2025), l'hydrogène pourrait devenir compétitif dans les transports, principalement pour les gros véhicules à longue portée - trains et autocars, par exemple - et les chariots élévateurs.

D'ici 2030, si les coûts de production et de distribution d'hydrogène continuent de baisser, les solutions d'hydrogène pourraient rivaliser avec d'autres alternatives à faible teneur en carbone dans les turbines à hydrogène à cycle simple pour usage de pointe, les chaudières à hydrogène et le chauffage industriel.

**Piles à combustible pour la production combinée de chaleur et d'électricité (FC-CHP : Fuel Cells for Combined Heat and Power).** Dans cette application, l'hydrogène est utilisé pour générer de l'énergie à partir de piles à combustible, puis il récupère et utilise la chaleur pour le chauffage d'eau, le chauffage des locaux ou le refroidissement dans les bâtiments résidentiels et commerciaux. Comparé à la fois aux faibles émissions de carbone (chaudières à hydrogène et pompes à chaleur avec électricité du réseau) et au gaz naturel (chaudière plus électricité du réseau et cogénération au gaz naturel), le FC-CHP pourrait s'avérer une alternative viable pour une maison dans le nord de l'Angleterre d'ici 2030, lorsque le coût de l'hydrogène est d'environ 1,9\$/kg.

**Chaleur industrielle.** L'électrification restera l'option de décarbonisation la moins coûteuse pour la chaleur à faible teneur. Par conséquent, l'hydrogène ne jouera probablement pas un rôle important. Pour la chaleur moyenne et élevée, la biomasse est une option, mais elle fait face à des contraintes d'approvisionnement, et le CSC sera probablement limité aux régions ayant accès au stockage de dioxyde de carbone. Là où ce ne sont pas des options, l'hydrogène et le chauffage électrique seront les seules solutions à faible teneur en carbone, indique le rapport.

**Génératrices.** Alors que les générateurs de secours utilisent principalement du diesel ou du gaz naturel, les générateurs de piles à combustible à hydrogène peuvent être des alternatives viables, en particulier dans les endroits éloignés où les batteries et les énergies renouvelables ne sont pas viables en raison des conditions sous-optimales. Par exemple, l'alternative à



l'hydrogène pourrait économiser plus de 40% par rapport à une centrale solaire et à une batterie à Édimbourg. Pourtant, note-t-il, un coût de l'hydrogène de 6\$/kg livré dans un endroit très éloigné est nécessaire pour atteindre le seuil de rentabilité, "ce qui peut être difficile à atteindre".

Dans le sud de l'Espagne, un générateur d'hydrogène coûterait 30% de plus qu'un hybride à batterie solaire en 2030. Actuellement, les deux principaux facteurs influençant le coût des générateurs d'hydrogène sont le coût de la pile à combustible et du système de réservoir, et le coût de production et de distribution d'hydrogène. Les estimations suggèrent que le coût des piles à combustible et des réservoirs d'hydrogène devrait baisser de 70% d'ici 2030, en raison des volumes plus importants du marché des piles à combustible et des réservoirs dans plusieurs applications, comme le transport. Pendant ce temps, le coût de l'hydrogène fourni devrait baisser d'environ 20% à 40% d'ici 2030, ce qui permettrait de distribuer de l'hydrogène entre 4,5\$/kg et 6\$/kg.

**Des turbines pour la production d'électricité en réseau.** Les systèmes qui utilisent l'hydrogène comme carburant pour la production d'électricité doivent fournir une énergie flexible pour assurer la stabilité et la résilience. Jusqu'à présent, plusieurs systèmes de conversion au gaz, qui impliquent la conversion d'énergie renouvelable en vecteurs d'énergie gazeuse via l'électrolyse, existent, mais beaucoup restent à petite échelle - moins de 1 MW. Cependant, plusieurs grands projets "d'hydrogène renouvelable" ont été proposés. Parallèlement, depuis 2010, le coût de l'électrolyse a chuté d'environ 60% (passant de 10, 15\$/kg d'hydrogène à 4\$/kg), selon le rapport. Un exemple qu'il cite qui implique l'électrolyse éolienne offshore en Allemagne suggère que d'ici 2030, les coûts pourraient chuter de 60% supplémentaires. Pendant ce temps, l'hydrogène a également déjà été utilisé dans les turbines à gaz comme combustible, quoique à faible volume, et avec ce qu'on appelle "l'hydrogène gris", qui provient de combustibles fossiles. Cependant, tous les principaux fabricants de turbines à gaz développent actuellement des turbines à gaz qui pourraient fonctionner à 100% d'hydrogène, à la fois pour les applications de pointe et de base comme alternative décarbonée au gaz naturel.

Mais selon le rapport, l'approvisionnement en hydrogène à faible teneur en carbone ne sera "pertinent que dans les régions limitées par le potentiel des énergies renouvelables et les situations où des alternatives telles

que les combustibles fossiles avec du CSC direct ou de la biomasse (copeaux de bois ou biogaz) ne sont pas une option". Dans de tels cas, note-t-il, "les entreprises pourraient importer de l'hydrogène et l'utiliser pour alimenter des turbines à hydrogène". Pour un prix d'importation présumé de 3\$/kg d'hydrogène, l'électricité produite à partir de turbines à hydrogène pourrait coûter environ 140\$/MWh. En comparaison, l'analyse du coût nivelé de l'énergie (LCOE) de novembre 2019 de Lazard suggère que la production de cycle combiné de gaz naturel non subventionné coûte aujourd'hui entre 44\$/MWh et 68\$/MWh (figure 2).



2. La dernière analyse annuelle actualisée des coûts nivelés de l'énergie de Lazard (LCOE 13.0) montre que, comme le coût des énergies renouvelables continue de baisser, certaines technologies (par exemple, l'énergie éolienne terrestre et l'énergie solaire à usage public), qui sont devenues compétitives avec la production conventionnelle il y a plusieurs années une nouvelle construction, continuer à maintenir la compétitivité avec le coût marginal des technologies de production conventionnelles existantes. Courtoisie: Lazard

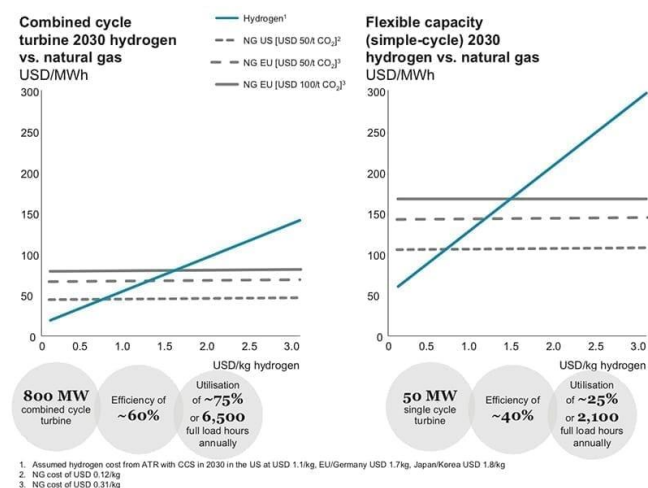
L'économie des turbines à gaz d'hydrogène est meilleure si les unités fournissent un équilibre à court terme sur plusieurs heures (comme avec une centrale de pointe à cycle simple), ou une génération sur plusieurs jours/semaines lorsqu'elle est associée à une génération à cycle combiné à des moments où la production renouvelable est faible. "De cette façon, l'hydrogène peut agir comme un tampon et une option de stockage à long terme pour le système électrique", dit-il. Le stockage de grands volumes d'hydrogène sera particulièrement réalisable à faible coût. Le stockage dans une caverne - tel qu'un projet proposé par Mitsubishi Hitachi Power Systems en Utah - pourrait atteindre environ 0,3\$/kg d'hydrogène - et cela signifie que, comparé aux batteries, son impact du temps de stockage sur le coût global est plus limité. "Par conséquent, l'hydrogène devrait offrir des avantages par rapport aux batteries, en particulier pour des durées de stockage plus longues de plus de cinq heures à plusieurs jours, voire plusieurs semaines", conclut-il.

Cependant, un des principaux inconvénients de cette voie "électricité-gaz-énergie", si l'électrolyse est utilisée pour la production d'hydrogène, est le rendement, qui est

## Comment les services publics peuvent mieux gérer et maintenir la qualité de leurs ressources de données

“d'environ 45%”, dit-il. Le rapport fournit un exemple pour illustrer la pénalité de coût par MWh associée à la route de l'électricité au gaz : “La production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables à faible coût à 25\$/MWh avec un rendement de 50% donne un coût de 1,7\$/kg d'hydrogène produit. Le stockage de cet hydrogène sous terre ajoutera environ 0,3\$/kg, donc l'hydrogène coûte 2\$/kg. Si cet hydrogène est utilisé pour produire de l'électricité, le coût qui en résulte est de 100\$ à 200\$/MWh. Dans des conditions idéales (par exemple, une turbine CCGT à 60% d'utilisation), le coût est de 100\$/MWh, tandis que les turbines à cycle simple à 25% d'utilisation fourniraient une puissance de 200\$/MWh”.

Pourtant, le rapport est optimiste. Étant donné que les coûts de production d'hydrogène entraîneront jusqu'à 80% des coûts totaux de production d'électricité (figure 3), si la faisabilité technique d'une turbine à 100% d'hydrogène est prouvée, les dépenses en capital des turbines à hydrogène pourraient “rivaliser avec celles des turbines à gaz naturel d'ici 2030”, dit le rapport. Pour l'instant, cependant, “les entreprises devraient d'abord utiliser l'énergie à base d'hydrogène pour une production flexible à haute valeur ajoutée, et deuxièmement, la production d'électricité à base d'hydrogène pour une décarbonisation en profondeur dans des situations à potentiel renouvelable limité nécessitera un solide soutien politique”.



**3. Production d'électricité à base d'hydrogène par rapport au gaz naturel.**  
 Cette comparaison des coûts de l'Hydrogen Council suppose que le coût de l'hydrogène provenant du reformage auto-thermique avec capture et stockage du carbone en 2030 aux États-Unis sera de 1,1\$/kg ; 0,17\$/kg en Allemagne ; et 1,8\$/kg au Japon et en Corée du Sud. Gracieuseté: Hydrogen Council

— Sonal Patel est un éditeur associé senior de POWER.

Les services publics acquièrent de plus en plus de compétences pour s'adapter aux changements induits par l'ère numérique : pression de l'automatisation, interruption des nouvelles technologies et défis liés à l'ingestion, à la gestion et à l'utilisation de montagnes de données. Le fait de considérer les “données comme un atout” devient la nouvelle norme du secteur et les services publics commencent à investir massivement dans les outils et technologies numériques pour les aider à tirer profit de leurs données pour générer des informations commerciales précieuses. Malheureusement, la valeur générée à partir de ces données est souvent limitée par la mauvaise qualité des données, ce qui réduit considérablement le retour sur investissement pour l'entreprise. Avec le besoin croissant d'intégrer les données dans différents systèmes - internes et externes - et la chaîne de valeur de l'entreprise en expansion, le besoin de données fiables de haute qualité est plus important que jamais.

Comment les services publics peuvent-ils gérer la qualité des données des principaux actifs de données de l'entreprise, et mettre en place les contrôles appropriés pour surveiller la qualité des données et apporter une valeur significative à l'entreprise? Ils doivent s'efforcer de mettre en place une solution de gestion de la qualité des données de bout en bout rigoureuse, orientée métier, durable et qui maximise la valeur en se concentrant sur la perspicacité à l'action. Les parties prenantes commerciales et informatiques doivent collaborer pour développer cette solution, qui est quantitative, se concentrer sur les impacts commerciaux des problèmes de qualité des données, travailler à déterminer les causes profondes de ces problèmes et utiliser ces informations pour conduire l'action à travers un plan de correction bien défini. Les efforts de qualité des données doivent prioriser les actifs de données à haute valeur, ceux où la résolution des problèmes entraînera des changements fondamentaux dans les ensembles de données critiques et générera de la valeur pour les unités commerciales qui en sont propriétaires. Un exemple serait les ensembles de données qui alimentent plusieurs systèmes en aval et les actifs qui ont des besoins réglementaires et de conformité.

**Adopter une approche adaptative et quantitative de la qualité des données**

Une approche quantitative aidera non seulement à établir une base de référence sur la qualité actuelle des données, mais aussi à montrer comment elle s'améliore au fil du temps. En outre, les services publics peuvent définir des objectifs de qualité des données à l'échelle de l'entreprise en fonction de la criticité des données et les propriétaires de données peuvent faire des investissements significatifs pour atteindre ces objectifs requis. Nous avons développé un système unique de notation de la qualité des données appelé Data Quality Index (DQI) - un score déterminé par la performance des données dans sept dimensions différentes de la qualité des données : exactitude, exhaustivité, cohérence, unicité, validité, intégrité et actualité ; collectivement dénommé ACCUVIT (accuracy, completeness, consistency, uniqueness, validity, integrity, and timeliness).

Pour évaluer les données à travers ces dimensions, une série de règles métier sont développées qui spécifient les critères exacts par rapport auxquels un enregistrement de données est testé. Des pondérations différentes peuvent être appliquées aux règles métier en fonction de la criticité lors du calcul du DQI pour l'ensemble de données. Avec ce système, les services publics peuvent intégrer des scores DQI pour leurs ensembles de données d'actif et d'ordre de travail dans le cadre de leurs mesures d'indicateur de performance clé (KPI key performance indicator) d'entreprise.

### Mettre l'accent sur le passage de la perspicacité à l'action

La clé pour apporter de la valeur commerciale aux initiatives de qualité des données est l'accent mis sur la transformation des informations en action. Comprendre l'impact réel sur les affaires des problèmes de qualité des données identifiées aidera non seulement à hiérarchiser la résolution des problèmes, mais garantira également que le temps et les efforts investis offrent le plus de valeur. De même, l'identification de la ou des véritables causes profondes et la prise de mesures appropriées au-delà de la simple correction des erreurs de données (telles que les besoins de formation, les lacunes de processus et les problèmes de conception technologique) sont essentielles pour garantir une résolution durable à long terme du problème de qualité des données.

### Activez une solution de gestion de la qualité des données durable et de bout en bout

La gestion de la qualité des données doit être de bout en bout, couvrant tous les ensembles de données critiques

de l'entreprise, en se concentrant sur tous les domaines, de l'évaluation initiale à la correction en cours, et en impliquant diverses parties prenantes de l'entreprise et de l'informatique. Ce n'est qu'avec une approche holistique de la gestion des "données en tant qu'actif" qu'une entreprise peut maintenir la qualité de ses données. Pour aider les services publics dans cette démarche, nous avons décrit un processus en quatre étapes pour développer un cadre de surveillance de qualité des données de bout en bout robuste. Les étapes sont les suivantes :

- Évaluer. Acquérir une compréhension initiale de l'environnement de l'ensemble de données (personnes, processus et technologie), ainsi qu'un profilage initial de l'ensemble de données lui-même, aide à comprendre les données et leurs facteurs d'impact. Ceci est suivi de séances approfondies avec les parties prenantes commerciales et informatiques pour définir des règles métier spécifiques à travers les sept dimensions de la qualité des données afin d'évaluer la qualité globale des données et de déterminer le score DQI de base.

- Visualiser. Analysez les performances de qualité des données de n'importe quel ensemble de données, explorez les mesures de qualité et identifiez les problèmes réels. Par exemple, avec l'outil de visualisation de la qualité des données, les gestionnaires d'actifs des services publics peuvent afficher leurs données sur les actifs et comparer les scores de l'indice de qualité des données de leur site à ceux de tous les autres sites de l'entreprise, en diagnostiquant des domaines d'amélioration spécifiques.

- Remède. Comme les problèmes de qualité des données sont quantifiés, ces enregistrements de données défaillants doivent être corrigés et les problèmes sous-jacents doivent être rectifiés. Dans l'exemple ci-dessus, les gestionnaires d'actifs peuvent voir les problèmes de qualité des données en suspens avec leurs actifs et suivre la progression de la correction au fil du temps.

- Contrôle continu. Le processus de qualité des données n'est pas un processus ponctuel d'évaluation des données et de résolution des problèmes de qualité des données identifiés. Il s'agit plutôt d'un processus continu qui doit être surveillé au fil du temps pour améliorer et maintenir de manière significative la qualité des données des ressources de données critiques. Comme les processus de correction se répètent au fil du temps, la qualité des données s'améliorera

considérablement. En fait, la surveillance continue de la qualité des données et l'accent mis sur l'importance des données entraînent souvent moins d'erreurs de saisie de données et, par conséquent, entraînent une meilleure qualité des données (et moins de problèmes) pour commencer.

Les services publics doivent traiter leurs données comme ils traitent leurs actifs physiques (électricité/gaz/eau) et disposer d'un ensemble approprié de procédures et de processus pour gérer et maintenir la qualité de leurs actifs de données. Souvent, les opportunités d'amélioration de la mauvaise qualité des données dans un service public ne sont pas réalisées car aucune évaluation significative n'a jamais été réalisée. Bien qu'une variété d'offres logicielles puissent remplir diverses fonctions de compréhension de la maturité des données et d'évaluation de la qualité, pour réussir, les services publics doivent gérer les données de manière globale, en utilisant une variété d'outils et de méthodes pour mieux répondre à la qualité des données. Enfin, il est essentiel de communiquer la valeur d'une haute qualité des données dans l'entreprise, puis de prendre des mesures pour l'améliorer afin d'inciter les services publics à devenir plus numériques et à permettre une culture centrée sur les données.

— Ajay Jawahar, Spencer Borison et Siddhant Pasari sont des experts en énergie et en services publics chez PA Consulting.

## Lancement du premier réacteur des Émirats arabes unis

Les Émirats arabes unis (EAU) devraient commencer l'exploitation commerciale de la première centrale nucléaire du Moyen-Orient, après que l'agence de réglementation du pays a approuvé le 17 février le démarrage du premier réacteur sur le site de Barakah. La centrale peut maintenant commencer à charger du combustible et l'unité 1 devrait être mise en service d'ici la fin de l'année.

### La centrale comprendra quatre réacteurs

La centrale nucléaire de Barakah, située à environ 150 miles à l'est de la capitale Abu Dhabi sur une bande de désert le long du golfe Persique, est un projet de capacité de production de 5600 MW comprenant quatre réacteurs APR-1400. Il est construit et géré par une entreprise dirigée par Korea Electric Power Corp. (KEPCO). La construction de la centrale, avec un budget initial de 20 milliards de dollars, a commencé en 2012. À l'origine, Barakah devait commencer le chargement de combustible en août 2017, mais des retards de

construction, y compris des «conclusions défavorables» de l'Autorité fédérale de réglementation nucléaire (FANR) du pays, ont repoussé la date de démarrage, malgré l'achèvement du premier réacteur en 2018. Les analystes estiment que le coût final de la centrale se situera entre 25 et 30 milliards de dollars.

"Barakah était censé être la vitrine de l'industrie nucléaire internationale", a déclaré à Bloomberg Mycle Schneider, analyste indépendant. «La connexion au réseau a au moins trois ans de retard, et il ne fait aucun doute que cela dépasse largement le budget.»

Les Émirats arabes unis espèrent que les quatre réacteurs du site fonctionneront d'ici 2023. La centrale nucléaire, une fois entièrement mise en service, représentera environ 20% de la capacité de production installée du pays.

### Une région prête pour le développement nucléaire

D'autres pays du Moyen-Orient, dont l'Égypte et l'Arabie saoudite, envisagent l'énergie nucléaire. L'Irak avait un réacteur de recherche qui a été détruit par une frappe aérienne israélienne en 1981. L'Iran, qui n'est pas considéré comme un État arabe, exploite la centrale nucléaire de Bushehr depuis 2011 - 36 ans après le début de la construction sur le site, avec des années de retard causées par la Révolution islamique 1979 et les bombardements répétés du site pendant la guerre de huit ans Iran-Irak qui a commencé en 1980. Une deuxième unité à Bushehr est actuellement en construction dans le cadre d'un partenariat avec la Russie.

Les EAU veulent diversifier leur industrie énergétique. Le pays, troisième producteur de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), dépend depuis longtemps de sa production nationale de pétrole et de gaz naturel, le gaz alimentant la quasi-totalité de la production électrique du pays. Dubaï, le centre d'affaires des Émirats arabes unis, situé à environ 90 miles au nord-ouest d'Abu Dhabi dans le golfe Persique, s'est fixé pour objectif de recevoir 75% de son approvisionnement en énergie solaire et autres énergies renouvelables d'ici 2050.

Nawah Energy Co., la coentreprise basée à Abu Dhabi entre KEPCO et la société d'État Emirates Nuclear Energy Corp. (ENEC) qui exploitera les réacteurs de Barakah, "peut répondre à toutes les exigences de sécurité des Émirats arabes unis", a déclaré Christer Viktorsson, à la tête du FANR, lors d'une conférence de

presse lundi à Abu Dhabi. Les responsables de la Nawah ont déclaré qu'un programme de formation parrainé par le gouvernement avait produit 380 experts nucléaires émiratis. La société a déclaré qu'environ 60% des membres du personnel de l'ENEC sont des citoyens des Émirats arabes unis.

—Darrell Proctor est un éditeur associé POWER (@DarrellProctor1, @POWERmagazine).

## SIEMENS GAS & POWER parie sur l'innovation



Markus Seibold, vice-président de la fabrication additive (AM) chez Siemens Power Generation Operations, discute de l'impression 3D, de la fabrication avancée, de l'innovation et de la manière de rendre les turbomachines plus compétitives dans les années à venir.

### Quel rôle jouera l'impression 3D dans le développement des turbomachines ?

AM (Additive Manufacturing) offre un moyen d'améliorer les performances tout en réduisant les émissions. Cela peut nous permettre d'être beaucoup plus compétitifs en termes de coûts, de temps et de délais de développement. Et elle offre une voie vers de meilleurs modèles commerciaux tels que la possibilité de fabriquer des pièces de rechange à la demande, plutôt que d'avoir à dépenser une fortune pour constituer un vaste inventaire de chaque composant pour chaque machine sur le terrain.

### Comment peut-elle aider à améliorer le service et les réparations des turbomachines ?

Il existe de nombreuses turbines à gaz et à vapeur des années 80, 90 et même plus tôt. Dans de nombreux cas, les pièces sont difficiles à trouver ou n'existent tout simplement plus. Pourtant, bon nombre de ces turbines continuent de fonctionner et ont besoin de pièces détachées. AM nous donne la possibilité d'imprimer ces pièces en 3D à partir de dessins existants ou de les désosser en utilisant la numérisation 3D. Dans de nombreux cas, nous pouvons réellement faire une meilleure pièce que l'original.

### Et les futures turbines ?

Nous avons la machine Siemens 9000 HL en développement. Son efficacité de cycle combiné sera poussée au-delà de 63% en incluant des pièces additives qui ne pourraient pas être fabriquées autrement. Ces nouvelles pièces ont des géométries complexes et des voies de refroidissement complexes qui seraient impossibles à mouler. Un autre avantage d'AM est la vitesse de développement. Dans le passé, il fallait peut-être six ou sept ans pour mettre sur le marché une nouvelle turbine. Nous pouvons faire la moitié de cela aujourd'hui avec le développement parallèle de technologies, le prototypage rapide, la simulation de réalité virtuelle de différentes pièces et la AM.

### Et les mises à niveau ?

Les aubes prenaient entre 18 et 24 mois pour développer le concept, la conception, le moulage, le test et la mise en œuvre en production. Maintenant, nous pouvons tout faire en trois mois. La simulation nous permet de comparer différentes conceptions et de choisir les meilleures au lieu de perdre du temps à développer des prototypes pour chacune. Nous pouvons encore mouler la partie finale, mais nous pouvons sélectionner le meilleur design avec l'impression 3D.

### L'impression 3D peut-elle aider les turbines à vapeur ?

Oui. Bien que la technologie soit utilisée dans les turbines à gaz pour améliorer les performances et réduire les émissions, nous nous attendons à ce que les turbines à vapeur bénéficient davantage de la gestion de l'obsolescence et de la disponibilité des pièces de rechange. Nous pouvons utiliser l'AM pour fabriquer des vannes qui ne sont plus fabriquées, résoudre les problèmes de chaîne d'approvisionnement et alléger la pression sur les stocks.

### Comment l'AM est-il utilisé dans les compresseurs ?

Notre usine d'impression en Suède produit déjà des pièces imprimées en 3D pour les compresseurs centrifuges Siemens. Cela nous aide à intégrer davantage de technologie AM dans nos compresseurs, tout en nous permettant de développer des matériaux et des pièces capables de résister à des températures plus élevées.

### Quels sont vos projets de collaboration ?

Nous sommes très impliqués dans la collaboration intersectorielle pour faire avancer la technologie AM. Traditionnellement, Siemens Gas & Power ne regardait

que le marché de l'énergie et développait des composants pour elle-même. Des domaines tels que l'aérospatiale ont fait de même. La collaboration était rare. Pourtant, tout le monde a des défis similaires en matière de matériaux, de durabilité des composants et de coût. Ainsi, nous travaillons activement avec des personnes de l'aérospatiale et d'autres domaines pour concevoir de nouveaux processus, développer les meilleurs matériaux, produire de meilleurs composants et ensuite les industrialiser à grande échelle. Pour l'avenir, il est essentiel que nous développions des partenariats solides et durables en matière d'innovation. Dans certains cas, la propriété intellectuelle (PI) sera la nôtre et dans d'autres, elle appartiendra à un partenaire de l'aérospatiale. Mais nous envisageons également une propriété intellectuelle développée conjointement. En réunissant différents états d'esprit, de grandes opportunités peuvent se produire. Un engagement actif avec d'autres entreprises peut accélérer considérablement le rythme du développement et de l'innovation.

### **Comment s'intègre Materials Solutions ?**

Siemens a acquis Materials Solutions il y a quelques années, mais la dirige en tant qu'entreprise indépendante. Cela nous a fourni un savoir-faire immédiat pour appliquer l'AM aux turbomachines au lieu d'avoir à passer de nombreuses années à essayer de comprendre l'impression 3D au sein de Siemens. Materials Solutions apporte 12 ans d'expérience d'AM à la table. En collaboration avec Materials Solutions, nous avons créé un nouveau centre d'innovation à Orlando pour développer de nouveaux processus, matériaux et applications d'impression 3D.

—Par Drew Robb

### **'OIL & GAS' : Essais, inspection et mise en service des turbines à gaz**

Les turbines à gaz et leurs systèmes auxiliaires sont soumis à une inspection et à des tests individuels en usine ; finalement et avant la livraison finale, l'ensemble complet devrait de préférence être soumis à un test unitaire complet où tous les auxiliaires du fonctionnement pourraient être testés ensemble pour la fonctionnalité intégrée avec la ligne d'arbre de turbine à gaz fonctionnant à pleine charge, à charge partielle ou à vide. Pour des raisons pratiques, certains auxiliaires d'atelier peuvent être autorisés à être utilisés pendant le test unitaire complet, tels que les filtres du combustible.

Cet article contient des extraits de l'article "Turbines à gaz et systèmes auxiliaires associés dans les applications pétrolières et gazières" d'Emmanuel Bustos, Michael Hotho, Mounir Mossolly et Alfredo Mastropasqua de TechnipFMC Paris présenté lors de la Turbomachines Pump and Symposia 2017.

Les turbines à gaz nouvellement introduites sur le marché sont soumises à un processus de qualification qui comprend des tests plus poussés et différents des tests habituels en usine. Au cours de la campagne d'essais individuels, certains composants majeurs de la turbine à gaz ont pu être vérifiés quant à leur intégrité mécanique et/ou leurs performances. Par exemple, la turbine de puissance d'une turbine à gaz aérodérivée sera soumise à un essai de marche mécanique (mechanical run test MRT) pour vérifier les niveaux de vibrations. Alors que le générateur de gaz subirait un test de performance pour vérifier que les paramètres de fonctionnement sont dans les plages/limites acceptables.

La performance de l'ensemble de la turbine à gaz est réalisée selon la procédure de l'ASME PTC22. D'un autre côté, tous les systèmes auxiliaires seraient testés dans les magasins des sous-traitants pour une fonctionnalité complète. Pour le test unitaire complet, le fournisseur et l'entrepreneur/l'utilisateur final doivent convenir mutuellement des étapes qui doivent être effectuées pendant ce test intégré. Selon le contexte du projet et les limites du banc d'essai, un choix peut être fait entre la pleine charge à pleine vitesse, la charge partielle ou sans charge, mais il est recommandé de toujours faire fonctionner la ligne d'arbre à pleine vitesse.

Pendant le test unitaire complet (ou test de chaîne - s'il n'implique pas d'auxiliaires hors dérapage), les niveaux de vibration doivent être mesurés et vérifiés conformément aux codes et normes internationaux applicables. Le comportement en torsion de la ligne d'arbre couplée peut être vérifié pendant le test unitaire complet, et le niveau de bruit global du colis doit être mesuré pendant le test unitaire complet. De plus, les fonctionnalités et séquences intégrées de tous les systèmes auxiliaires ensemble sont validées.

Les garanties sur les consommations des services publics sont vérifiées. La chute de pression dans le système d'admission d'air est également vérifiée ; de même, dans le système d'échappement, les deux ont des effets sur la puissance de sortie de la turbine à gaz. Le système de ventilation de la turbine à gaz est

également vérifié, et la pression à l'intérieur de l'enceinte est mesurée. Enfin, le système incendie et gaz est testé en l'activant à l'intérieur de l'enceinte de la turbine à gaz. Le test unitaire complet pourrait également être l'occasion de démontrer certaines procédures mécaniques majeures telles que le remplacement d'un générateur de gaz. Bien que les tests unitaires complets à pleine charge soient coûteux, pourraient coûter plusieurs millions d'euros et nécessiteraient quelques mois de préparation ; cependant, un test unitaire complet réduit les risques d'exécution dans les projets, en particulier pour les sites qui sont offshore et/ou loin.

Dans les applications offshore, les pilotes de turbine à gaz peuvent être montés sur un patin de montage commun à 3 points avec l'équipement entraîné. Dans certains cas, le montage en 3 points peut créer une charge ponctuelle lourde sur la structure, obligeant une poutre structurelle solide à supporter la charge et des préparations de calage précises doivent alors être effectuées en conséquence.

Pour les installations de montage à 3 points, le calage sous chaque point doit être effectué en fonction du niveau de référence du skid complet. Pour les applications flottantes, cela ne peut être effectué qu'à terre pour garantir que le nivellement n'est pas affecté par le mouvement de la mer. Il est important que le patin reste sans stress pendant la séquence d'installation. Une soudure complète sur chaque point de montage peut être effectuée (après que le patin a été positionné et nivelé dans des tolérances minimales) selon les exigences du fournisseur. Les exigences de planéité et de planéité (Flatness & levelness) à l'interface entre les cardans et la structure doivent également être respectées. Un contrôle non destructif complet (CND) sera ensuite appliqué pour contrôler la qualité de la soudure.

Pour les projets offshore où la conception modulaire est mise en œuvre, les patins principaux des turbines à gaz doivent être équipés de vérins de levage pour soulever le patin si nécessaire pendant les réglages de l'installation, lorsque l'utilisation de la grue avec des élingues traversant les ponts ci-dessus est impossible. Les auxiliaires tels que les conduits de ventilation, le conduit d'air d'admission de la maison du filtre à air d'admission et la cheminée d'échappement devront alors être érigés dans une séquence prédéfinie ; à partir de bas en haut. Les joints de dilatation sur tous les conduits permettront d'avoir quelques tolérances d'installation. Les silencieux devront être installés (par exemple dans

la cheminée d'échappement) tel que défini par le fournisseur (parfois à l'aide d'outils de guidage spéciaux). Pour faciliter la construction/érection des conduits, certaines parties des conduits devront être assemblées/connectées horizontalement au sol, puis inclinées et soulevées pour l'installation finale.

Dans la phase de pre-commissioning, tous les instruments et auxiliaires électriques doivent être vérifiés pour leur bon fonctionnement. Une vérification complète de la boucle de tous les instruments montés dans le groupe turbine à gaz (y compris les auxiliaires) doit être effectuée. Un étalonnage supplémentaire peut être nécessaire pour confirmer la fiabilité de l'instrument. Tous les moteurs doivent être exécutés en solo (avec pompe/ventilateur désaccouplés) pour vérifier la connexion du câble et la rotation du moteur. Autant que possible, tous les réseaux de canalisations autour de la turbine à gaz et de ses auxiliaires doivent être nettoyés. Pour la conduite d'huile, un rinçage d'huile complet doit être effectué. La pompe à huile de lubrification de la console d'huile pourrait être utilisée pour effectuer un tel rinçage. Des filtres à mailles fines selon les exigences du fabricant de turbines à gaz doivent être installés sur les conduites de retour pour capturer les particules solides et autres contaminants de l'huile. Pour effectuer un tel rinçage à l'huile, les conduites d'huile de turbine à gaz sont déconnectées et les roulements sont contournés. Des inspections boroscopiques de la turbine à gaz doivent également être effectuées lors des phases de pré-mise en service. Une dernière vérification doit être effectuée pour s'assurer que l'équipement physique est en pleine compatibilité avec les documents d'ingénierie, tels que le schéma de tuyauterie et d'instrumentation (PID) et les schémas de raccordement... etc.

Les turbines à gaz sont normalement mises en service à l'aide de gaz combustible du site ; à moins que la turbine à gaz ne soit à double combustible, la mise en service pourrait être effectuée avec du combustible liquide (ex: diesel). Avant de commencer tout essai de la turbine à gaz, tous les systèmes auxiliaires (y compris les panneaux de commande et d'alimentation) doivent être mis en service et être pleinement fonctionnels. Les instructions de mise en service sont toujours fournies par le fournisseur de turbine à gaz dans le manuel de mise en service et doivent être suivies avec précision par l'équipe de mise en service. Chaque système auxiliaire doit être mis en service seul. Le système d'incendie et de gaz (fire and gas F&G) sera le premier système à être mis en service ; y compris les systèmes d'enceinte tels que les clapets coupe-feu, etc., pour assurer la sécurité

tout au long du processus de mise en service de tous les démarrages permissifs doit alors être effectuée.

La séquence des systèmes qui devraient être mis en service pourrait être : 1.Panneau de commande de l'unité et panneaux d'alimentation; 2.Système F&G; 3.Systèmes d'huile lubrifiante (minéraux et synthétiques); 4.Système de démarrage; 5.Système de ventilation de l'enceinte; 6.Système de gaz combustible; 7.Système de filtre à air d'admission; 8.Système de fissuration/motorisation de turbine à gaz; ensuite; 9.Systèmes relatifs à l'équipement entraîné. Une fois la turbine à gaz en fonctionnement, la première étape consiste à tester le système de déclenchement d'urgence :

- Test du bouton poussoir d'urgence installé à l'extérieur de l'enceinte de la turbine à gaz;
- Test du signal de déclenchement à distance;
- Le contrôle des vibrations doit être effectué pour assurer une bonne stabilisation après un certain temps de fonctionnement. Lorsque les vibrations sont stabilisées dans une plage acceptable, la turbine à gaz est considérée comme prête à démarrer.

### Utilisation du 'Self-Service-Analytics' pour améliorer l'efficacité des centrales électriques

**Il existe un mouvement généralisé pour réduire les émissions de carbone dans le monde. Une façon d'y parvenir est d'améliorer l'efficacité de centrale, mais cela peut être plus facile à dire qu'à faire. Cependant, l'analyse-libre-service (Self-Service Analytics) pourrait jouer un rôle dans le processus. Les technologies avancées peuvent aider les experts en la matière à repérer les domaines à améliorer plus rapidement et plus efficacement que ce qui était possible auparavant.**

La discussion sur le changement climatique a eu lieu depuis de nombreuses années et est actuellement plus réchauffé que jamais. Le débat a débouché sur des initiatives mondiales visant à réduire l'empreinte carbone, qui figure en bonne place dans l'agenda de presque tous les gouvernements des pays. Le secteur de l'énergie est confronté à des mesures à fort impact en raison de programmes de décarbonisation, comme l'objectif zéro de décarbonisation de l'Union européenne d'ici 2050. Cela entraîne la transition vers les énergies renouvelables, mais demande également des mesures pour générer une énergie neutre en carbone.

Une partie de la solution consiste à réduire l'énergie nécessaire dans les centrales électriques et à rendre ces centrales plus efficaces. Cela se retrouve dans deux domaines principaux : l'amélioration de l'efficacité globale des équipements et la réduction de l'énergie nécessaire aux services publics pour le processus de génération d'énergie.

Lors d'une récente conférence sur l'énergie, un expert a noté que le secteur de l'énergie avait connu des changements perturbateurs au cours des 20 dernières années, mais en mettant la protection du climat au premier plan, l'industrie a donné un exemple sans précédent de leadership mondial et a montré que le changement est possible en moins d'une décennie. La décarbonisation et la décentralisation resteront probablement au centre des décennies à venir, mais la plus grande opportunité pour l'industrie pourrait être de faire passer la numérisation des premiers acteurs à une mise en œuvre complète à l'échelle de l'industrie.

La force externe pour réduire l'empreinte carbone a également un avantage de rentabilité globale. Dans le secteur de l'énergie, l'énergie elle-même est souvent l'une des composantes les plus importantes de la structure des coûts d'une entreprise. Bien que la gestion de l'énergie pour réduire les coûts en soi ne soit pas nouvelle, elle est devenue plus importante en raison des réglementations imposées. La plupart des entreprises ont formalisé des programmes de gestion de l'énergie et utilisent des technologies d'automatisation et de contrôle pour minimiser les coûts énergétiques. Cependant, il est clair que de nombreuses entreprises doivent porter leurs efforts au niveau supérieur en surveillant et en optimisant la consommation d'énergie en temps réel et en tirant parti des données générées par l'Internet des objets industriel (IIoT) (données générées par des capteurs et des appareils).

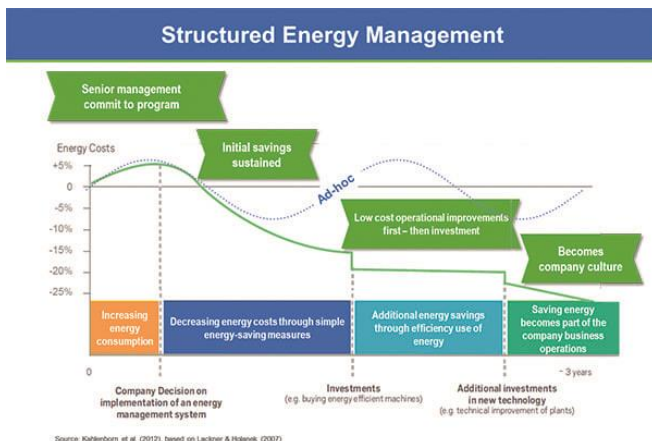
Pendant de nombreuses années, les données de processus ont été capturées par des historiens, tels que OSIsoft PI et AspenTech IP-21. Toutes ces données doivent être déverrouillées et exploitées pour une amélioration continue afin de réduire la consommation d'énergie des entreprises. L'analyse de données a été utilisée par les grandes entreprises dans une certaine mesure pour les plus grands problèmes énergétiques des sites. Ces projets de modélisation de données chronophages et centralisés sont moins adaptés aux projets d'optimisation liés aux processus qui nécessitent une expertise en la matière. De nouveaux outils mettent les analyses avancées entre les mains d'experts en la matière tels que les ingénieurs de processus et de



terrain. Cela leur permet de gérer 80% des cas liés à l'énergie qui contribuent aux objectifs de l'entreprise de réduire l'empreinte carbone.

### Gestion de l'énergie 4.0

L'intérêt mondial pour l'industrie 4.0 a accéléré la transformation numérique dans l'industrie de fabrication de processus, y compris le secteur de l'énergie. De nombreuses entreprises se sont engagées dans des projets pilotes technologiques (figure 1) pour explorer les options de réduction des coûts, d'augmentation de l'efficacité globale de l'équipement ou de gestion de la conformité réglementaire. L'une des meilleures façons de tirer parti de ces nouvelles innovations consiste à appliquer des analyses industrielles avancées aux données de production générées par des capteurs. Chaque donnée fournit des opportunités sans précédent pour améliorer l'efficacité énergétique.



1. La gestion structurée de l'énergie (structured energy management SEM) peut prendre quelques années pour changer la culture des opérations. Cependant, une fois que la gestion est alignée et engagée dans le SEM, des systèmes de gestion de l'énergie de base peuvent être installés et des améliorations peuvent être apportées à la gestion des installations qui produiront des avantages immédiats. Source: Department of Energy tel que publié par le vice-président des services publics de Nexant, Brian Albert, PE dans "Fundamentals of Strategic Energy Management"

En général, les économies d'énergie peuvent être réalisées de différentes manières, y compris en modifiant le comportement quotidien (éteindre la lumière), en installant des équipements plus économes en énergie, en entretenant les équipements avant qu'ils ne deviennent inefficaces ou en optimisant les processus, comme en garantissant une utilisation dans les meilleures zones d'exploitation. L'optimisation des performances des processus et des actifs est probablement le domaine le plus important pour les économies d'énergie, mais ils nécessitent une compréhension plus approfondie des processus opérationnels et des données sur les actifs (disponible dans l'historien).

### Amélioration de l'efficacité globale de l'équipement

Les ingénieurs processus sont responsables de la conception, de la mise en œuvre, du contrôle et de l'optimisation des processus industriels. Ils sont généralement impliqués dans l'analyse, la mise à niveau, la modification et l'optimisation des équipements et des processus de production. Si le processus de production stagne ou est sous-performant, ils doivent comprendre pourquoi, mais aussi dans les plus brefs délais pour éviter les pertes de production, maintenir la qualité du produit et éviter les coûts élevés de maintenance et de réparation.

La mise en œuvre d'analyses industrielles en libre-service peut permettre aux ingénieurs d'obtenir des informations plus solides et plus rapides sur leurs données de production opérationnelles. Il leur permet d'identifier de nouveaux domaines d'optimisation des performances grâce à des capacités avancées d'analyse des causes profondes, de surveiller la production pour éviter les situations anormales et même de prévoir les évolutions futures des exécutions par lots, des transitions ou des démarrages d'équipement en quelques minutes. Il permet aux utilisateurs métier, tels que les ingénieurs de processus et d'actifs, de :

- Résolvez les problèmes de performances de processus non résolus auparavant.
- Vérifier les hypothèses et prouver qu'elles sont vraies ou fausses, afin qu'elles puissent être prises en compte ou exclues pour l'avenir.
- Trouvez de nouvelles façons d'améliorer les performances de production, car les données avec les événements capturés et les alertes précoces fournissent de nouvelles informations.
- Utilisez des informations contextuelles provenant d'applications commerciales tierces pour obtenir de nouvelles informations sur les performances opérationnelles.
- Utilisez des tableaux de bord exploitables pour surveiller les performances opérationnelles en temps réel (figure 2).



2. Cockpit de production basé sur l'analyse, aidant les ingénieurs à surveiller et à améliorer en permanence l'efficacité globale de l'équipement. Courtoisie: TrendMiner

En travaillant sur toutes ces situations, il en résulte une efficacité globale de l'équipement plus élevée, où la performance des actifs est optimisée dans son contexte opérationnel, conduisant à une réduction des déchets, une disponibilité plus élevée et plus propre et une réduction de l'empreinte carbone de la centrale.

### Analyser, surveiller et prévoir la consommation WAGES

Les principaux consommateurs d'énergie liés aux processus peuvent être facilement mémorisés en utilisant l'acronyme WAGES (water, air, gas, electricity, and steam), qui signifie eau chaude, air, gaz, électricité et vapeur. WAGES peut être analysé directement ou indirectement à travers toutes les données du capteur. Les données peuvent être analysées de manière descriptive pour voir ce qui s'est passé, ce qui permet de mieux comprendre si une longue période de performance peut être évaluée. Parfois, certains problèmes ne se produisent que quelques fois par an, mais peuvent avoir un impact important sur la consommation d'énergie, par exemple, un faux pas provoquant un arrêt. L'analyse de découverte permet de comprendre ce qui s'est passé et grâce à l'analyse de diagnostic, l'organisation peut commencer à surveiller les performances du site.

Étant donné que les performances des actifs sont contextualisées par le processus dans lequel elles fonctionnent, les meilleures zones d'exploitation ou les meilleures fenêtres de performances doivent être soustraites du comportement réel du processus plutôt que des données théoriques. Des empreintes digitales de données historiques peuvent être créées pour surveiller les bons et les mauvais comportements, en mettant éventuellement l'accent sur la consommation d'énergie. Ensuite, les données de performances opérationnelles en direct peuvent être utilisées pour l'analyse prédictive; par exemple, les performances en aval peuvent être causées par un comportement d'une heure ou plus en amont.

### Cas pratiques d'utilisation

Des analyses avancées ont été appliquées pour analyser, surveiller et prévoir les performances des processus et des actifs pour de nombreux cas d'utilisation liés à la gestion de l'énergie. Deux exemples sont décrits ci-dessous.

**Augmentation de l'efficacité d'une centrale électrique.** Une centrale à gaz à cycle combiné typique pour la production d'électricité est équipée de deux turbines qui alimentent un générateur. La turbine principale est alimentée par de l'air chaud, qui est généré par la combustion du gaz. La turbine secondaire est alimentée par de la vapeur générée par le chauffage de l'eau avec les gaz d'échappement provenant de la turbine primaire.

Au fil du temps, les performances d'une unité dans une centrale électrique particulière ont commencé à se détériorer, entraînant une perte de capacité et une perte de revenus. La perte a été progressive, donc le changement est passé inaperçu au début. Une diminution des performances est généralement un phénomène graduel qui n'apparaît qu'après une longue période de temps. Avec l'outil analytique avancé en libre-service, les ingénieurs pouvaient visualiser clairement les opérations au fil du temps. Grâce à une recherche basée sur la valeur, la baisse des performances a été rapidement confirmée et quantifiée. Cela a constitué la base du reste de l'analyse de dépannage.

En raison de facteurs externes, tels que les temps d'arrêt imprévus et les réductions de charge dictées par le marché, l'équipe a dû creuser plus profondément pour mesurer les performances réelles de l'unité. Pour ce faire, les chercheurs ont comparé les périodes de bonnes performances aux périodes de mauvaises performances.

Les ingénieurs ont constaté que le débit de gaz combustible, la température de refoulement du compresseur et l'angle de référence des aubes directrices d'entrée différaient de manière cohérente pour les deux groupes de couches. Avec l'outil d'analyse-libre-service, il a pu être prouvé que la cause première du problème était les aubes directrices d'admission non calibrées, ce qui entravait l'approvisionnement en air et en carburant, et finalement la production d'électricité dans la turbine à gaz. En seulement quatre heures, les ingénieurs ont efficacement identifié et résolu la perte de capacité de 2 MW sans avoir besoin de données scientifiques.

**Contrôler la consommation d'énergie au sein du réseau d'eau de refroidissement.** Un certain nombre de réacteurs consommaient de la capacité de refroidissement du réseau de distribution pour l'eau de refroidissement. Une capacité de refroidissement suffisante est essentielle pour ces réacteurs, car un emballement thermique peut se produire lorsque la capacité disponible est insuffisante.

Pour éviter cette situation indésirable, des analyses avancées ont été mises en place pour surveiller la capacité de refroidissement en temps réel. Des avertissements précoces ont été créés et conçus pour se déclencher uniquement sur des situations problématiques réelles, en évitant les fausses alarmes positives qui pourraient être déclenchées par du bruit de mesure ou des pics dans les données. Désormais, suite à un avertissement, l'ingénieur de procédé et les opérateurs ont amplement le temps de rééquilibrer les réacteurs et de prioriser les autres équipements, afin que les composants critiques puissent consommer la capacité de refroidissement maximale tout en maintenant la consommation d'énergie globale dans les limites de la cible.

La gestion de l'énergie n'est pas nouvelle; de nombreuses entreprises ont mis en place un programme structuré de gestion de l'énergie. Cependant, les nouveaux outils d'analyse en libre-service permettent aux experts en la matière d'analyser, de surveiller et de prédire les performances des processus et des actifs plus rapidement et avec précision, ce qui peut se traduire par une énorme contribution pour atteindre les objectifs organisationnels de l'empreinte carbone. Ceci est particulièrement important après la cueillette des fruits à faible consommation d'énergie et plus de connaissances sont nécessaires pour améliorer les performances opérationnelles. Les entreprises bénéficient de l'amélioration de la rentabilité globale et de l'augmentation de la sécurité.

— Edwin van Dijk est vice-président du marketing chez TrendMiner, une entreprise qui développe des solutions analytiques avancées pour l'industrie des processus.

## Calendrier des événements

### ELECTRIC POWER Conférence et Exhibition

<b>Date/heure de l'événement</b>	<b>Du 14 au 17 Avril 2020</b>
<b>Description</b>	Créée en 1998, ELECTRIC POWER est la première conférence et exposition qui soutient la production d'électricité en Amérique du Nord et à travers le monde. Elle propose du contenu concret et des études de cas pour mieux vous préparer, préparer votre installation et votre infrastructure pour ce qui vous attend. Nous croyons en l'éducation, la formation et le développement des professionnels de l'énergie, des employés des centrales électriques, des étudiants et des fournisseurs de solutions qui font progresser l'industrie aujourd'hui.
<b>Emplacement</b>	Centre de Convention de Colorado Denver, Colorado
<b>Plus d'informations</b>	<a href="https://www.electricpowerexpo.com/">https://www.electricpowerexpo.com/</a>

### Powergen Africa

<b>Date/heure de l'événement</b>	<b>Du 12 au 14 Mai 2020</b>
<b>Description</b>	Lancé pour la première fois en 2012 à Johannesburg, POWERGEN Africa répond à la demande sans cesse croissante de fourniture de services énergétiques sécurisés aux économies en expansion rapide du continent africain. Avec le soutien d'Eskom, un service public d'Afrique du Sud, POWERGEN Africa offre à l'industrie de l'électricité des opportunités de changement positif dans la région. Combinés à l'African Utility Week, les événements offrent non seulement des technologies qui couvrent toutes les formes de systèmes de production d'électricité, mais aussi l'automatisation des services publics et la mesure avancée - en d'autres termes, l'ensemble du

	secteur de l'énergie est ici sous un même toit - conçu pour servir l'Afrique de nombreux utilitaires intégrés verticalement.
<b>Emplacement</b>	Centre International de Convention de Cape Town - South Africa
<b>Plus d'informations</b>	<a href="https://www.powergenafrika.com/">https://www.powergenafrika.com/</a>

## Références

[www.powermag.com](http://www.powermag.com)  
<https://www.power-eng.com>  
<https://dieselgasturbine.com>  
<https://www.enerdatab.com/>  
<https://www.turbomachinerymag.com>

La structure stratégie et veille assure la veille stratégique (technologique, normative, concurrentielle, réglementaire ...) au sein de la société algérienne de production d'électricité, pour plus de détails, veuillez contacter la structure stratégie et veille.

**Pensez à l'environnement. Imprimez ce document seulement si vous en avez vraiment besoin.**

**SPE - Février 2020 -**