

IFP SCHOOL

ALUMNI **MAG**

DOSSIER

LE MONDE DE L'ÉLECTRICITÉ SPÉCIFICITÉS, CHALLENGES ET PERSPECTIVES



NEWS FROM **IFP SCHOOL**

- Appointments
- The class of 2019



ABOUT THE **ASSOCIATION**

- Le nouveau site des alumni est en ligne
- Success story



**WE CERTIFY THE COMPETENCIES
OF OIL & GAS INDUSTRY PROFESSIONALS**

OUR SOLUTIONS FROM UPSTREAM TO DOWNSTREAM



45 YEARS OF EXPERIENCE IN OIL & GAS TRAINING



ifptraining.com

CONTENTS



NEWS FROM IFP SCHOOL

- Appointments **P. 6**
- The Class of 2019 **P. 7**



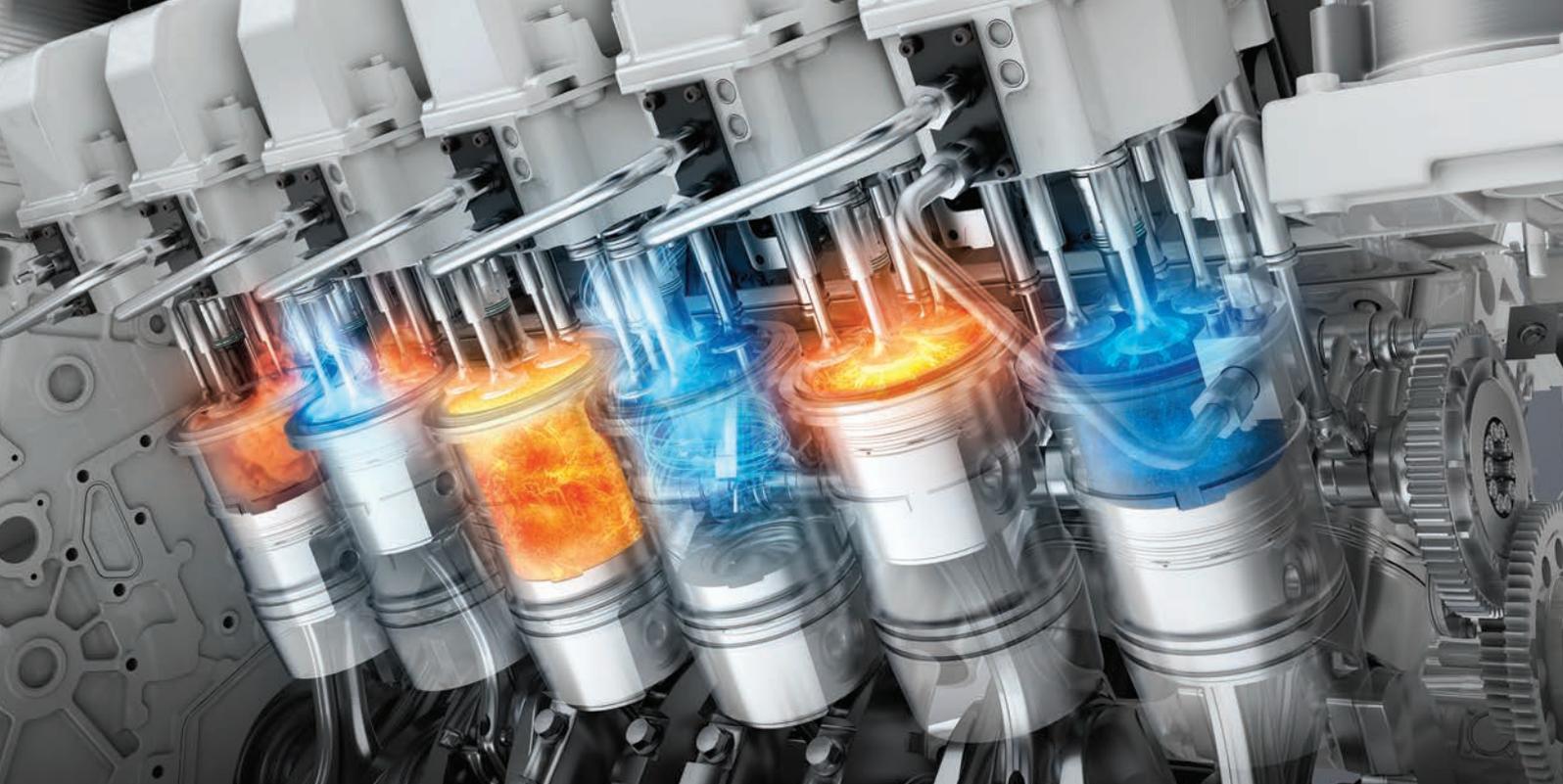
ABOUT THE ASSOCIATION

- Le nouveau site des alumni est en ligne **P. 35**
- A journey from Oil Major positions to start-up creation! **P. 36/37**

DOSSIER ÉLECTRICITÉ, UNE NOUVELLE DONNE

- Electricity and Renewables: a statistical and prospective review **P. 10/12**
- Mieux connaître l'industrie de l'électricité **P. 13/15**
- Stationary energy storage technologies: a brief overview **P. 16/18**
- Quelle place pour le stockage massif de l'énergie dans la transition énergétique **P. 19/21**
- Pumped heat energy storage: developing new technology **P. 22/23**
- Kemiwatt flow battery technology: making the renewable energy revolution possible **P. 24/26**
- Gagner en flexibilité énergétique : le rôle de l'hydrogène **P. 27/30**
- IFP School: from petroleum and combustion engines to energy and transport **P. 31/33**
- Bibliography **P. 34**





Ensemble vivons le progrès.

Membre des plus grands constructeurs de machines de chantier au monde, Liebherr œuvre aussi dans de nombreux autres secteurs d'activité qui vont de la fabrication de composants aux appareils électroménagers en passant par l'aéronautique. Depuis plus de 60 ans, Liebherr est associé à un large éventail de produits et de prestations haut de gamme qui évoluent sans cesse. Le lien étroit avec la pratique, la maturité technologique affirmée ainsi que les exigences de qualité toujours très élevées sont les prérequis à la satisfaction des clients du Groupe.

Liebherr Machines Bulle SA dans le canton de Fribourg en Suisse développe et fabrique des moteurs diesel et à gaz, des systèmes d'injection, ainsi que des composants hydrauliques et des réducteurs de distribution de pompe. Les composants et systèmes ne sont pas employés seulement au sein du Groupe, mais équipent également les engins d'autres constructeurs.

Liebherr-Components Colmar SAS est spécialisée dans le développement, la conception, l'assemblage et les tests de moteurs diesel de grande puissance. Ces derniers viennent étoffer le portefeuille actuel de moteurs diesel Liebherr avec une plage de puissance comprise entre 1,2 et 4,5 MW.

Bienvenue dans l'équipe - nous nous réjouissons de recevoir votre candidature.

Liebherr Machines Bulle SA
Personne de contact RH :
Anne-Christine Doelling
Tél. : +41 26 913 40 06
Email : AnneChristine.Doelling@liebherr.com

Liebherr-Components Colmar SAS
Personne de contact RH :
Lise Baechler
Tél. : +33 3 89 30 76 50
Email : Lise.Baechler@liebherr.com

Visitez notre page carrière
www.liebherr.com/carriere

LIEBHERR

EDITO



Jean Sentenac,
President Alumni Association
IFP School

La transition énergétique est sur toutes les lèvres, dans les medias comme dans le monde politique, mais il faut le dire : on est loin du compte en termes de compréhension des objectifs et des logiques qui doivent guider son déploiement et encore plus loin d'une acceptation, par les populations concernées, des efforts que cela implique.

Ceci vaut également pour le monde professionnel. En tant que pétroliers ou motoristes, nous n'avons probablement pas une compréhension suffisante des autres secteurs, en particulier celui de l'électricité, avec comme corollaire le risque de commettre des contre-sens et de prendre des décisions inappropriées.

C'est donc avec plaisir que je salue l'initiative du comité de rédaction de notre magazine de contribuer à établir des liens entre énergies avec ce numéro consacré à l'électricité.

La spécificité première de cette énergie est qu'à tout instant, l'offre doit s'ajuster à la demande malgré des possibilités de stockage limitées. Avec le développement exponentiel des capacités de production intermittente d'origine solaire et éolienne on va, tôt ou tard, buter sur cette contrainte.

Les technologies de stockage disponibles ne permettent pas d'apporter une réponse à la mesure des besoins futurs. C'est pourquoi ce numéro met l'accent sur les développements en la matière.

L'École n'est pas en reste et, avec l'évolution du contenu des programmes, un nombre croissant de nos jeunes camarades opèrent dorénavant au sein du secteur électrique. Qu'ils soient les bienvenus dans notre association !

Energy transition is much talked about, either in the media or during political debate. However, let's be clear: we are still far from a shared understanding of its objectives, of the logic underlying its implementation, and above all from the acceptance, by the people involved, of the efforts it requires.

This is also true of the corporate world. As Oil and Gas professionals or motor engineers, we probably do not have a good enough understanding of other energy sectors, especially of the power sector, leading to the possible associated risk of making inappropriate decisions.

It is therefore a pleasure for me to welcome the initiative taken by our editorial committee to start establishing links between different energy sectors, with this dossier on electricity.

The most specific characteristic of the power sector is the imperative need to equate supply and demand at any moment: not easy to achieve as electricity storage capabilities are very limited. This constraint will probably become even more pregnant with the exponential development of intermittent wind or solar power generation.

Future electricity storage requirements may not be met with the technologies currently available, that's why a large part of the dossier is focused on innovation potential in this area.

IFP School has identified the challenges. Evolving program contents lead to a growing number of our younger schoolmates operating in the power sector. Be they welcome in our Association !

APPOINTMENTS



Frédérique Fournier has been appointed director of the Exploration Production center at IFP School, effective July 9, replacing Jean-Claude Heidmann.

She has significant industrial experience in upstream and extensive knowledge of geosciences. Frédérique began her career as a research engineer at Elf Aquitaine Production, before joining IFP Energies nouvelles where she was head of the Geomechanics department. Over the past ten years, Frédérique has worked in various positions at Beicip-Franlab, including as president of the Middle East subsidiary IFPMEC and as project director.

Frédérique Fournier is an engineer from ENSG Nancy and IFP School. She also holds a doctorate from the Institut Polytechnique de Lorraine and is qualified to lead research. Since 1987, she has been involved in teaching activities at various institutions such as CNAM, ENSG, IFP School and IFP Training. ■



Maxime Schenckery has been appointed director of the Economics and Management center, effective September 3, replacing Nadine Bret-Rouzaut.

He has more than 20 years of experience in the energy sector. PhD in Economics from the French University of Paris-Nord, Maxime held various positions from 1995 to 2002, at Schlumberger Industry and Ernst&Young. From 2002 to 2005, he joined IFP School where he was a professor and coordinated the Petroleum Economics and Management program.

From 2005 to 2010, on secondment from IFPEN, he was senior economic advisor at the French consulate in Houston, USA. He then joined Qatar Petroleum until 2015, as head of markets analysis and forecast. Maxime then headed ePwak Energy Research, a consulting and research firm where he contributed to various studies and research projects in Qatar and Saudi Arabia. ■

THE CLASS OF 2019

The 294 new students of the 2019 class joined IFP School on September 3 in the 11 applied industrial graduate programs. A stable number compared to the 2018 promotion, with the same scope of consolidation.

A resolutely multicultural year group

The 2019 class welcomes students from 46 different countries, excluding France. International students make up 53% of the total number and are prevalent in programs taught in English.

IFP School's international outlook is illustrated this year by students from Brazil, Morocco, Nigeria, India, Lebanon, Argentina, China, Colombia - each with seven or more representatives.

The French engineering school most represented is ENSIC, with 11 students. The different INSA's and schools of Mines also have a significant number of students.

Renewed support from industry

IFP School's applied courses benefit from the school's close ties with industry. This year, **90% of students receive financial support**, either directly from a company or through institutions such as the Tuck Foundation. 67 companies are partners of IFP School and 7 of them support more than 8 students: Total, ExxonMobil, Renault, TechnipFMC, Axens, PSA, Storengy.

In addition, the 22 students of the 3rd session of the Petroleum Data Management specialized master's program also started their academic year on September 3. This program, in partnership with the *École Nationale des Sciences Géographiques de*



The Class of 2019.

Marne-la-Vallée, has enjoyed an increased support from industry.

In total, when including programs provided through international partnerships, the 2019 class will have more than 450 students. ■

A QUICK LOOK AT THE CLASS OF 2019 IN ENGINEERING PROGRAMS

- Powertrain and Sustainable Mobility: 29%
- Energy Economics and Management: 21%
- Processes for Energy & Chemicals: 23%
- Georesources and Energy: 27%

- 47% French students
- 21% women
- 54% apprentices
- 8% professionals on secondment

DOSSIER

ÉLECTRICITÉ, UNE NOUVELLE DONNE

Intermittence

STOCKAGE

DIGITALISATION

Décentralisation

Décarbonation

LA FÉE ÉLECTRICITÉ REPREND DU SERVICE !

Sur commande de la Compagnie parisienne de distribution d'électricité, Raoul Dufy a réalisé en 1937 ce tableau de 600 m². En plein centre, il a placé la centrale électrique thermique d'Ivry-sur-Seine et dans la partie basse, on trouve les portraits de cent dix savants et inventeurs ayant contribué au développement de l'électricité. Le tout ponctué de voiliers, de nuées d'oiseaux, de machines agricoles et du bal du 14 juillet, etc. Si une même commande était passée aujourd'hui, on peut se demander où seraient placés la centrale thermique, les éoliennes, les panneaux solaires, les transformateurs, les robots, les ordinateurs et qui seraient les nombreux savants à remercier.

Après ce bref moment de poésie, le comité de rédaction a le plaisir de partager avec vous cette occasion de lever une autre partie du voile sur l'avenir du monde de l'énergie. Cette fois-ci, il s'agit de mieux comprendre comment l'arrivée des énergies éolienne et solaire photovoltaïque va modifier les outils, les méthodes de gestion et les métiers des réseaux de transport et distribution de l'énergie. Nous nous sommes intéressés en particulier au stockage de l'énergie électrique, qui semble devenir une question incontournable dès que la part des énergies intermittentes augmente de manière conséquente dans la production alimentant le réseau. Dans ce domaine, les solutions sont loin d'être figées.

En préparant ce dossier, nous n'avons pas eu l'ambition d'être exhaustifs. La diversité des rédacteurs des articles du dossier témoigne de l'intérêt partagé sur le sujet.

Un grand merci à ces auteurs et bonne lecture à tous. Et surtout, faites-nous part de vos réactions sur amicale-ifpschool@ifpen.fr, cela nous aidera à façonner les numéros à venir.

Bonne lecture !

Le comité de rédaction

ELECTRICITY AND RENEWABLES: A STATISTICAL AND PROSPECTIVE REVIEW

RAF 70



MARC VALLEUR

Marc VALLEUR is a graduate Engineer from Chimie ParisTech and IFP School.

As former Manager of the Technip France Advanced Systems Engineering (ASE) business line, Marc has over 45 years of experience and is an Expert for low manning operations, optimal blending and short term scheduling.

Power generation still very much depends on regional policies, which are themselves linked to local energy resources and past choices. Even within Europe, national policies make a huge difference on the actual renewable wind and solar share of power generation in each country.

Technical innovation such as wind turbines efficiency and mass production of solar panels have contributed to a strong decrease of unsubsidized Levelised

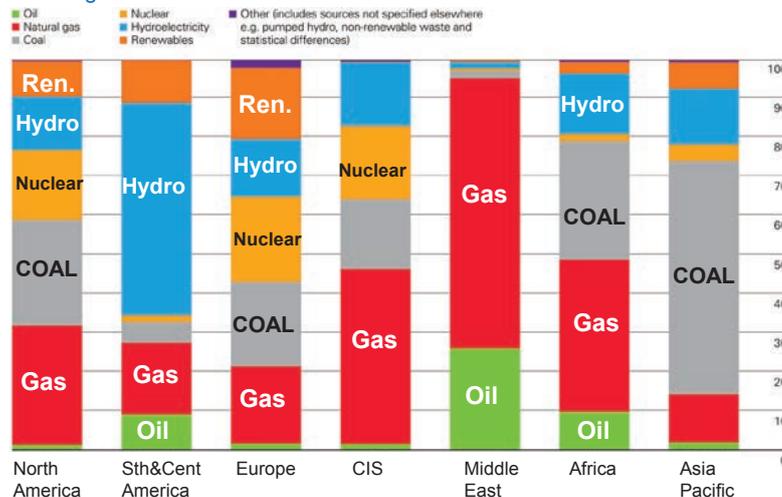
cost of electricity (LCOE) for electricity generated by renewables. However, additional costs related to intermittency are not included.

Several private and governmental organizations provide forecasts of electricity generated from renewable sources (see Table 1 on page 11). Despite the range of uncertainty (a total share varying from 47 to 72% by 2050) they all agree that this represents a major increase compared to 2017. Yet, there is no consensus on which of solar or wind, will take the lead.

Electricity storage is one of the parameters which helps balancing supply and demand. However, it has been almost entirely limited to pumped hydro so far and its profitability does not look very attractive for potential investors.

Regional electricity generation by fuel 2017

Percentage

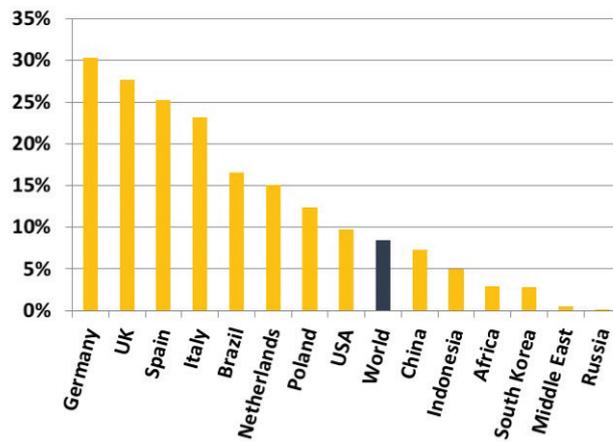


BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2018 © BP o.l.c. 2018

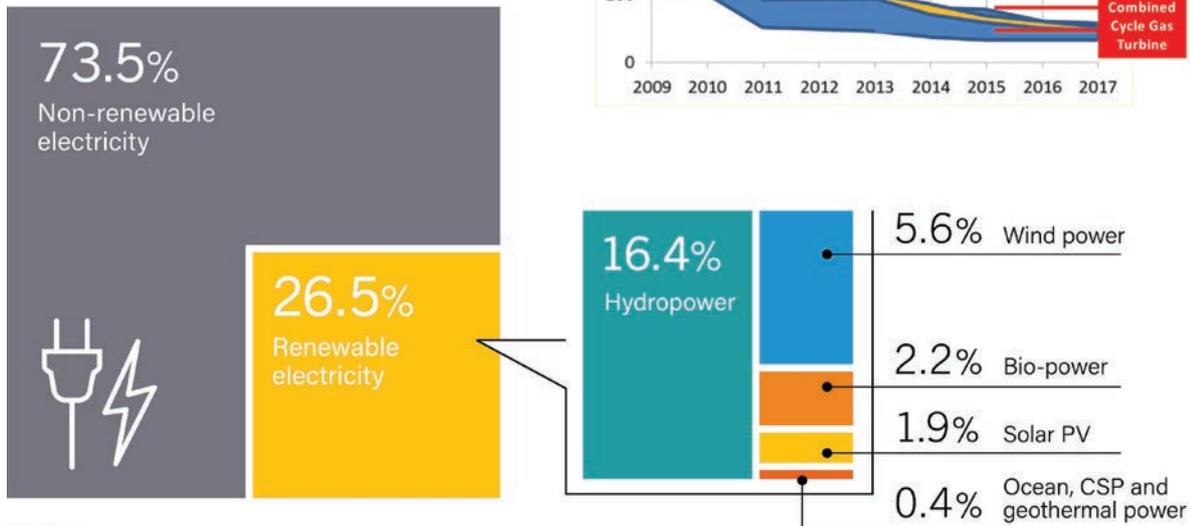
So, the future of storage technologies remains unclear, with many uncertainties related to:

- Penetration of variable renewable energies,
- Network densification and interconnection,
- Spare capacity and cost of flexible production facilities (e.g. gas-fired power stations),
- Demand management via the development of Smart Grids,
- Storage capital cost and technology maturity,
- Market reorganization ensuring clear remuneration of investments in storage capacities.

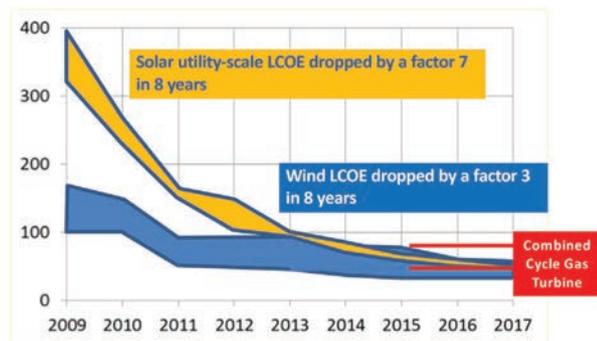
2017 Wind + Solar share of power generation (TWh)



Estimated Renewable Share of Global Electricity Production, End-2017



LCOE levelised cost of electricity (\$/MWh)



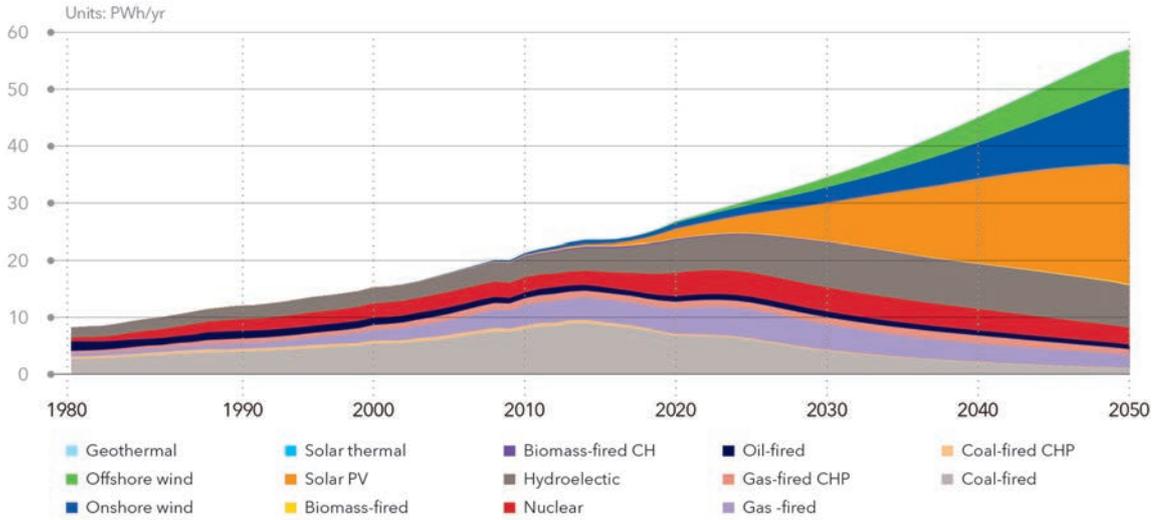
REN21 RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT

Table 1 : Forecast of percentage of electricity generation from renewables

Year	2017	2050	2050	2050
Source	REN21 2018	DNV GL ETO 2018	IRENA 2018 Remap case	BLOOMBERG IEA STRATFOR
Wind	5,6%	35%	36%	24%
Solar	1,9%	37%	26%	23%
Total	7,5%	72%	62%	47%

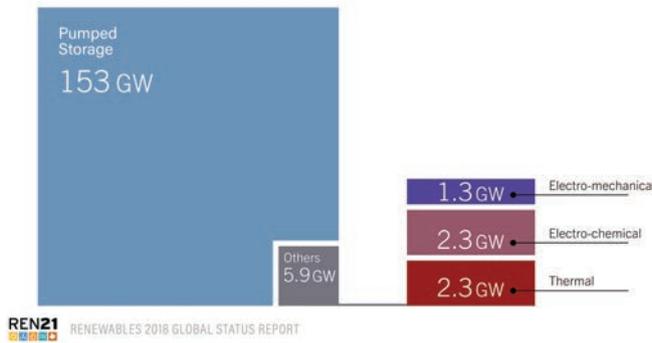


World electricity generation by power station type



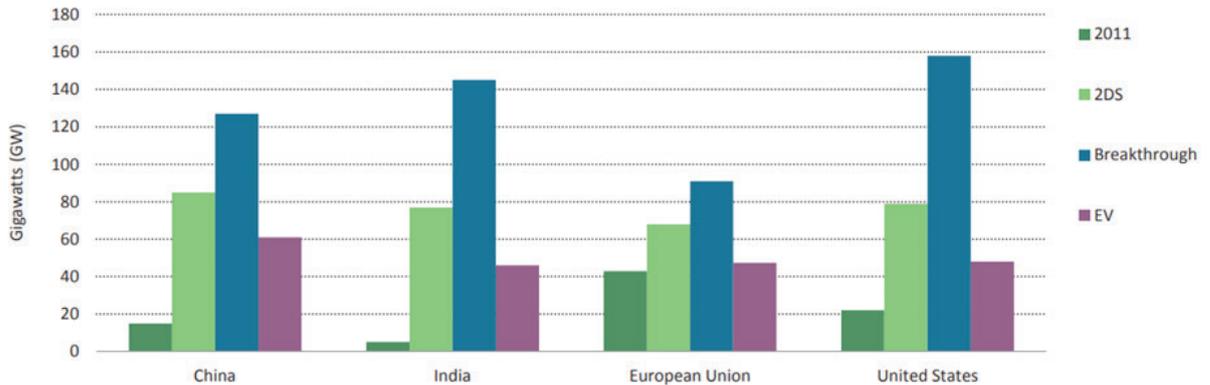
Source: DNV GL ETO 2018

Global Utility-Scale Energy Storage Capacity by Technology, 2017



The three scenarios for electricity storage deployment until 2050, developed by the International Energy Agency (IEA), illustrate the level of uncertainty:

- The **ETP 2DS** scenario (Energy Technology Perspectives 2 °C scenario) is the reference case, determining the capacity expansion of power generation technologies from now to 2050 to meet low-carbon objectives.
- In the **'breakthrough'** scenario, aggressive reductions in specific energy (per MWh) and power capacity (per MW) storage costs facilitate an increased deployment of storage.
- In the **electric vehicle scenario-EV**, charging strategies for offsetting peak demand are widely employed and smart charging of the electrical fleet provides additional flexibility to the system.



MIEUX CONNAÎTRE L'INDUSTRIE DE L'ÉLECTRICITÉ

L'électricité occupe une place de plus en plus importante dans le système énergétique mondial. Ce secteur est en pleine mutation sous l'effet conjugué de la libéralisation des marchés, des innovations technologiques et de la volonté politique de transition énergétique.

Afin de mieux le comprendre, l'Association des diplômés d'IFP School a organisé à l'École, le 27 mars 2018, une conférence sur le thème "Bouleversements et défis dans le monde de l'électricité", avec la participation de :

- **Mme Colette Lewiner**, Conseillère "énergie" du président de Cap Gemini - Administratrice indépendante d'EDF
- **M. Michael Cohen** (ENR 11), Senior consultant chez Schwartz & Co
- **M. Frédéric Charlet**, Directeur du Centre National d'Exploitation du Système (CNES) au sein de RTE
- **M. Alexis Gourlier** (ENR 11), Senior Market Risk Analysis chez Engie

Nous avons résumé ci-après les principaux messages qui en ressortent et vous invitons à consulter sur internet (accès libre) le *World Energy Market Observatory* de Cap Gemini, dont sont extraites les informations présentées par Mme Colette Lewiner.

Le contexte

Le changement climatique représente un enjeu clé pour les gouvernements, les entreprises et les institutions financières.



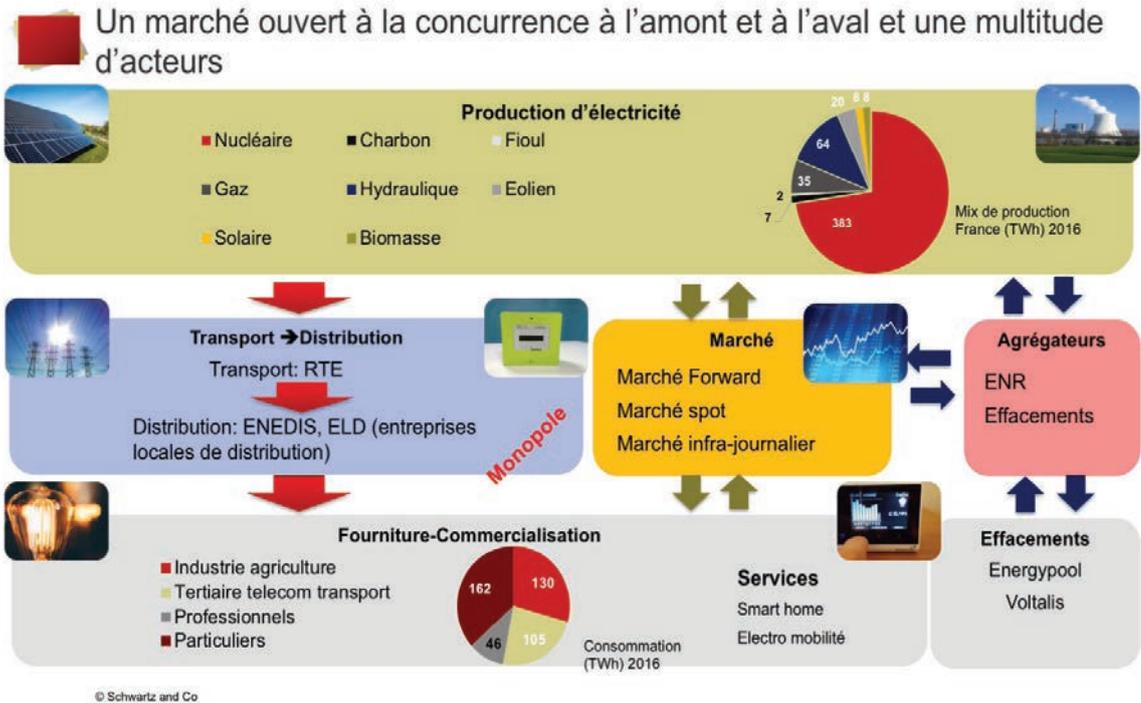
La transition énergétique risque d'être chaotique. Elle appelle des changements de la réglementation et aura un coût pour les contribuables et les consommateurs. Pour être acceptées, les mesures devront être décidées en concertation avec les populations concernées.

Le secteur de l'électricité connaît une profonde transformation et devra tirer parti de la digitalisation.

Les coûts de l'électricité d'origine renouvelable sont à la baisse et les subventions en sa faveur devraient donc diminuer. L'Europe ne financerait qu'un différentiel par rapport au prix du marché, de sorte que les producteurs d'électricité renouvelable seront exposés au risque prix.

En Europe, pas d'augmentation attendue de la demande globale d'électricité. Le développement prévu dans certains secteurs comme les transports sera progressif et balancé par les mesures d'économie attendues par ailleurs.





L'organisation du secteur de l'électricité se complexifie avec :

- le développement de différents marchés,
- l'apparition d'agrégeurs,
- la multiplication des fournisseurs au client final,
- des choix nationaux divergents.

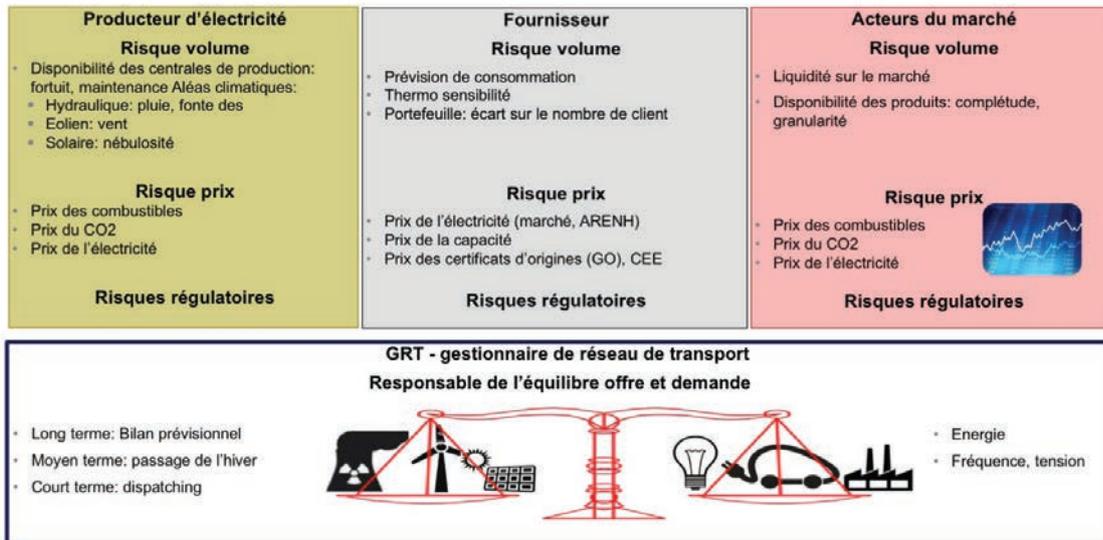


La gestion du réseau électrique au quotidien

- Importance d'une bonne prévision de l'évolution de la demande, avec une prévision affinée à mesure qu'on s'approche du jour J, et un suivi en temps réel, tout au long de celui-ci.
- Un impératif : délivrer les capacités demandées mais aussi tenir la fréquence de 50 Hz.
- Nécessité d'anticiper d'éventuels incidents. On doit en permanence être en mesure de faire face à la défaillance imprévue d'au moins une connexion (scenario dit "n-1").
- Exemple de l'anticipation de l'impact de l'éclipse solaire de 2015 au niveau européen : une étude préalable indiquait une variation de la production d'origine photovoltaïque 4 à 6 fois plus rapide que celle mesurée lors d'un lever ou coucher de soleil, pouvant atteindre 700 GW/minute pour l'ensemble du réseau européen, la hausse rapide de la production photovoltaïque lors du retour de l'ensoleillement étant la plus critique et susceptible d'entraîner une surcharge du réseau électrique.

Pour rappel, lors de la précédente éclipse totale en 1999, le parc solaire en Europe était pratiquement inexistant.

Des risques portés par les acteurs sur l'ensemble de la chaîne



© Schwartz and Co

La gestion des risques financiers

La gestion des risques financiers se répartit entre les différents acteurs et intègre l'intermittence des productions et les fluctuations de la demande.

Une forte volatilité du prix de marché peut en résulter, amenant parfois des prix négatifs : on paye les clients pour surconsommer pendant cette période et ainsi éviter les coûts d'arrêt-redémarrage des installations de production.

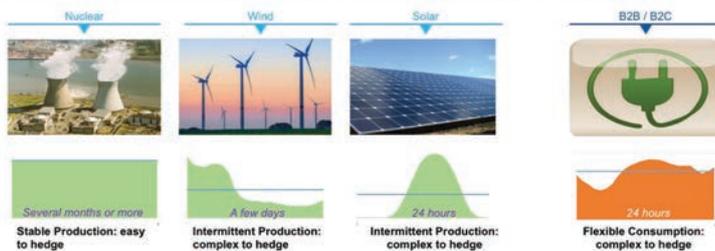
Dans ce contexte, le stockage de l'électricité représente un enjeu crucial, probablement déterminant pour

un développement des énergies renouvelables dans des conditions satisfaisantes tout en assurant une bonne gestion des réseaux. Cela concerne non seulement le stockage sur des durées de quelques heures, mais aussi de plusieurs jours, à l'échelle de l'intermittence éolienne en cas d'anticyclone stable.

C'est pourquoi la suite de ce dossier est consacrée à faire le point sur les technologies de stockage et plus particulièrement sur les innovations susceptibles d'apporter une réponse à la mesure des besoins futurs. ■

FROM A MANAGED WORLD TO AN INTERMITTENT ONE.

Intermittent production patterns are difficult to secure and push pressure on financial risks



Voir en complément, sur le site www.ifp-school.com, un rappel des caractéristiques et difficultés propres au stockage de l'électricité

STATIONNARY ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES

A BRIEF OVERVIEW



SCP 84

**PIERRE LE THIEZ**

Pierre Le Thiez is senior advisor at the International Relations Division of IFPEN. He is a Chemical Engineer and holds a PhD thesis from IFP School. After several positions as research engineer within IFPEN until 2000, then managing positions for CO₂ capture and storage (CCS), he was appointed in 2012 as R&I Program Manager, in charge of reservoir characterization. Since 2017, he has been managing the CCS and energy storage programs.

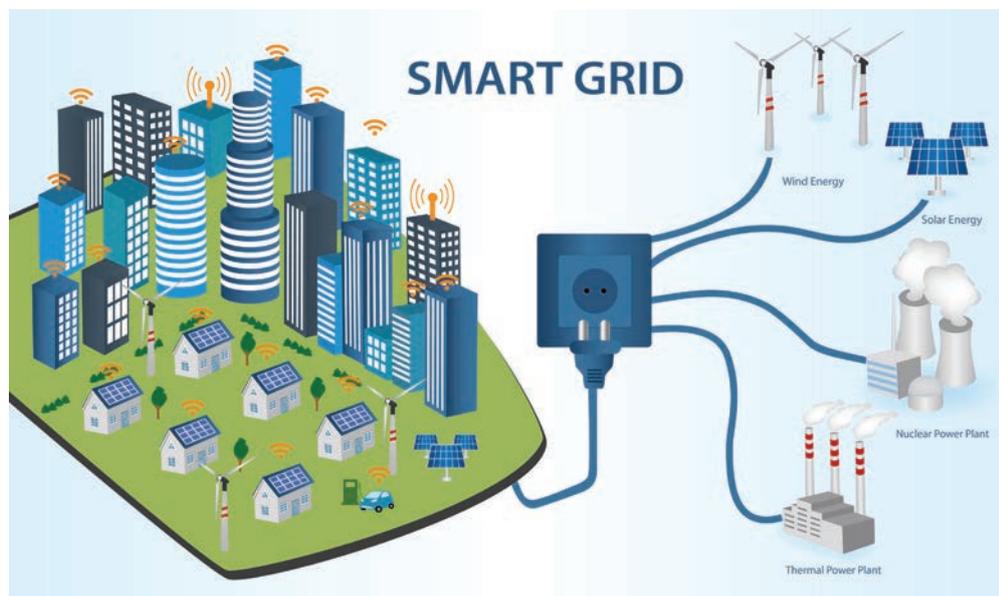
The need to decarbonize the energy mix is leading many regions of the world to increase the use of renewable energies, including solar and wind power.

In order to deliver a satisfactory operation of the electrical networks (supply/demand balance and stability), while intermittent production from these energies is growing, several options may be considered:

- Network densification and interconnection,
- Spare capacity of flexible and controllable production facilities (often carbon-based, e.g. gas-fired power stations),
- Development of Smart Grids,
- Storage of electricity.

Storage has become a key issue and is especially critical in areas with little or no interconnection (Non interconnected zones - NIZ) such as islands.

However, the storage of electricity as such is difficult and not suitable for large quantities as required for network balancing or mobility needs.



In practice, the storage of electricity is mostly made under the form of mechanical, chemical, electrochemical or thermal energy, using various technologies, as shown in figure 1.

The chemical storage relies on the so-called Power-to-Gas (PtG) process. PtG links the power grid with the gas grid by converting surplus power into a grid compatible gas via a two-step process: H₂ production by water electrolysis followed by H₂ conversion into CH₄ via methanation, using an external CO or CO₂ source.

The resulting CH₄ can be injected into the existing gas distribution grid or gas storage. It can also be used as CNG motor fuel, or utilized in all other well-established natural gas facilities. PtG might play an important role in the future energy system. However, technical and economic barriers have to be overcome before PtG can become commercially successful.

The fundamental difference between conventional batteries and flow cells is how energy is stored, i.e. as the electrode material in conventional batteries instead of the electrolyte in flow cells. One of the biggest advantages of flow batteries is that they can be almost instantly recharged by replacing the electrolyte liquid, while simultaneously recovering the spent material for re-energization. Different classes of flow cells (batteries) have been developed, including redox (see article from F. Huber), hybrid and membraneless.

Figure 2 shows the range of performances, in terms of power output and discharged duration (and energy capacity = power x duration) of the various storage technologies, which makes each of them more or less relevant according to each specific use.

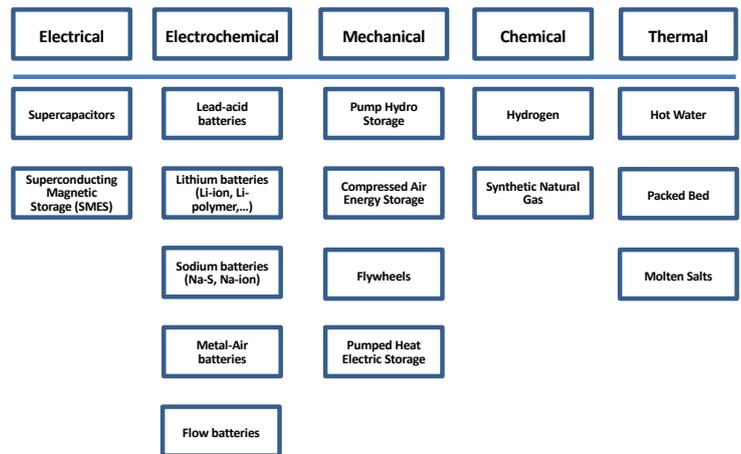


Figure 1: Classification of energy storage technologies.

Conversely, pumped hydraulic storage is more suitable to store large energy quantities and benefit from price fluctuation due to changing supply demand equilibrium.

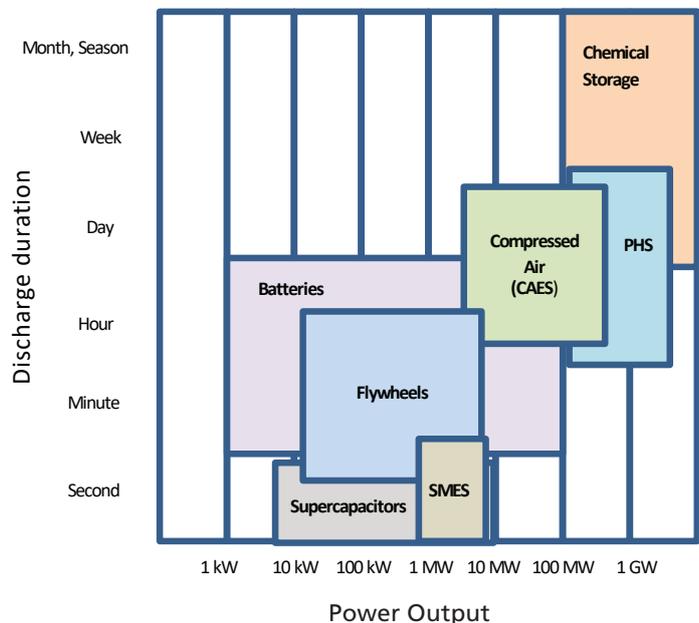


Figure 2: Storage technologies: range of performance.

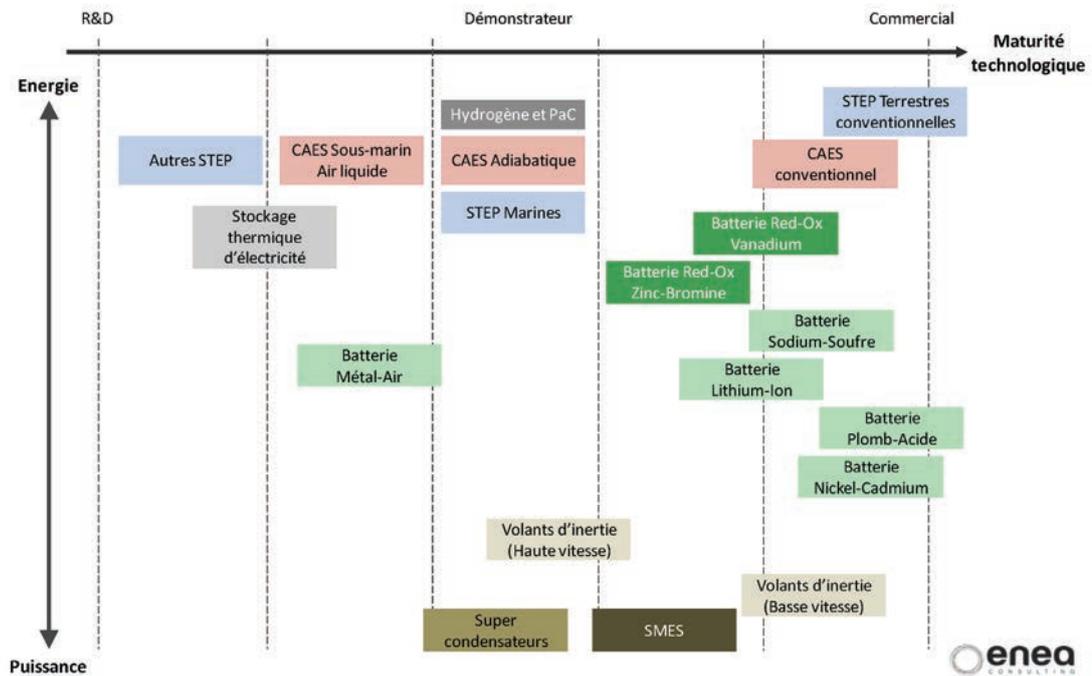


Figure 3: Typology and maturity of storage technologies.

Figure 3 shows the respective maturity level of the various technologies. The worldwide capacity of installed stationary storage, in terms of power, was estimated at around 176GW in mid-2017 (i.e. about 3% of the world's production capacity). Today 96% of this storage capacity is provided by pumped hydro, the rest consisting of thermal storage, batteries and a few large-scale compressed air systems.

The International Energy Agency (IEA) estimates that at least 20GW of additional capacity will be required by 2025 to support the development of renewable energy resources. Europe benefits from robust and interconnected networks, enabling the introduction of intermittent power without a strong need for storage at this time horizon (2025). However many places around the world, including developed countries like Australia and USA, are facing problems due to renewable integration and have launched specific industrial storage projects.

As an example, it's worth mentioning the Hornsdale Wind Farm storage in Australia. The farm consists of 99 windmills with a generation

capacity of 315MW. The 100MW Li-Ion battery storage (around 130MWh) provided by Tesla covers approximately one hectare of land. The Hornsdale Wind Farm is currently South Australia's largest renewable generator and the storage system in operation since end of 2017 enables safe integration of the windfarm in the local network, despite the fact that the storage may be discharged in about one hour.

There are a lot of technologies which may be used to store electricity, covering a large range of power, capacity and applications, but they remain expensive and further development efforts are needed in order to still improve their performances in many ways like cost, efficiency, life duration, and environmental footprint. ■



More detailed information about this project is available at : <https://hornsdalepowerreserve.com.au/>

QUELLE PLACE POUR LE STOCKAGE MASSIF DE L'ÉNERGIE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?

En jouant le rôle de tampon entre la production et la consommation, le stockage de l'énergie est une voie très prometteuse pour réussir la transition énergétique. Il peut se faire selon différents principes physiques, mais il faut prendre la mesure du défi technique et économique (Figure 1).

En effet, les contraintes économiques ou réglementaires à court terme et l'insuffisance de vision à long terme, laissent parfois peu de place aux développements de technologies innovantes réellement transformatrices du système énergétique.



JEAN-FRANÇOIS LE ROMANCER

Jean-François Le Romancer est le président de Keynergie, société d'études et de conseil en recherche et innovation spécialisée dans le secteur de l'énergie. À ce titre, il intervient régulièrement auprès d'acteurs économiques et industriels sur les thèmes des réseaux énergétiques intelligents et du stockage de l'électricité pour développer des technologies, des outils de modélisation économique et des modèles d'affaires innovants.

Il possède une expertise forte dans la recherche et l'innovation (structuration de projets, innovation ouverte et financements).

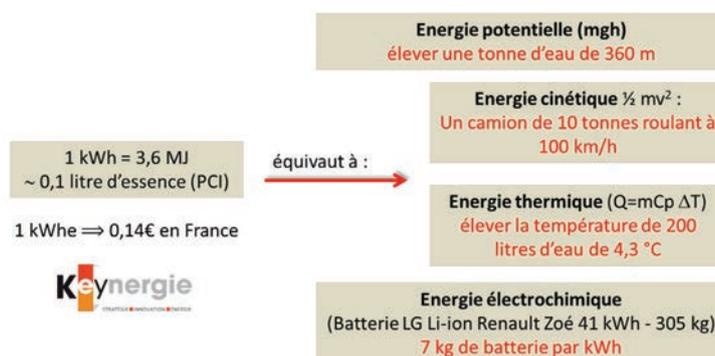


Figure 1 : Comment stocker 1 kWh ?

LES SOLUTIONS ACTUELLES RÉPONDENT PLUTÔT À DES BESOINS EN PUISSANCE QU'À DES BESOINS POUR LA GESTION DE L'ÉNERGIE.

Bien sûr, le stockage d'électricité est très présent dans l'actualité, notamment grâce aux batteries Li-ion qui ont bénéficié d'importants développements réalisés dans le domaine de l'automobile. De plus, ces batteries commencent à trouver aujourd'hui leur marché dans le secteur stationnaire notamment en lien avec la production d'électricité d'origine photovoltaïque.

Pour autant, la problématique du stockage de l'énergie n'est pas résolue : les solutions disponibles aujourd'hui répondent davantage à des besoins en puissance, pour gérer la qualité de courant, qu'aux besoins pour la gestion de l'énergie.





Un marché aujourd'hui dominé par les STEPs

Tout d'abord, cette croissance exponentielle du marché des batteries Li-ion ne doit pas faire oublier que non seulement le stockage massif d'électricité, à travers le stockage gravitaire dans les stations de transfert d'énergie par pompage-turbinage (STEP), constitue 97 % des installations actuellement connectées au réseau, mais qu'en plus les STEP représenteront, en puissance, plus de 90 % des nouvelles installations dans la prochaine décennie.

Solaire et éolien, des spectres de puissance différents

Ensuite, l'intégration du solaire PV et de l'éolien doit répondre à des problématiques très différentes. La production solaire photovoltaïque se fait principalement selon l'alternance jour/nuit (période de 24h), tandis que la production éolienne se fait principalement selon des épisodes de dépressions/anticyclones de plusieurs jours. Ainsi, pour le PV, de petits systèmes de stockage peuvent être adaptés, pour l'éolien au contraire de gros systèmes de stockage seront nécessaires. En effet, un champ éolien offshore de 500 MW pourra produire 1 GWh en 2 heures en pleine nuit lorsque la demande est

faible. Comment stocker l'excédent ? Comment l'Europe va-t-elle faire face à l'accroissement des capacités éoliennes offshore qui doivent passer de 16 GW aujourd'hui à 70 GW en 2030 ? Comment intégrer ces nouvelles puissances éoliennes concentrées dans des régions qui ne coïncident pas forcément avec les grands centres de consommation, ni avec les zones propices aux STEP ?

Les STEP, un potentiel de développement limité en Europe

Enfin, s'agissant des STEP, souvent présentées comme une solution permettant d'intégrer massivement les énergies renouvelables, il est temps de prendre conscience de leur potentiel de développement limité en Europe. Le projet européen *E Highway 2050* a évalué le besoin en STEP requis en considérant qu'il s'agissait de la seule technologie adaptée au stockage massif.

Ce besoin s'accompagne également d'investissement dans les réseaux compris entre 100 et 400 G€ pour acheminer l'électricité des lieux de production vers les lieux de stockage puis de consommation.



UN CHAMP ÉOLIEN OFFSHORE DE 500 MW POURRA PRODUIRE 1 GWH EN 2 HEURES EN PLEINE NUIT LORSQUE LA DEMANDE EST FAIBLE. COMMENT STOCKER L'EXCÉDENT ?

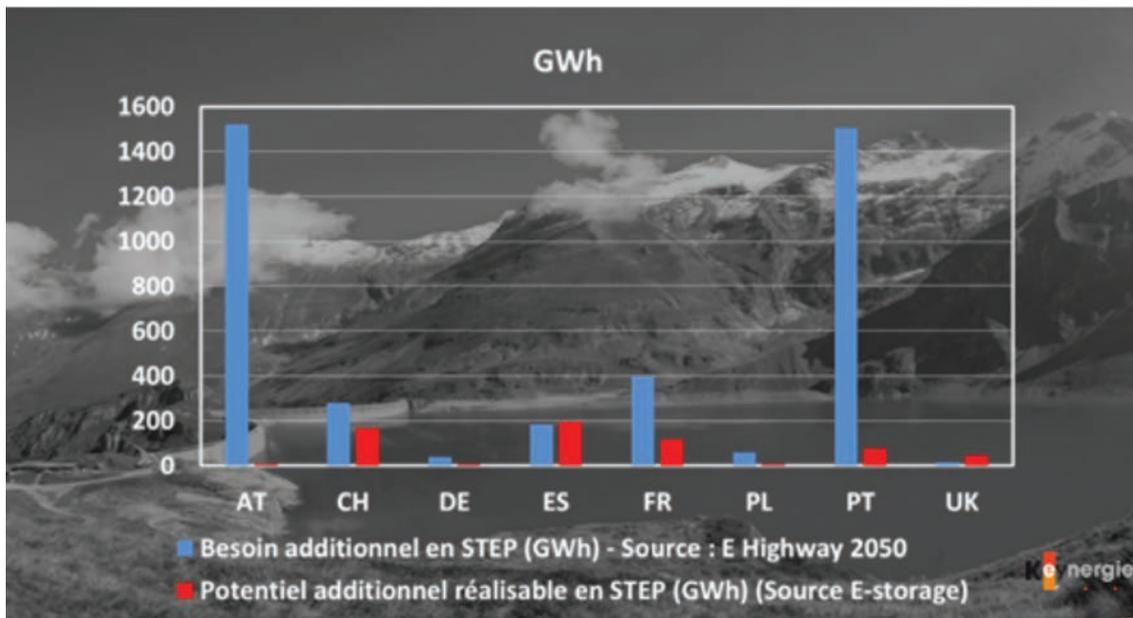


Figure 2 : STEP Comparaison des potentiels requis et réalisables en Europe.

Par ailleurs, le projet européen *E-Storage* a évalué le potentiel des STEP en Europe et notamment les écarts entre potentiel théorique (lié à la topographie) et celui réalisable. Les écarts entre les deux sont considérables : le potentiel réalisable est jusqu'à 40 fois plus faible ! Ces deux projets européens montrent qu'en Europe, le potentiel de STEP réalisable est très inférieur à celui requis (Figure 2).

Un besoin de solutions innovantes

C'est pourquoi, à côté des batteries Li-ion et des STEP, se développent d'autres technologies de stockage de moyenne et grande capacité sans les contraintes de localisation des STEP qui doivent s'implanter dans les régions montagneuses. On peut citer les systèmes par air comprimé avec stockage en enceintes pressurisées, les batteries redox à circulation, les systèmes thermodynamiques qui utilisent des stockages thermiques, ou encore l'hydrogène.

Ces technologies de stockage massif permettront de se substituer à des centrales de pointe basées sur les énergies fossiles mais leur développement est encore freiné.

En effet, du point de vue des investisseurs, ces développements sont jugés risqués car il s'agit d'importants projets industriels avec des cycles de développement longs, des besoins en fonds propres importants et le contexte réglementaire est aujourd'hui encore peu favorable.

Les législateurs commencent à prendre conscience que le stockage est un atout pour les réseaux et qu'il doit être rémunéré à sa juste valeur. En France par exemple, on peut noter un premier pas en avant dans les zones non interconnectées (ZNI) où les gestionnaires de réseaux peuvent opérer des systèmes de stockage d'électricité qui sont financés dans la limite des surcoûts de production qu'ils permettent d'éviter. Les ZNI représentent ainsi un segment de marché précoce pour les solutions de stockage.

Toutefois, une évolution du design du marché européen de l'électricité reste encore nécessaire pour permettre le développement et le déploiement de ces solutions de stockage massif sur les réseaux interconnectés. Ces solutions qui vont transformer le système énergétique sont indispensables à la réussite de la transition énergétique. ■

PUMPED HEAT ENERGY STORAGE DEVELOPING NEW TECHNOLOGY



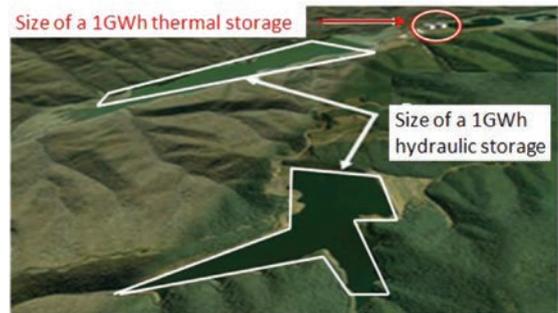
PHILIPPE MUGUERRA

Chef de projet "Nouvelles solutions pour la transition énergétique" chez Saipem, Philippe est diplômé de Chimie Paris Tech en 2001. Il a acquis une grande expérience, de la conception à la construction d'installations énergétiques.

Aujourd'hui il participe à la recherche de solutions pour les longs raccordements sous-marin pétroliers et gaziers et le développement d'architectures innovantes pour la transition énergétique : captage, séquestration, utilisation du CO₂, stockage de l'électricité et de l'hydrogène.

As explained in the introduction of the dossier, the needs to balance power demand and supply at any time, and to maintain grid voltage and frequency, especially with the development of intermittent renewable energies, will lead to an increasing need for large scale electricity storage.

In order to store electrical energy it is necessary to transform it into another form of energy which can



Hydraulic and thermal storage: comparison of required acreage..

be accumulated. Depending on the process used, the energy contained per unit volume of storage facility changes dramatically.

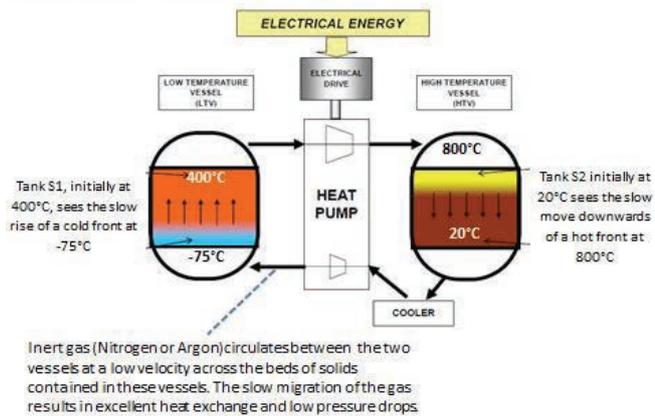
Heating is a powerful method to accumulate energy. Heat accumulators are already used in many industries: thermal power stations incorporate steam accumulators, thermodynamic solar plants store the solar energy in heat accumulators as well.

However, it is not yet common practice to store electricity as heat. The main reason is the large belief that the process is inefficient. So far, electric transmission grid operators have met the challenges on a real-time basis with a limited number of generation technologies – specifically hydropower and gas-fired combustion turbines – that have the ability to start up quickly and/or vary their electric output as electricity demand changes.

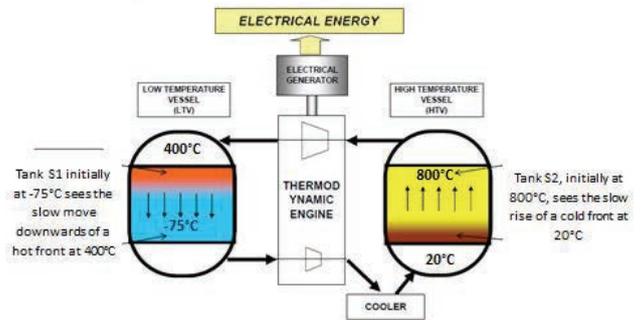
Saipem, through its XSIGHT division, offers synergistic, flexible and dynamic solutions with a disruptive approach in a variety of energy fields. Amongst other projects, XSIGHT has developed a storage process that offers the advantage of high

Storage systems	Energy density
Water pumped at 360 m height	1 kWh/t
Air compressed at 100 bars	12kWh/m ³ of high pressure reservoir
Flywheel at 300 m/s	12 kWh/t
Lead acid battery	30 kWh/t of battery
Flow battery	33 kWh/t of circulating electrolytes
Water heated at 100°C	116 kWh/t
Li-ion battery	200 kWh/t of battery
Refractory bricks heated at 1000°C	600 kWh/m ³ of hot solids
Hydrogen stored at 300 bars	900 kWh/m ³ of high pressure vessel

Storage loading phase



Storage unloading phase



energy storage density whilst keeping a good overall efficiency recovering during the offloading phase, as electricity, more than 70% of the electricity used during the loading phase. The basic principles of the process are described in the 2 figures above.

The process has clear advantages:

- It is compact, requiring some 300 times less acreage than hydraulic storage for the same capacity
- It has no specific location requirements and the storage itself can even be installed underground if required by local communities.
- It is environmentally neutral with no chemical product used, and has a lifespan much longer than a lithium-Ion battery.
- It is highly adaptable allowing to cover different combination of electric power and capacity requirements. Power would typically vary from 10 to 100MW and capacity from 100 to 1,000GWh

The vessels will be thermally insulated, as well as the connecting ducts, with materials largely used in metallurgy and other industries where high temperatures are common. Thermal losses are a function of the vessel external surface, while the storage capacity is proportional to the vessel volume. Therefore, heat losses are insignificant for large installations. As a first order of magnitude,

heat losses may represent only 1% of stored energy per day in a 1GWh storage plant.

In order to turn this concept into an economic reality, it remains to prove its feasibility mainly by constructing the turbomachinery that already exists but not at such high temperatures. It should be feasible as Nickel based alloys are utilized since the 60s for turbine rotors working at temperatures higher than 800°C without any cooling.

A small scale prototype is planned (around year 2020) and then an industrial demonstration unit (around 2025) when the market for electricity storage is calling for this type of solution. The first areas for a commercial development are non-interconnected zones like islands. ■



KEMIWATT FLOW BATTERY TECHNOLOGY: MAKING THE RENEWABLE ENERGY REVOLUTION POSSIBLE

Kemiwatt was created in 2014 further to years of research at the Institute for Chemical Sciences of Rennes. The scientists there had developed a proof of concept of a novel redox flow battery, based on organic molecules in an aqueous solution.

Traditionally flow batteries used metals such as vanadium, or halogens. The resulting electrolytes are inevitably extremely corrosive since the goal is to dissolve metals. Organic molecules offer distinctive advantages, with the possibility of reaching lower, stable costs (molecules are synthesized, not mined), biodegradability (with no equivalent in current technologies) and safety (no risk of fire or explosion and less corrosive electrolytes).

After 4 years of work, Kemiwatt has become the world technological leader (in its specific field),



Figure 1: World first's Organic Redox Battery (ORB) prototype.

with a 10-people team at the highest level of expertise, and the first systems at industrial scale ever completed with this chemistry. A first prototype (see figure 1) has been successfully tested in 2016, and a containerized demonstrator (figure 2) in 2017. The technology can be used for various applications, such as:

- Off-grid solar + storage systems, for instance for rural electrification in emerging economies and islands. More than a billion people in the world today do not have access to electricity and many others rely on diesel generators for some basic needs (lighting, TV, computer, phone's battery, etc.). Short-life lead-acid batteries and highly sophisticated lithium systems are unsuitable for such applications.
- Grid services (load shifting, peak shaving, smoothing, frequency regulation, investment deferral, etc.), either for weak grids (intermediate economies) or renewable-intensive energy mixes, ultimately



FRANÇOIS HUBER

François Huber is the CEO and co-founder of Kemiwatt, with 25-year operational experience in various industrial sectors, mostly related to energy. He worked with EDF, Philips and FLSmidth in renewable energy, electrical equipment & industrial systems, and was the CEO of the French bureau of Blue H, a Dutch startup developing floating offshore wind turbines.

He was also an international consultant for several years and got involved in a number of projects as well as teaching in higher education. He holds a Master in Chemical Engineering and an MBA.

in advanced economies (Australia, California and Germany, for instance, paving the way). The battery is particularly interesting because it can provide several services at once, for instance storing solar or wind energy at times, and relieving the load on a line at other times.

The driving force behind these disruptive market developments is the new competitiveness of renewable energy.

The growing share of this intermittent form of energy in the mix will wildly increase the need for storage, not for a few minutes or tens of minutes of power, which is currently accommodated with by implementing lithium-ion solutions, but for far longer periods. Organic redox flow batteries are then a solution of choice.

Many decision makers have not fully grasped the magnitude of the changes, underestimating the consequences of clean energy generation becoming cheaper than fossils and nuclear in an increasing number of places in the world.

One of the key features of renewable energy is that projects can be launched at a very small scale, between tens of KW and a few MW. Investments are therefore much more manageable, faster and more widely distributed (as opposed to the long, huge and heavily structural investments that power plants represent). If a battery such as Kemiwatt's can be used to manage the intermittency at an affordable cost (including end of life issues often ignored with current non-recyclable technologies), the last roadblock to implementing renewable energy on a large-scale worldwide might be removed.



Figure 2: World's first containerized demonstrator of ORB.



REMINDER ABOUT THE REDOX FLOW BATTERY TECHNOLOGY

What the redox flow battery technology does is to store energy in a liquid. A redox flow battery (see figure 3) features a converter, two tanks and ancillary equipment (pumps, valves, power converter, etc.). The liquids (electrolytes) are pumped through the converter where, under the action of the electric current, they undergo a chemical reaction. The electricity is thus stored under chemical form. When the process is reversed, the chemicals regain their initial form and return the electricity.

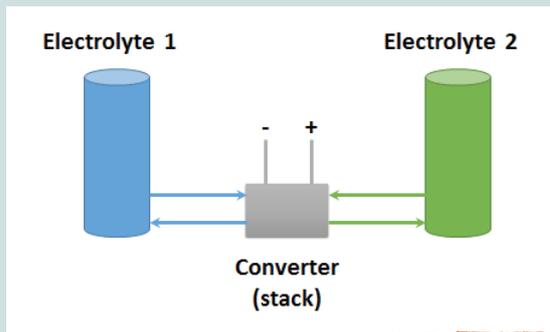


Figure 3: Redox Flow Battery simplified scheme.

One of the key advantages of the technology is that it separates power from capacity. The battery can be sized at 1MW, for instance, to match an energy source, and this will be the size of the converter. Then, the capacity, i.e. the size of the tanks, can be selected independently, for instance at 4 or 8MWh, so that the system can store 4 or 8 hours of production.

If the chemicals used in the redox flow battery are not expensive, then extra capacity will cost far less than its equivalent in conventional batteries: instead of

adding batteries, you just add extra liquids in the tanks (see figure 4). Redox batteries are therefore very interesting when large capacities are required.

Another advantage of the redox flow battery is that the electrodes are not chemically involved in the process. In conventional batteries, the electrolytes and the electrodes react with each other during the charge and discharge. This often causes a progressive degradation of the system, cycle after cycle, until the performance is no longer acceptable. By contrast, electrodes in redox flow batteries just convey the current, while the chemical reaction takes place only in the electrolyte. This makes it easier to design a long-lasting system, since the chemical reaction at stake will be reversible for thousands of cycles.

Moreover, if the electrolytes are stable, the energy can be stored for a long time without any self discharge, because it is kept under a chemical form. It is thus possible to get the energy back months after the charge, with the rated efficiency. ■

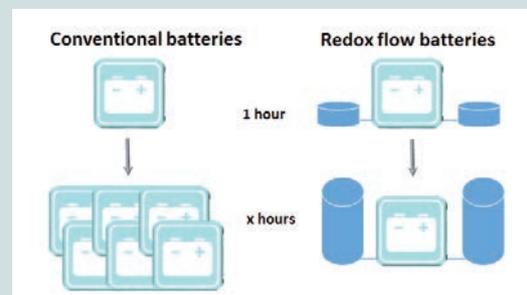


Figure 4: Redox flow batteries versus conventional ones.

GAGNER EN FLEXIBILITÉ ÉNERGÉTIQUE : LE RÔLE DE L'HYDROGÈNE

NOTES DE LECTURE

par Patrick Oberto (RAF 73)

Suite à la publication dans "Pour la science", d'un dossier très complet réalisé en partenariat avec Engie "L'hydrogène, accélérateur de la transition énergétique", nous vous présentons ci-dessous nos notes de lecture, reflet de notre perception, pour vous permettre de mieux situer les enjeux de cette filière énergétique et surtout vous donner l'envie de consulter dans son intégralité le dossier qui présente la vision d'Engie sur cette filière sur le site :

<https://www.pourlascience.fr/p/publi-redactionnel//hydrogene-accelerateur-de-la-transition-energetique-12933.php>

Avec la diversification des sources d'énergie, la déconcentration des sites de production, l'émergence d'une production d'électricité intermittente, fonction du jour, de la nuit, de la nébulosité, de la présence ou non d'un anticyclone, une flexibilité de plus en plus grande des systèmes énergétiques va être nécessaire. On peut imaginer une filière Hydrogène qui remplirait ce rôle et pourrait devenir une passerelle entre les systèmes énergétiques, électrique, gazier, liquide.

On peut transformer l'énergie électrique en énergie chimique en produisant de l'hydrogène grâce à l'électrolyse et, avec les piles à combustible, inverser la réaction en générant de l'électricité à partir d'hydrogène. Les deux phénomènes peuvent d'ailleurs se dérouler dans un même dispositif réversible.

Avec le concept "Power to Gas" (voir figure 1 page 28), on peut injecter l'hydrogène produit par électrolyse, en mélange dans les réseaux de distribution de gaz naturel, jusqu'à certaines concentrations (6 % aujourd'hui, peut-être >10 % demain ?). En le recombinaison avec du CO₂ recyclé, on peut le transformer en CH₄ et, à travers

les infrastructures gazières, bénéficier de la palette d'utilisations du gaz dont le stockage fait partie. On peut même fabriquer des combustibles de synthèse liquides. Les rendements indiqués sur le schéma de la page 28 sont ceux envisageables à l'horizon 2030. Ils dépendront notamment de la capacité à réutiliser la chaleur produite dans l'étape de méthanation et éventuellement par la pile à combustible.

Comme un gaz, on sait stocker et transporter l'hydrogène. Comme les hydrocarbures, on peut le "brûler", mais sans rejeter de CO₂.

Quelle que soit son origine, l'hydrogène apparaît comme un facteur de flexibilité qui permet aussi bien de stocker et de valoriser des surcapacités électriques, notamment d'origine renouvelable, que d'adapter l'offre à la demande, y compris en termes de mobilité.

Comme chacune de ces opérations est consommatrice d'énergie, le déploiement de ces technologies dépendra à la fois du contexte local et de leurs coûts et rendements.



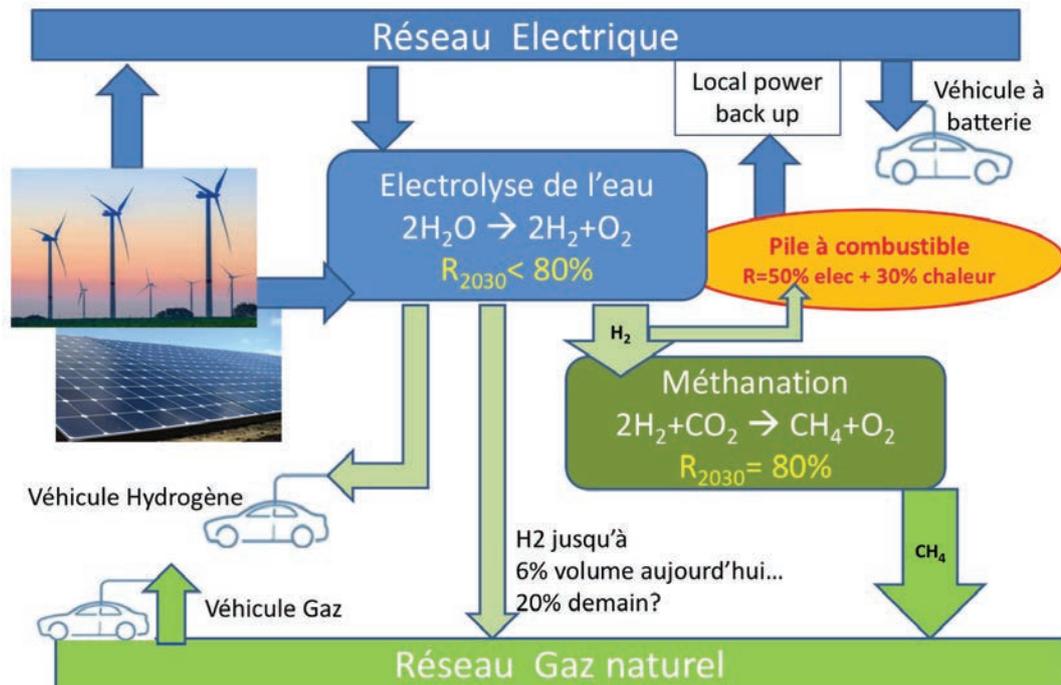


Figure 1: Combinaisons possibles "power to gas".

Améliorations en cascade

La molécule d'hydrogène (H_2) est un combustible propre et à fort contenu énergétique par unité de masse, de l'ordre de 33 kWh/kg, soit près de trois fois plus que l'essence. Cependant, sa très faible densité (environ 15 fois plus léger que l'air) fait que, même à une pression de 700 bars, son contenu énergétique n'est que de 1,3 kWh/l, soit environ sept fois moins que celui d'un litre d'essence (environ 9,5 kWh/l). En conséquence, le transport de l'hydrogène nécessite de véhiculer des volumes considérables, bien supérieurs à ceux du pétrole.

De plus, la molécule H_2 étant extrêmement petite, elle passe facilement à travers de nombreux matériaux. En d'autres termes, sa mise en bouteille n'est pas aisée.

Engie, via son centre de recherches Engie Lab CRIGEN, développe pour ses clients des offres performantes autour de l'hydrogène, en travaillant sur l'ensemble de la chaîne : fabrication, stockage, transport et différentes utilisations.

Dans le domaine de la production, pour des raisons environnementales, Engie a choisi de se passer du méthane, qui fournit aujourd'hui l'essentiel de l'hydrogène. La priorité est donnée à l'hydrogène obtenu à partir d'électricité d'origine renouvelable. Pour rendre compétitif cet hydrogène vert, il faut en réduire les coûts de production.

Un tel objectif implique, d'une part, de travailler sur les technologies actuelles pour en diminuer les coûts d'investissement et, d'autre part, d'améliorer l'efficacité énergétique et les rendements de ces systèmes, afin de réduire les coûts d'exploitation. L'optimisation de la flexibilité des systèmes de production, leur modularité, leur robustesse et leur durée de vie sont aussi des axes de recherche importants.

La compression de l'hydrogène, le plus léger de tous les gaz, est un point majeur. Sa faible densité impose de le comprimer fortement pour le transporter et le stocker sans qu'il prenne trop de place. Mais la compression coûte cher. Il faut donc élaborer de nouvelles méthodes, moins énergivores et moins coûteuses.

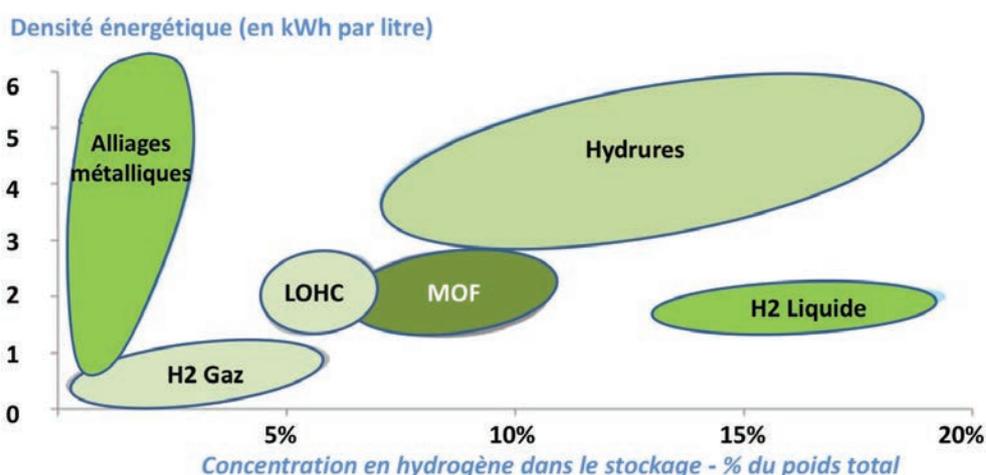
Au-delà du stockage d'hydrogène compressé et transporté par camion, d'autres solutions existent et sont étudiées par Engie Lab CRIGEN : réseau dédié à l'hydrogène, en mélange avec le gaz naturel, H₂ liquéfié, H₂ combiné avec d'autres composés, etc., autant de solutions à des niveaux de maturité différents, qui ont chacune leurs avantages et leurs limites.

La figure 2 représente la densité d'énergie en fonction du mode de stockage ou de transport de l'hydrogène. Toutes les solutions envisagées cherchent à augmenter cette densité énergétique mais aucune ne parvient à s'approcher de celle de l'essence. Le défi du contenant apparaît clairement : même en passant par l'H₂ liquide, seul 20 % du poids transporté est de l'hydrogène. Les moyens de transport alimentés à l'H₂ sont donc assez énergivores, ce qui implique de travailler à améliorer leur efficacité globale. À l'heure actuelle, pour les technologies présentées, seuls de petits pilotes existent. Des expériences à grande échelle sont impératives et urgentes. Une analyse de leur cycle de vie est aussi nécessaire.

En bout de chaîne, l'utilisation efficace de l'hydrogène en tant qu'énergie est tout aussi importante. Les technologies se développent et s'améliorent rapidement, pour arriver désormais au stade commercial. Outre les moteurs et les turbines, beaucoup d'entre elles sont fondées sur la pile à combustible : véhicules électriques, cogénération d'électricité et de chaleur dans les bâtiments (avec des rendements globaux proches de 90 %), production d'énergie dans des sites isolés. Les premières voitures à hydrogène sont commercialisées et offrent, avec quelques kilogrammes d'hydrogène, la même autonomie et le même temps de recharge qu'une voiture à essence classique. Une offre existe pour les bus et même pour les vélos. Le premier train à hydrogène a vu le jour. Le tour des camions, des bateaux et des avions viendra. Après tout, Ariane décolle pour partie à l'hydrogène.

Au-delà des progrès majeurs déjà accomplis, le déploiement massif des piles à combustible nécessite une réduction des coûts, un allongement de la durée de vie et de l'efficacité des systèmes stationnaires ainsi qu'une montée en taille.

Caractéristiques de l'hydrogène sous différentes formes



Hydrogène gazeux ; hydrogène liquide; Alliage métallique ; Hydrures(anion H⁻).
LOHC Liquid Organic Hydrogen Carriers
MOF Metal Organic Frameworks -réseaux moléculaires métallo-organiques

Figure 2 : Densité d'énergie en fonction du mode de stockage de l'hydrogène.

Engie Lab CRIGEN y travaille depuis de nombreuses années en partenariat avec des constructeurs. Plusieurs systèmes sont explorés et expérimentés sur site, de taille et de technologies différentes. L'hydrogène associé au gaz naturel, l'amélioration et la réduction des coûts des systèmes de purification, le développement de stations-service innovantes, l'efficacité des applications industrielles, etc., autant de sujets présents sur la "feuille de route" R&D d'Engie. Engie, intégrateur de ces systèmes auprès des clients finaux, couvre l'ensemble du spectre technologique, de la production aux utilisations finales.

Convaincue que l'hydrogène peut être un "game changer" au service de la transition énergétique en France, en Europe et dans le monde, Engie accompagne également les acteurs afin de favoriser la mise en place d'une réglementation adaptée au développement d'une filière Hydrogène sûre, tout en informant l'ensemble des parties prenantes des bénéfices environnementaux et sociétaux attendus. Engie travaille en concertation avec toutes les parties prenantes à la mise en place de cette filière, au sein de l'"Hydrogen Council" et d'"Hydrogen Europe", mais aussi de l'AFHYPAC (Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible). ■



L'HYDROGÈNE NATUREL : UN NOUVEAU PÉTROLE ?

À Bourakébougou, au Mali, à 60 kilomètres au nord-ouest de Bamako, les habitants ont toujours entendu une sorte de bourdonnement venu du sol. L'explication est venue un jour de 1987, lorsqu'a été entrepris un forage d'eau : ce n'est pas ce liquide qui en est sorti mais un gaz composé à 98 % d'hydrogène et 2 % de méthane. Ce gisement est maintenant exploité par la Petroma et a fait de Bourakébougou un pionnier dans la production d'électricité à partir de l'hydrogène naturel.

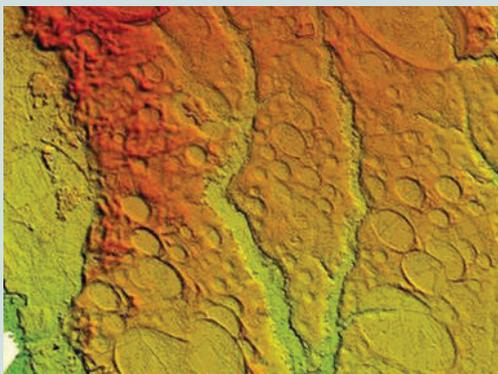


Figure 3 : les Carolina Bay (ici révélées par LIDAR), à l'est des États-Unis, sont des dépressions elliptiques dont certaines libèrent de l'hydrogène en quantité importante.

La découverte d'émanations naturelles d'hydrogène en divers endroits du monde relance le rêve d'une énergie propre et bon marché. C'est pourquoi il faut comprendre comment l'hydrogène se forme, se déplace dans le sous-sol (sous forme gazeuse ou dissoute ?) et peut s'accumuler et va évoluer dans le temps.

Engie travaille sur le sujet à différents niveaux. Avec IFPEN sont étudiées les réactions entre l'hydrogène et les aquifères en fonction de leur profondeur et salinité. Avec le CNRS à Grenoble, Engie modélise le déplacement de l'hydrogène dans les sols et son interaction avec différents éléments. Enfin, avec la société GEO4U et la filiale brésilienne d'Engie, il s'agit de suivre les échappements d'hydrogène dans un bassin du Brésil. ■

IFP SCHOOL: FROM PETROLEUM AND COMBUSTION ENGINES TO ENERGY AND TRANSPORT



Arash Farnoosh (PEM 09)

- Graduate engineering degrees from both INSA and IFP School.
- Research MSc in Energy and Transfer Engineering from the university of Toulouse.
- PhD from the university of Montpellier at the Centre of Research on Energy Economics & Law.

Arash, can you briefly explain what your job at IFP School consists of?

Let me start by saying that I am professor at IFP School and hold an academic chair in Electricity Economics and Digital Transition. At the same time, I am head of two master programs: one in Petroleum Economics and Management (PEM) and the other in Executive Energy Management in partnership with BI Norwegian Business School in Oslo. I am also in charge of all the teaching units and research projects related to electricity sector at the Center of Energy Economics and Management, including, of course, techno-economic part of renewable energies.

Can you give us an idea of the volume and content of the courses on electricity in these programs?

In our courses related to electricity, we cover both technical and economic aspects. In simple words, we first introduce the technical characteristics of power plants, whether "renewable" or conventional, and thereafter, we go through all business areas such as project financing, market structure and, of course, pricing. Courses dedicated to electricity concern all of the programs delivered at our Center.

In our "Energy and Market" program, around 30% of the academic content is devoted to electricity. As a matter of fact, since 5-6 years ago, our industrial partners have been asking for more and more competencies and skills in electricity. This is why we have introduced a considerable amount of teaching units, courses and projects, related to this sector. In the case of PEM and Executive Master in Energy Management, the amount of mandatory courses related to electricity is less, but the students can go much further deep into this sector through various elective courses devoted to electricity and renewable energies. Maybe I should emphasize the fact that recently, we have also introduced many courses about Digitalization which is becoming a very important player in the framework of the de-carbonization of electricity mix.

And what can you say about the students expectations and the jobs opportunities they are offered in the electricity sector?

Apart from the industrial demand for this sector, I should insist on the fact that the candidates of IFP School, as well as the students, are asking for more electricity training and projects in our programs. For example, at least half of our students this year want to work, whether directly in power companies or in start ups related to electric power and renewable energies.

Furthermore, as I mentioned before, the arrival of all these digital tools such as big data analytics and machine learning helps a lot the emergence of new companies and jobs opportunities related to electricity in general and especially if it is coming from renewable resources. We have also a growing number of students who decide to do entrepreneurship and create their own company/start-up just upon graduation from IFP School. This was not the case in the past but, as we provide them with more skills and know-how about the electricity sector and associated digital tools, it is becoming easier for them to try this adventure.

Do you have, to conclude, a personal message that you would like to share with our readers?

Yes, my message to IFP School alumni would be the following: it is true that, at the beginning, we were a school fully dedicated to petroleum and combustion engines. But it is not the case at all anymore.

Indeed, we are becoming the school of Energy and Transport. I am saying that because we don't only cover petroleum but all the energy chains including electricity, renewables, etc.

It is the same case for the transport sector as we are doing and developing more materials related to electric vehicles and future mobility, rather than traditional combustion engines only. This makes a lot of sense, not only because of the climate change concerns but also because the energy sector needs, by nature, to be understood as a whole. ■

POINTS DE VUE DE JEUNES DIPLÔMÉS



Pierre-Louis Delon
(ENM 16)

Pouvez-vous nous retracer votre parcours et nous parler de votre fonction actuelle ?

Je suis diplômé du programme Energie et Marchés d'IFP School, que j'ai réalisé en alternance chez Engie. J'avais intégré ce programme après ma formation d'ingénieur généraliste à Centrale Lyon. Aujourd'hui, et depuis la fin de ma formation, je suis analyste financier chez Finergreen.

Finergreen est une société de conseil financier dédiée aux énergies renouvelables, qui soutient les acteurs du secteur dans leurs opérations financières et stratégiques : financement de projet, cession ou acquisition d'actifs de production, levée de fonds, etc. Nos clients sont des producteurs indépendants d'électricité, des développeurs de projets ou des investisseurs spécialisés dans le solaire, l'éolien, l'hydraulique ou le biogaz. Nous sommes aujourd'hui une trentaine de collaborateurs, répartis entre quatre bureaux à Paris, Abidjan, Singapour et Dubaï. Nous avons pour vocation de financer les énergies nouvelles, promouvoir l'investissement vert et favoriser la transition énergétique.

En quoi la formation dispensée par IFP School vous a-t-elle aidé ?

Le contenu de la formation reçue à IFP School m'avait permis de mettre un premier pied dans ce secteur. Le programme ENM est en effet très ouvert sur le monde de l'énergie dans son ensemble et traite, au-delà de l'Oil & Gas, des sujets liés au marché de l'électricité et aux énergies renouvelables. Je pense notamment aux modules de formation sur ces dernières, très appliqués, avec un cas concret de développement d'un projet solaire et l'analyse de sa rentabilité. C'est typiquement le genre de démarche menée "dans la vraie vie" par les développeurs de projets et leurs partenaires techniques et financiers.

Mixer des enseignements encadrés par des professeurs spécialistes, avec des interventions dispensées par des professionnels du secteur, constitue un apprentissage complet, de la théorie et des concepts jusqu'à la pratique et aux applications. C'est ce qui fait la richesse des programmes d'IFP School.

Ce sont les modules sur les énergies renouvelables qui ont éveillé ma curiosité pour ce secteur encore jeune, en croissance, et plein de sens pour les jeunes diplômés désireux de participer, à leur échelle, à la transition énergétique. Le champ des possibles y est encore relativement bien dégagé et beaucoup de choses restent à faire : développer les moyens de stockage de l'électricité, capitaliser sur le potentiel encore peu exploité de l'hydrogène, multiplier significativement les capacités renouvelables installées, maîtriser l'effacement de consommation, dimensionner et adapter les réseaux à la multiplication des sources de production intermittentes et décentralisées, etc.

Au-delà de ces aspects technologiques, le marché des EnR évolue très rapidement et, là encore, de nouvelles tendances émergent comme le développement des contrats privés d'achat de l'électricité, les mouvements de consolidation entre acteurs ou encore le lancement en bourse de certains autres.

En se nourrissant de l'expérience de leur aînés, tout en apportant un regard nouveau et une grande curiosité, les jeunes diplômés d'IFP School sont ainsi bien armés pour se faire une place dans le secteur des énergies renouvelables. ■



Jorge Meneses
(ENM 16)

Vous avez opté pour une carrière dans le secteur de l'électricité. Pouvez-vous nous dire pourquoi ?

Lorsque j'ai fait le choix de postuler à IFP School, je travaillais pour un sous-traitant de la compagnie colombienne de pétrole et mon projet était d'évoluer dans l'économie et la gestion du secteur "Oil and Gas". Quant au programme ENM, il me semblait le plus pertinent dans la mesure où je souhaitais également découvrir le secteur de l'électricité tout en développant mes compétences dans le secteur pétrolier.

À mon arrivée à IFP School, j'ai reçu une formation structurée sur les aspects techniques de l'amont et de l'aval de l'industrie pétrolière, gazière et électrique ainsi que sur les aspects économique-financiers. Les différents outils appris à l'École m'ont ouvert un certain nombre d'options pour le développement de ma carrière. C'est ainsi que j'ai pu changer de cap compte tenu du contexte de l'époque et m'orienter vers l'industrie électrique, et plus particulièrement les énergies renouvelables.

Vous travaillez actuellement à la Commission de régulation de l'énergie (CRE). Comment en êtes-vous arrivé là ?

J'ai commencé ma carrière en France chez Akuo Energy en tant qu'analyste de marché, ce qui m'a permis de découvrir le fonctionnement du marché de gros de l'électricité dans différents pays. Pour élaborer la stratégie commerciale, il est nécessaire de procéder à des analyses : une analyse technique du système qui permet de comprendre le fonctionnement des réseaux et une analyse financière des différentes transactions pouvant être effectuées. Au cours de cette expérience, j'ai approfondi mes connaissances sur le fonctionnement des marchés de l'électricité dans différents pays. J'ai notamment remarqué que chacun possède un "mix énergétique" particulier qui intègre à sa manière l'intermittence des énergies renouvelables.

La décision de quitter Akuo Energy pour intégrer la CRE reposait sur une vision de carrière. Au cours de mon expérience précédente, j'ai pu comprendre que les mécanismes mis en place pour un fonctionnement correct et transparent des marchés étaient fondamentaux et je souhaitais contribuer à cela. Aujourd'hui, j'évolue dans le département de surveillance des marchés de gros où je veille à la transparence et l'intégrité des marchés de l'électricité et du gaz.

Comment voyez-vous la suite de votre carrière ?

L'avenir que je souhaite pour ma carrière serait de continuer à travailler dans les secteurs du gaz et de l'électricité en collaboration avec des politiques publiques permettant un développement durable et un impact positif sur le client final. Sans aucun doute, grâce à la formation reçue à IFP School, ma carrière a pris un départ encourageant et conforme à mes espérances. ■

BIBLIOGRAPHY

Foreword: To provide a holistic view of Electricity in a few pages has proved very challenging. There is no consensus on the fuel mix over a time horizon of 30 years and it is difficult to assess the level of maturity of some of the technologies related to renewables and electricity storage. As a consequence, we have selected a few recent sources of information that are generic but provide references to more detailed technical articles.

OUTLOOKS AND STATISTICS

- Panorama de l'électricité renouvelable en 2017. RTE, SER, ENEDIS, ADEE, Décembre 2017. https://www.rte-france.com/sites/default/files/panorama_enr_2017.pdf
- New Energy Outlook 2018. Bloomberg NEF : <https://bnf.turl.co/story/neo2018?teaser=true>
- BP: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- REN21: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
- International Energy Agency (IEA): <https://www.iea.org/Textbase/npsum/renew2017MRSsum.pdf>
- US Energy Information Administration (EIA): [https://www.eia.gov/outlooks/archive/ieo17/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/archive/ieo17/pdf/0484(2017).pdf)
- DNV-GL: http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2017/09/DNV-GL_-Energy-Transition-Outlook-2017_renewables_lowres_single_0109.pdf

ECONOMICS

- Monographie n° 1 sur la compétitivité des moyens de production renouvelable. Commission de régulation de l'Énergie. Mai 2018. http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/2Monographies/1_Monographie_Mix_Electrique.pdf
- Power Markets Analysis. EGM Economic Research. ENGIE Global markets. 27 September 2018. <http://www.engie-globalmarkets.com/>
- Electricity storage and renewables. Costs and markets to 2030. IRENA 2017. http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf

STORAGE TECHNOLOGIES

- Monographie n° 2 sur le stockage d'énergie. Commission de régulation de l'Énergie. Mai 2018. http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/2Monographies/2_Monographie_Stockage.pdf
- Energy Storage for the grid. MIT Energy Initiative Working Paper. April 2018. <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/04/Energy-Storage-for-the-Grid.pdf>
- Le stockage de l'énergie électrique. Alain Obadia. Conseil économique, social et environnemental. Juin 2015. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/154000390/index.shtml>
- Le stockage d'énergie par batteries, un avenir prometteur ? B. Cano, C. Dornstetter, R. Gilliotte, A. Perrin, YELE Consulting, 2017. <https://www.yele.fr/smart-grid/le-stockage-denergie-par-batterie-un-avenir-prometteur/>

POWER GRIDS

- Monographie n° 3 sur les réseaux électriques. Commission de régulation de l'Énergie. Mai 2018. http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/2Monographies/3_Monographie_Reseaux_Electriques.pdf
- BOSTON CONSULTING GROUP. The power Grid of the future. By Magín Yáñez , Konark Singh , Justin Dean , Ferdinand Varga , Philip Hirschhorn , Alfonso Abella , Javier Argüeso and Sameer Agrawal. July 2018. <https://www.bcg.com/publications/2018/power-grid-future.aspx>

Le nouveau site web des alumni d'IFP School est en ligne <https://alumni.ifp-school.com>

Ce site intègre toutes les fonctionnalités nécessaires à la gestion d'une association d'anciens élèves. Doté d'une nouvelle charte graphique et d'une navigation facilitée il s'est donné pour objectif d'améliorer les relations dans le réseau des alumni IFP School.

Le site permet ainsi aux adhérents de visualiser sur une carte la localisation des anciens élèves et de retrouver leurs coordonnées.



Bienvenue sur le site des Alumni d'IFP School

Ce site permet aux diplômés et aux élèves d'IFP School d'avoir accès à un certain nombre de services afin de faire vivre le réseau et de maintenir les liens au sein de la communauté.

Certains services sont accessibles à tous les diplômés et étudiants (mise à disposition d'une adresse email à vie, mise à jour des coordonnées dans le base de données des diplômés, recherche interne pour trouver l'adresse électronique de tel diplômé, IFP School en ligne, envoi d'une nomination, assistance à des conférences).

Des services supplémentaires sont proposés aux membres adhérents à l'association et à jour de leur situation : prestations Emploi-orientation, annuaire papier, abonnement à la revue IFP School Alumni Mag - ainsi que des tarifs préférentiels pour la 5ème année et les autres cultures.

A partir de ce site, vous pouvez accéder à un annuaire de plus de 18 000 diplômés, aux pages des groupes géographiques, aux offres d'emploi sélectionnées pour les diplômés.

Vous pouvez aussi mettre à jour votre exemple personnel / vos coordonnées personnelles et professionnelles, votre CV, etc.

Sommaire navigation :



BIENVENUE AUX ÉTUDIANTS DE LA NOUVELLE PROMOTION



De gauche à droite : Christine Travers, directrice de l'École, les heureux gagnants : Charles Guari, Karan Shahi, Ayush Jain et Angelo Fernando Ribeiro Thomaz, ainsi que Jean Sentenac, Président d'Axens et de l'Association.

Le jeudi 11 octobre dernier, l'Association a organisé un cocktail de bienvenue pour la promotion 2019, afin de permettre aux étudiants de mieux connaître l'association et de rencontrer ses responsables dans une ambiance conviviale.

Ils ont été accueillis par le président Jean Sentenac qui leur a brièvement présenté les activités de l'association et les a invités à la rejoindre puisqu'ils ont désormais la possibilité d'y adhérer en tant que membres associés.

Cet événement était sponsorisé par Axens qui a offert 4 places pour assister au match de football PSG – Amiens, attribuées par tirage au sort parmi les élèves ayant adhéré ce jour-là (voir photo).

A Journey from Oil-Major positions to Start-up creation!

As many of you, after a first contact with the Oil & Gas industry during an internship, my dream was to integrate a large company with its promise of ambitious projects and international careers. Thanks to IFP School, definitely one of the best way to be prepared for the industry, I was able to join Total after the school and achieve my dream.

**Nicolas Pellissier
(GOP 2007),**
President



After initial positions in exploration and reservoir modelling at Total headquarters in France, I was in charge of geological operations supervision with a track record of more than 60 exploration & development wells drilled, 11 projects in 8 countries in Europe, MENA and Sub-Saharan Africa. I joined the Exploration Intelligence department in 2015 where I contributed to Group exploration strategy and monitoring and follow-up of competitors' activity. My objectives of project diversity and international experience were fully satisfied!

However, during this decade, I had the continuous ambition to develop side projects. I had the opportunity to develop several internal projects such as the use of Artificial Intelligence (data mining, machine & deep learning) applied to exploration business, which reached in June 2017 the final stage of the "Best Innovator" internal challenge. Nevertheless, the call of entrepreneurship was still there!

My first experience in that domain is born from a dream of five childhood friends who always had in mind to start a business together! We finally decided to share our devotion for organic wines by launching a dedicated wine bar/cave, called "Vindiou", in June 2016, in the old-city of Nancy. From that point, my objective was to find a way to associate entrepreneurship and geosciences. 45-8 Energy was finally launched in September 2017!

45-8 Energy is a start-up created by 5 associates which has for objective to use the experience of Oil & Gas exploration to look after specific industrial gases in Western Europe, in particular Helium & native Hydrogen. Our interest for Helium started in November 2012 with the discovery, in the

international press, of a weird situation: Disneyland Tokyo announced officially the suspension of Helium balloons due to a worldwide shortage of this gas! Strange news: where this gas was coming from?

We decided to create the company after documenting the favorable geological context of Helium accumulation, its market, the significant increase of its price over the period and the promising perspectives beyond simple balloon considerations. Our positioning goal was to get away from Helium market constraints such as transport, LNG dependency and limited worldwide production sources: to explore and produce Helium at low cost in Europe and for Europe! In addition, we also located several geological contexts that could jointly be favorable to Helium and native Hydrogen accumulations. In a success case, this hydrogen fraction could improve the global profitability of our project, be valorized as green electricity or directly injected in the public gas network which can legally accommodate up to 2%.

Convinced by the Helium market potential in the coming years, 45-8 Energy is now on the way to

apply for exploration licenses in Europe. With the support of Pole Avenia, the only competitiveness cluster in France dedicated to Geosciences, the company is also developing, with four other start-ups, a R&D project dedicated to the detection, understanding and valorization of natural seeping of Helium and Hydrogen which will support our exploratory approach. Finally, the company launched in parallel an Oil & Gas consulting activity to contribute to its development.

Supported by the founders' experience and network, 45-8 Energy is proposing services in four main domains: O&G geosciences studies, support in operations geology, tailor-made geosciences training and advice to IT services & consulting companies targeting an O&G market entry. ■



To contact us

Do not hesitate to visit our website (www.458energy.com), our social network pages (LinkedIn, Facebook)

ENM STUDENTS TRIP TO LONDON

From January 31st to February 2nd, 9 students of the "Energy and Markets" (ENM) program, went to London to visit energy trading companies (EDF Trading, Total Gas & Renewable Trading) and WoodMackenzie, an energy consultancy group.

During this trip, financially supported by the association like the previous years, these students could talk with professionals of these companies and some ENM Alumni working in London, which helped them to better understand the challenges the energy sector faces today and how they can contribute to deal with tomorrow.

See more detailed information about this trip on our web site: www.alumni.ifp-school.com



Hommage à Bernard Raynal

(MOT 62)

4 janvier 1939 – 19 septembre 2018



Bernard Raynal est né le 4 janvier 1939 à Najac, dans l'Aveyron. Atteint de la maladie d'Alzheimer, il nous a quittés le 19 septembre dernier.

Il restera une personnalité marquante de l'École, connu pour ses qualités humaines et professionnelles. Nous avons souhaité lui rendre hommage en rappelant ci-dessous les étapes marquantes de sa vie et quelques traits de sa personnalité. Après ses études à l'université de Toulouse et à "L'École des Moteurs", selon son expression, puis son service militaire, il a été embauché comme ingénieur de recherches à la division Applications de l'IFP en 1964, sous la direction de M. Baudry.

Il y a notamment travaillé sur les moteurs à charge stratifiée (avec la fameuse soupape d'admission creuse de M. Baudry) et effectué de nombreuses études sur l'influence de paramètres moteur sur les émissions de polluants.

En 1980, il est appelé par Robert Buty (alors directeur du centre Moteurs et Applications à l'École) pour prendre le poste de directeur des études du cycle Moteurs. Il y restera jusqu'à sa retraite en 2002, tout en assurant par ailleurs un cours d'introduction aux moteurs très apprécié par ses élèves.

Personnalité attachante, Bernard a toujours su conjuguer rigueur professionnelle et bienveillance, à la fois auprès de ses collègues et de sa famille.

De la part de ses collègues et de ses anciens élèves, nous adressons à sa famille nos très sincères condoléances et l'assurance que Bernard restera un exemple pour nous tous. ■

Jean-Pierre Pouille (MOT 69)

IFP SCHOOL ALUMNI MAG

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Jean Sentenac

REDACTEUR EN CHEF

Jean-Bernard Sigaud

MEMBRES DU COMITÉ DE RÉDACTION

Audrey Mazin

Assistante Permanente AAID-ENSPM

Claudia Bataille, Hélène Bourg, Ouafae El Ganaoui-Mourlan, Alexis Gourlier, Jean-Claude Heidmann, Karine Labat, Pierre Marcillac, Patrick Oberto, Gérard Renault, Marc Valleur, Valérie Védrenne

ASSOCIATION AAID-ENSPM

228-232, av. Napoléon Bonaparte,
92852 Rueil-Malmaison cedex
Tél. : + 33 (0)1 47 52 52 51
amicale-ifpschool@ifpen.fr

Site Internet

www.alumni.ifp-school.com

Conception, réalisation, impression

Esquif Communication
7, rue Le Bouvier
92340 Bourg-La-Reine
Tél. : + 33 (0)1 46 16 52 52

Crédits photos

AAID, Axens, BP, DNV GL, Keyenergie, Kemiwatt, Fotolia, Fotosearch
IFP Training, Mark B. Schlemmer, 123RF, Shutterstock, X.

Régie publicitaire SEEPP

7, rue du Général Clergerie - 75116 PARIS
Tél. : + 33 (0)1 47 27 50 05 - seepp@wanadoo.fr

IFP SCHOOL ALUMNI MAG

est une publication de l'Association amicale des diplômés de l'École nationale du pétrole et des moteurs, reconnue d'utilité publique par le décret du 28 décembre 1952.

Les articles, informations et communiqués sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.
ISSN 2554-9618

Un leader mondial du secteur de l'énergie

Nous disposons de l'expérience, de la taille et des capacités nécessaires pour transformer l'industrie de l'énergie en offrant de nouvelles possibilités et en contribuant à l'amélioration économique des projets. De la conception à la livraison de projets et au-delà, nous apportons au secteur pétrolier et gazier le changement dont il a besoin.

Nous sommes des leaders d'opinion, mais nous faisons plus qu'émettre un simple avis : nous agissons. En étroite collaboration avec nos partenaires et nos clients, nous tirons parti des technologies, de notre savoir-faire et notre capacité à innover pour proposer des idées nouvelles, des offres intégrées, des décisions simplifiées et de meilleurs résultats.

Pour en savoir plus :
TechnipFMC.com.



Axens is a leading global provider of technologies, catalysts, adsorbents, services and equipment. Axens solutions are used at major industrial plants around the world.

SUCCEED
TOGETHER



axens.net/blog



OIL REFINING



PETROCHEMICALS



GASES



RENEWABLES
& ALTERNATIVES



WATER

Axens
IFP / Group Technologies