

ENERGIE

OUTLOOK



ÉDITION 2017

2017, L'AVÈNEMENT DE L'ÉNERGIE INTELLIGENTE



siapartners

sia-partners.com



LinkedIn



@SiaEnergie



www.energie.sia-partners.com

SOMMAIRE

01	COMITÉ ÉDITORIAL
03	ÉDITO
	ENERGIE VERTE : VERS DE NOUVEAUX MODES DE PRODUCTION INNOVANTS
05	L'hybride renouvelable-diesel à la conquête des nouveaux marchés de l'électrification
08	La micro-méthanisation, marché de niche ou véritable potentiel à court terme ?
11	Energie hydrolienne, la stratégie payante des producteurs de niche
	DE LA PRODUCTION À LA CONSOMMATION, DES ENTREPRISES AUX PARTICULIERS, LA TECHNOLOGIE DYNAMISE L'ENSEMBLE DU SECTEUR
15	Entre diversification et innovation, les nouvelles orientations des gestionnaires des réseaux de chaleur
18	Des technologies de stockage de plus en plus rentables pour révolutionner les systèmes électriques
21	Réalité virtuelle et augmentée, des marchés prometteurs pour les entreprises et leurs clients
24	Ces nouvelles entreprises qui digitalisent la relation client des fournisseurs
	L'IOT ET LA DONNÉE AU SERVICE DES RÉSEAUX
28	Les réseaux d'énergie entrent dans l'ère du Big Data
31	De nouveaux moyens de télécommunications pour des Grids encore plus Smart
34	La blockchain et l'autoconsommation : vers une évolution du rôle de distributeur ?
38	Quand l'IOT fait rimer domotique et efficacité énergétique
	UNE MOBILITÉ PLUS PROPRE ET PLUS INTELLIGENTE
42	Grand Paris : Quelles initiatives pour une mobilité durable ?
45	Le transport se met à l'hydrogène "to make our planet great again"
48	La voiture autonome, utopie ou nouvelle frontière de l'automobile ?

COMITÉ ÉDITORIAL



CHARLOTTE DE LORGERIL



ANTOINE FONTAINE



CAROLINE LE GALL

Les contributeurs

• CÉCILE ANIEL

• SARAH GRISSA

• SABINE BARDAUNE

• VALENTIN HOLLINGER

• GEOFFREY BERTAUD

• JULES LETRÉGUILLY

• CAROLINE BOUCQ

• ETIENNE POYART

• BAPTISTE BROSSARD KIMMEL

• RAPHAEL QUELENE

• CLAIRE CASTAIGNOS

• HÉLÈNE QUILIEN

• GASPARD CEBAL

• CASSANDRE RICOU

• JULIEN COLLIN

• STÉPHANIE RUAUDEL

• JEAN-PIERRE CORNIOU

• SANDY SÉNÉCHAL

• NOËL COURTEMANCHE

• MATTHIEU THIBOUST

• BAPTISTE GUICHARD



ÉDITO

Imaginons le consommateur de demain. Il pourrait rejoindre son lieu de travail dans une voiture partagée roulant au biométhane ou à l'hydrogène et consommerait sa propre électricité de source renouvelable, désormais facilement stockable. Son complément d'énergie serait acheminé par des réseaux intelligents, capables d'anticiper les pannes et dont la maintenance s'effectuerait par drones à l'aide de la réalité virtuelle. Il optimiserait sa consommation en lançant sa machine à laver depuis son smartphone à l'heure où l'électricité est la moins chère. Le tableau peut sembler futuriste mais ces innovations n'en sont plus au stade embryonnaire.

Les nouvelles technologies continuent d'accroître notre maîtrise de l'énergie, que ce soit en faveur des professionnels du secteur, des particuliers ou des entreprises. La nouveauté réside dans le rythme soutenu avec lequel ces prouesses techniques apparaissent et se développent. L'explosion de la Data science n'est pas étrangère à cette accélération, les volumes colossaux de données échangées font émerger rapidement de nouvelles idées et rendent l'innovation accessible à tous. Les algorithmes, toujours plus performants, accélèrent les processus, optimisent les résultats mais aussi libèrent les travailleurs des tâches monotones pour les orienter vers des activités plus créatives. A l'intersection entre les nouvelles technologies, tangibles, et le monde des données, immatériel, se trouve un exemple de la révolution qui s'opère : l'Internet des Objets, qui rend possible l'interaction avec de nombreux terminaux et décuple notre champ d'action.

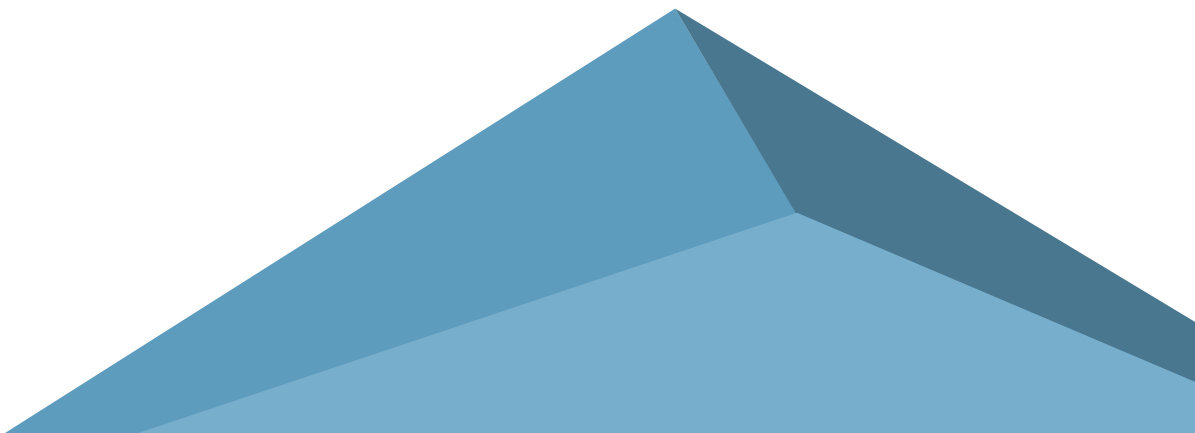
Cet engouement pour l'innovation a déclenché en France une véritable vague entrepreneuriale. Les start-ups, flexibles et dynamiques, mènent la danse. Les grands groupes font aussi la part belle à l'innovation en investissant dans les nouvelles technologies et en transformant leurs activités et leurs modes de fonctionnement. Ainsi, après avoir conquis le monde du numérique, la French Tech investit le secteur de l'énergie. Les acteurs se multiplient, la compétition s'intensifie, les collaborations se renforcent pour proposer des services toujours plus adaptés aux besoins des clients. Le gouvernement, en créant un fond dédié à l'innovation, affiche une politique tournée vers l'entreprenariat et joue le rôle de catalyseur dans la transformation du secteur.

L'écologie est aussi un sujet phare de ce début de mandat et les énergéticiens sont en première ligne face aux challenges environnementaux : maîtriser de nouveaux moyens de production, perfectionner les réseaux de distribution, diminuer l'empreinte carbone des transports... Autant d'enjeux adressés par les entreprises du secteur et traités dans cette édition de l'Outlook Energy. Malgré les difficultés rencontrées sur l'Accord de Paris pour le climat, le Gouvernement maintient une position forte en fixant des objectifs ambitieux comme la fin des véhicules thermiques essence et diesel d'ici 2040. La ville de Paris, elle aussi, multiplie les initiatives bas carbone en vue des JO 2024 et dans le souci de faire du Grand Paris une métropole durable.

Sia Partners vous propose dans cette 12ème édition de son magazine Energies & Environnement un panorama des innovations du secteur et des acteurs qui les portent.

Bonne lecture !

L'équipe Energies & Environnement de Sia Partners





**ENERGIE VERTE :
VERS DE NOUVEAUX MODES
DE PRODUCTION INNOVANTS**

L'hybride diesel a la conquête des nouveaux marchés de l'électrification

32 milliards de dollars par an : c'est le montant total des investissements à réaliser d'ici 2030 pour développer, au niveau international, l'accès à l'électricité des zones isolées selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE)¹. Dans un contexte de transition, l'électrification décentralisée est en passe de devenir le modèle de référence et constitue aujourd'hui une réelle opportunité de positionnement pour les énergéticiens. Tenant compte de ce potentiel, un nouveau marché se développe autour des systèmes hybrides et plusieurs acteurs commencent à élaborer des offres, dont certaines sont déjà sur le marché.

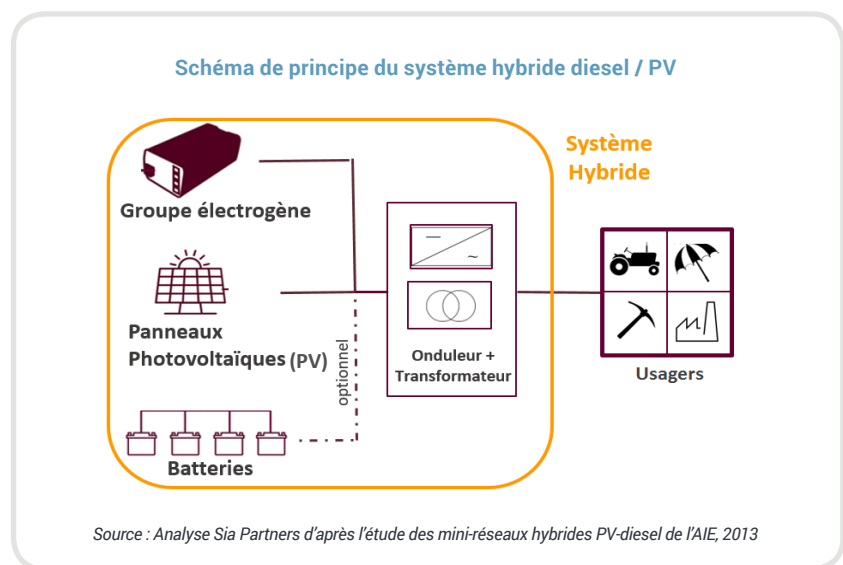
Le système hybride associe deux technologies pour s'adapter à de multiples usages

La technologie hybride, composée d'un groupe électrogène thermique (généralement diesel) associé à une source renouvelable intermittente, permet une production fiable et flexible d'une électricité de qualité. Le groupe électrogène thermique permet de fournir de l'énergie quand la production d'origine renouvelable est nulle. Alliant sécurité d'approvisionnement et diminution de l'empreinte carbone, le système hybride adresse les principaux enjeux actuels du marché de l'électricité. Il présente également une structure de coûts plus souple que celles des installations thermiques ou renouvelables prises séparément, en équilibrant les dépenses d'investissements (CAPEX) et les dépenses d'exploitation (OPEX) sur la durée du projet, apportant plus de flexibilité aux investisseurs.

Ces systèmes sont d'autant plus plébiscités qu'ils peuvent être dimensionnés en fonction des besoins en électricité des usagers (du kW au MW). Ils s'adaptent donc à un ensemble de sec-

teurs très variés opérant dans des zones isolées des réseaux électriques nationaux, que ce soit pour l'électrification rurale domestique ou pour les secteurs commerciaux et industriels (C&I). Quatre segments du secteur C&I se distinguent particulièrement par leur recours à l'auto-alimentation électrique en zone isolée : les industries extractives, manufacturières, l'agriculture et l'hôtellerie.

Pour remédier aux difficultés liées à des réseaux électriques insuffisamment développés (off-grid) ou peu performants (bad-grid), ces professionnels ont aujourd'hui de plus en plus recours à l'auto-production pour soutenir leur croissance. Le secteur minier sub-saharien constitue par exemple un marché de choix pour l'hybride diesel : il représente aujourd'hui 24% de la demande électrique totale de la



¹ IFRI, Gabrielle Desarnaud, Electrifier durablement l'Afrique et l'Asie, Mars 2016, *Calcul à partir des estimations de l'AIE : 602 milliards supplémentaires nécessaires entre 2011 et 2030 pour l'électrification universelle.*

région², et sa consommation augmente fortement (prévision +53% sur le secteur de 2012 à 2020² contre 36% d'augmentation globale de demande électrique sur la même période³). Selon la Banque Mondiale, 18% des mines auront recours à l'auto-alimentation en 2020². Le potentiel de marché pour les systèmes hybrides diesel / photovoltaïque (PV) pourrait alors représenter entre 1,4 et 3,3 milliards de dollars d'ici 2020 dans ce secteur selon les hypothèses considérées.

Les acteurs commencent à se positionner sur un marché mondial à l'essai

Sur le segment commercial & industriel (C&I), comme dans le secteur résidentiel, l'électrification par des systèmes hybrides

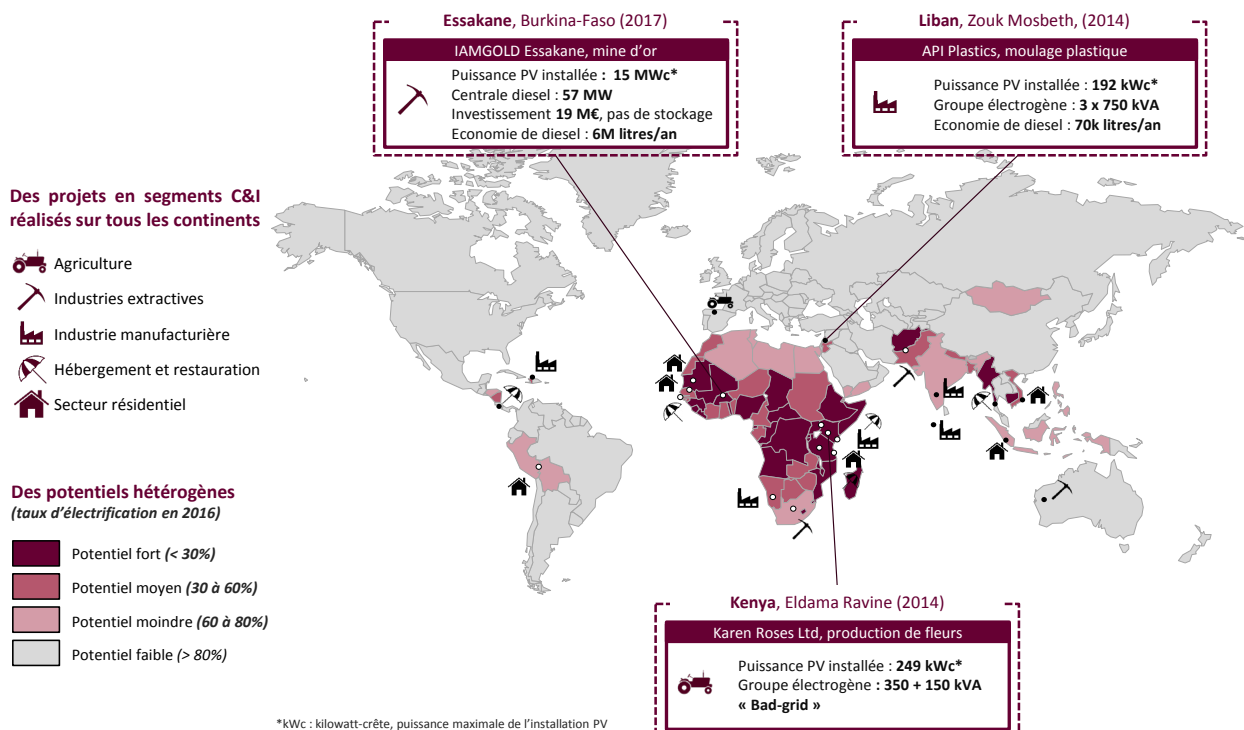
est aujourd'hui en pleine expansion, en particulier en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud-Est où les taux d'électrification demeurent faibles.

Initiée par les PME spécialisées du solaire (SMA, Krannich, Dhybrid, Ministry of Solar, AEMP, EREN groupe) et les fabricants de groupes électrogènes thermiques (GELEC Energy) au milieu des années 2000, la technologie hybride attire aujourd'hui les grands énergéticiens internationaux. Dans un secteur en conversion, le déploiement de cette filière permet en effet aux acteurs de sécuriser leur portefeuille clients en anticipant et en répondant aux besoins de qualité du courant, de sécurité d'approvisionnement ou de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Au-delà d'un nouveau débouché pour le diesel, la technologie hybride constitue aussi

une opportunité pour les énergéticiens de différencier les offres énergétiques : ils peuvent proposer des solutions techniques uniques à leurs clients et les accompagner dans le développement de nouvelles sources de revenus.

Au Burkina Faso par exemple, la compagnie minière IAMGOLD Essakane s'est ainsi lancée en 2016 dans la construction d'une centrale solaire de 15 MWc en complément d'une centrale diesel de 57⁴MW. L'investissement, qui représente plus de 20 millions de dollars, devrait permettre, à terme, une économie de 6 millions de litres de carburant par an et une réduction annuelle de 18 500 tonnes⁴ de CO2. La société minière achète l'électricité issue de la centrale PV détenue par EREN RE (promoteur du projet à 90%) et AEMP (actionnaire à hauteur de 10%)⁴ via la société

Etat des lieux des projets hybrides dans le monde et de leur potentiel



Source : Analyse Sia Partners d'après la base de données SE4ALL de la Banque Mondiale et les sites des acteurs

² World Bank Group, Direction in development Energy & Mining, The Power of the Mine, 2015

³ Agence Internationale de l'Énergie, Estimations 2015

⁴ IAMGOLD, Communiqué de Presse, « IAMGOLD s'associe à EREN RENEWABLE ENERGY et AEMP pour développer une centrale solaire à la mine Essakane », 6 mars 2017

Essakane Solar SAS. Ce contrat d'achat d'une durée de 15 ans lui permet de réaliser des économies, de se protéger en partie de la volatilité du prix du carburant mais aussi de communiquer sur la réduction des gaz à effet de serre et l'augmentation de l'embauche locale.

Les systèmes hybrides représentent un nouveau levier de croissance pour le secteur énergétique

L'équipement d'un système hybride de grande capacité (plus de 500kW) nécessite des investissements conséquents, que seule une rentabilité importante peut encourager. Le développement de tels projets dépendra donc de l'impulsion donnée par le secteur privé pour élaborer les modèles d'affaires de ce nouveau marché. Plusieurs fournisseurs proposent déjà des offres EPC (« Engineering, Procurement & Construction ») permettant de concevoir et livrer des installations hybrides clé en main, telles que la dou-

zaine d'installations de l'entreprise SMA en fonctionnement à travers le monde. De nouvelles offres commerciales commencent par ailleurs à être pensées selon les spécificités et savoir-faire des entreprises. Un modèle de prestation O&M (Opération et Maintenance) permet par exemple d'envisager des contrats sur le long terme en intégrant la vente de carburant ou encore la location de solutions technologiques. D'autres acteurs, comme EREN Groupe, privilégient aujourd'hui des offres PPA (« Power Purchase Agreement ») qui consistent à vendre de l'électricité et/ou des services énergétiques sur le long terme.

Si l'électrification rurale décentralisée, sur le modèle de petites installations hybrides inférieures à 100 kW, demeure encore peu rentable pour le secteur privé, le développement des installations de moyenne capacité (entre 100 et 500 kW) dépend de plusieurs facteurs : une baisse du coût des équipements, une impulsion politique, des mécanismes de

soutien face aux risques. Il est encore difficile de concevoir une standardisation des systèmes installés tant les besoins, les usages mais surtout les conditions locales diffèrent et limitent la duplication des modèles.

L'arbitrage entre le coût d'extension ou la modernisation du réseau national pour le raccordement des systèmes isolés et le coût d'une production décentralisée reste primordial et demeure force de décision. La hausse du coût des énergies fossiles ainsi que la réduction de leur subvention d'une part, associées à une baisse des coûts des installations EnR pourront favoriser le développement des systèmes hybrides diesel intégrant les énergies renouvelables.

Modèles d'affaires existants et en cours de développement pour l'hybride diesel - PV

Modèle d'affaires	Prestations et services						Maturité	Acteurs positionnés
	Ingénierie	Construction & livraison	Vente de l'installation	Opérations	Maintenance	Vente de l'énergie		
Vente de technologie, matériel ou carburant						 Possible (Diesel)	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Krannich
Location de technologie / matériel							<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GELEC Energy
EPC * * Engineering, Procurement & Construction							<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	SMA Energy Hybrid
EPC + O&M * * Operations & Maintenance							<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	GELEC Energy
PPA * * Power Purchase Agreement							<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	EREN Groupe
BOOT * * Build, Own, Operate, Transfer			 Après une période d'exploitation				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
ESCO * * Energy Service Company							<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	

Maturité du modèle Emergence du modèle
 En maturation technologique
 Industrialisé par quelques acteurs
 Industrialisation mature

Source : Analyse Sia Partners d'après les sites des acteurs

La micro-méthanisation, marché de niche ou véritable potentiel à court terme ?

En 2013, le Ministère de l'Agriculture avait lancé l'ambitieux plan « Energie Méthanisation Autonomie Azote » (EMAA) qui fixait l'objectif symbolique de 1 000 méthaniseurs à la ferme en 2020¹, porté par un arsenal d'outils de financement et de simplification des démarches. Quel rôle joue aujourd'hui la micro-méthanisation au sein de la filière ? Quel rôle jouera-t-elle demain ? La réduction de la taille des unités, jusqu'à l'échelle domestique, est-elle prometteuse ? Décryptage.

La micro-méthanisation reste en 2017 un marché de niche de la filière

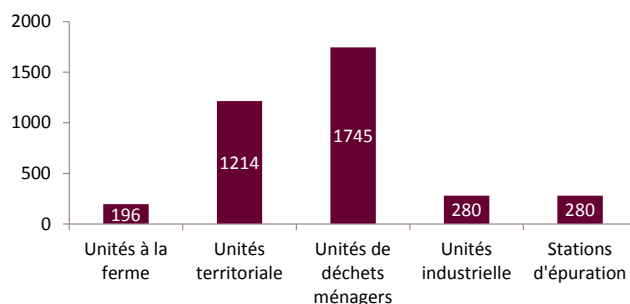
Le terme « micro-méthanisation » englobe l'ensemble des installations de très petite taille, c'est-à-dire ayant une puissance électrique installée de quelques dizaines de kW² au maximum. Le plan EMAA convenait en 2013 de « ne pas déterminer a priori la taille des installations [de méthanisation] et adopter une approche ouverte dans la phase de déploiement de la filière ». Malgré cet agnosticisme affiché par l'Etat et des conditions de rachat de l'électricité adaptées à la taille de chaque unité³, les installations de plusieurs centaines de kW et alimentées par plusieurs sources d'intrants⁴ sont les seules à s'être fortement développées. En effet, les économies d'échelle engendrées permettent de réduire la part relative des coûts d'investissement et de « rentabiliser » le temps consacré aux démarches administratives, encore longues et complexes pour les développeurs de projets.

Aujourd'hui, la filière méthanisation compte 120 MW installés sur plus de 500 unités (dont 300 à la ferme)⁵. Mais la part

des micro-méthaniseurs reste faible : seule filière vraiment concernée, la filière agricole compte moins de 19% de micro-méthaniseurs parmi les unités de cogénération, et 16 unités seulement possèdent une puissance installée strictement inférieure à 50 MW. La plupart des installations agricoles sont soit centralisées dans une zone riche en intrants (unités de plus de 500 kW), soit concentrées sur les exploitations agricoles de grande taille (majoritairement des unités d'environ 200 kW).

Comment expliquer que la micro-méthanisation se développe ainsi dans le secteur agricole ? Tout d'abord parce qu'il existe une demande pour des unités de micro-méthanisation dont la taille est adaptée à des élevages qui comptent en moyenne quelques centaines de têtes. De plus, la tendance de développement de circuits courts de production/consommation d'énergie sur la même zone est totalement en phase avec la micro-méthanisation : par exemple, tous les

Taille moyenne des unités françaises de méthanisation produisant de l'électricité en 2017 (en kW)



Source : Analyse Sia Partners d'après SINOE

¹ Contre 90 à fin 2012

² Nous considérerons dans cet article comme installation de micro-méthanisation, les installations avec une puissance installée de moins de 80 kW.

³ Plus l'installation est réduite, plus les conditions de rachat sont avantageuses

⁴ L'intrant est la matière première organique apportée au méthaniseur, qui, par sa dégradation, permettra la formation de biogaz

⁵ D'après SINOE, hors gaz de décharges et hors production de biométhane

⁶ Bonus de 50 €/MWh si utilisation d'au moins 60% d'effluents comme intrants

principaux constructeurs de tracteurs agricoles (New Holland, Steyr, Deutz, etc.) créent ou étoffent actuellement leur gamme de tracteurs fonctionnant au bio-méthane. Ensuite parce que plusieurs acteurs ont répondu à la demande sur ce segment en proposant des méthaneurs de cette dimension aux éleveurs. Autre signe récent, la revalorisation en décembre 2016 de la prime accordée dans les tarifs de rachat pour l'utilisation des effluents d'élevage comme intrant⁶ sonne également comme une nouvelle encourageante pour les petites unités agricoles dans les années à venir.

Peu de leaders du marché se sont positionnés sur le segment de la micro-méthanisation

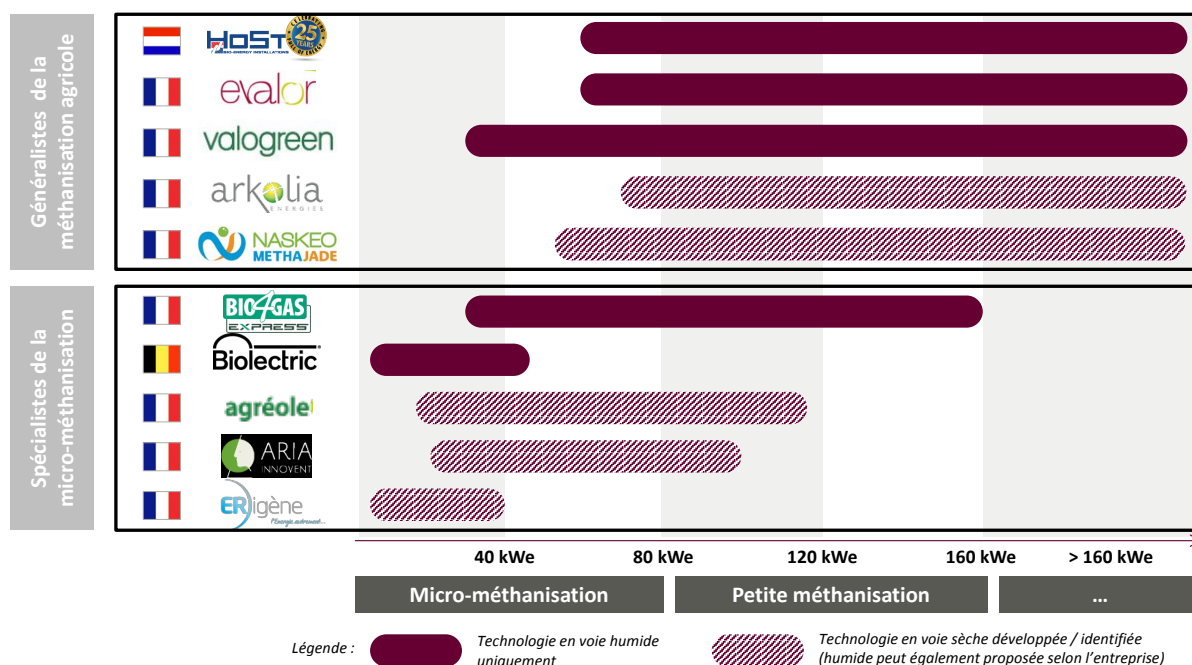
Si les unités de micro-méthanisation ne présentent pas en elles-mêmes de défi technologique majeur, c'est leur rentabi-

lité qui a pendant longtemps posé problème. Pour les développeurs de projets, ce segment nécessite de standardiser son offre, contrairement aux unités importantes construites quasi sur mesure. L'enjeu réside dans la réduction drastique des coûts de fabrication par la rationalisation et l'industrialisation de la production d'unités, par exemple en construisant des unités préassemblées et simples d'utilisation pour les éleveurs. A ces défis s'ajoute la recherche de financements, véritable parcours du combattant pour de nombreuses installations. Malgré ces difficultés, la tendance semble aujourd'hui positive, avec des temps de retour d'investissement bien inférieurs à 10 ans annoncés par certains acteurs de la filière.

Les leaders français de la méthanisation agricole (Fonroche, Agrikomp, Naskeo⁷, etc.) boudent pour la plupart le segment pour se concentrer sur les projets de plus forte puissance. Ainsi, hormis quelques

leaders qui dépassent la dizaine de projets opérationnels ou en cours (bio4gas, Aria Innovent, Bioelectric), le marché est éclaté entre de nombreuses PME pour la plupart françaises. Seule une poignée d'acteurs comme Erigène, Aria Innovent ou Bioelectric est exclusivement positionnée sur la micro-méthanisation, les autres développeurs de projets conservant un périmètre plus large pour s'assurer un plus grand nombre de projets. Autre point important, la micro-méthanisation coïncide chez beaucoup d'acteurs avec le développement de technologies innovantes de méthanisation en « voie sèche » permettant l'incorporation de plus de 15% de matière solide dans le digesteur, donc par exemple de fumier en plus du lisier, très adapté pour de nombreux éleveurs français (par opposition à la méthanisation par « voie humide »).

Profil des acteurs présents sur le marché de la micro-méthanisation en France



N.B. : Le marché étant très éclaté, l'objectif ici se veut davantage de montrer les différents profils d'acteurs de la micro-méthanisation, plutôt que de donner une liste exhaustive des acteurs.

Source : Analyse Sia Partners d'après sites des acteurs et SINOE

⁷ En dehors de sa filiale Methajade

La méthanisation domestique restera embryonnaire à court terme

Et si l'on descend encore d'un niveau, à l'échelle d'un restaurant voire d'un particulier ? Ce type d'installation reste rare en Europe, contrairement à de nombreuses régions du monde. La méthanisation domestique s'est naturellement développée dans des zones dépourvues d'accès fiables à l'énergie. En Chine par exemple, plus de 40 millions de foyers bénéficient de méthaniseurs domestiques leur fournissant du biogaz pour se chauffer, cuisiner ou s'éclairer. Les digesteurs peuvent être directement achetés dans certains points de vente physique ou sur Alibaba⁸ pour quelques centaines d'euros. Cet essor, entamé depuis plusieurs dizaines d'années en Chine et permis par une réglementation moins stricte, ne devrait pas compromettre le développement de la filière française à court terme.

En France comme en Europe, quelques start-ups ou PME développent une offre sur la « petite micro-méthanisation » et la méthanisation domestique (Tryon, SCTD Industries, BioBeeBox en France, SEAB Energy, Qube Renewables au Royaume-Uni) mais avec un impact encore marginal. Si un français produit en moyenne 150 kg de déchets organiques par an⁹, la tendance est davantage à la collecte en amont de ces déchets verts et leur valorisation sur des installations industrielles de méthanisation ou de compost. C'est justement pour « en finir avec la collecte longue distance »¹⁰ que Jimmy Colomies a créé Tryon et sa solution modulaire – le Tricube, il y a quelques mois.

Aujourd'hui, la mise en place d'un méthaniseur individuel demande une surface exploitable en extérieur de quelques mètres carrés, des équipements domestiques adaptés à la combustion de biogaz et des moyens financiers conséquents. Le « M-300 Methatec » développé par SCTD Industries revient

par exemple à plus de 20 000 €¹¹ malgré une TVA réduite à 5,5% et une éligibilité au crédit d'impôt. Mais les obstacles à surmonter pour un réel lancement de la filière française restent surtout des enjeux réglementaires et d'acceptabilité locale. Par exemple toute installation de méthanisation – aussi petite soit-elle – est aujourd'hui soumise à la réglementation ICPE¹², sans aucune différence avec une unité industrielle. Enfin l'ensemble des filières de méthanisation souffre encore d'un déficit d'acceptation auprès du grand public, visible à travers les multiples contestations locales à chaque annonce de nouveau projet.



⁸ Equivalent à Amazon en Chine

⁹ D'après chiffres-clés déchets de l'ADEME

¹⁰ Entretien publié le 14/09/17 sur le blog Energie de Sia Partners

¹¹ Méthaniseur domestique couplé avec des panneaux photovoltaïques

¹² Régime de déclaration pour les installations domestiques

Energie hydrolienne, la stratégie payante des producteurs de niche

Plus d'un an après la pose des hydroliennes conçues par Naval Energies (ex DCNS), à Paimpol-Bréhat, la première ferme pilote au monde (exploitée par EDF) connaît des difficultés liées aux ajustements de la technologie. Une anomalie a en effet été relevée sur les deux hydroliennes mises à l'eau en 2016 et la correction à réaliser risque de repousser leur industrialisation initialement prévue pour 2018. Dans son ensemble, le marché de l'hydrolien reste encore difficile à pénétrer pour les différents acteurs, avec des projets majeurs qui prennent du retard ou sont abandonnés. Mais les marchés de niche profitent à certains producteurs qui pourraient tirer leur épingle du jeu

Le secteur de l'hydrolien est en passe d'entrer en phase d'industrialisation

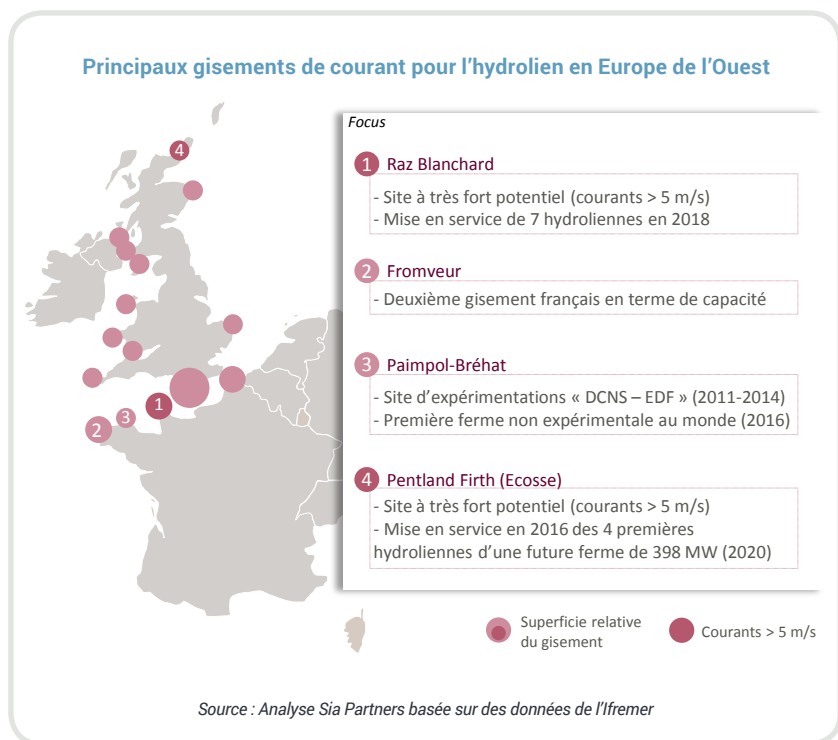
Le site de Paimpol-Bréhat est le premier témoin d'une maturation du marché des hydroliennes, dans un pays à fort potentiel. En effet, le gisement français est estimé entre 2 et 5 GW, ce qui en fait le deuxième gisement européen avec 20% de la capacité totale, derrière l'Ecosse qui en concentre 60%. Selon les études du CEREMA¹ commandées par le ministère en charge de l'énergie et de l'environnement, les zones les plus prometteuses se concentrent au large du Cotentin, dans le Raz Blanchard et le Raz Barfleur, ou encore dans le passage du Fromveur, où les courants peuvent approcher les 20 km/h. Le ministère a d'ailleurs récemment mandaté les préfets de ces zones pour identifier les périmètres précis des gisements permettant d'accueillir des projets de 50 à 100 MW. Les principaux gisements identifiés à ce jour se situent en Europe de l'Ouest et constituent les cibles privilégiées des industriels.

Il existe une multitude de sites en Europe, qui sont autant d'opportunités pour les acteurs diversifiés de ce marché où une puissance de 15 GW pourrait être installée pour une production annuelle d'électricité comprise entre 20 et 30 TWh. Fort de sa capacité potentielle de déploiement et des

atouts de sa technologie, l'hydrolien est sur le point d'intégrer le mix énergétique européen.









Malgré les retards accumulés sur certains pilotes, l'activité industrielle du secteur s'organise progressivement en France et en Europe. Naval Energies, qui sous-traite pour l'instant une partie de la fabrication

en Europe de l'Est, a débuté la construction de son usine d'assemblage à Cherbourg pour lancer progressivement l'industrialisation avec une capacité de 50 machines par an. En Europe, Atlantis Resources a lancé l'industrialisation de ses turbines en s'associant à ABB, dans le cadre du projet MeyGen qui vise à installer une ferme de 398 MW.



¹ CEREMA : Centre d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Comparaison des principaux acteurs en Europe, de leurs technologies et de leur état d'avancement sur le marché

	Puissance unitaire	Technologie	Phase expérimentale	Industrialisation	
				Partenaire	Projets Europe
 Andritz Hydro Hammerfest	HS1000 : 1 MW HS1500 : 1,5 MW	1 x 3 pales Ancrage gravitaire	1 turbine connectée depuis 2004 (Norvège)	ScottishPower	Ness of Duncansby : 30 MW (2017)
 Atlantis Resources	AR1000 : 1 MW AR 1500 : 1,5 MW	1 x 3 pales Ancrage gravitaire	AR1000 testé en mer sur un site de l'EMEC	ScottishPower	Sound of Islay : 10MW (?) MeyGen - 398MW (2022)
 Bluewater Energy Services	BlueTec : 200 kW – 500 kW – 2,5 MW	1 à 2 x 2 pales Module flottant	Avril 2016 à Février 2018	-	-
 ScotRenewables	SR2000 : 2 MW	2 x 2 pales Module flottant	Essais depuis 2011	-	Lashy Sound : 10 MW (2017)
 HydroQuest / CMN	HydroQuest Ocean : > 1,3 MW	2 à 6 x 3 pales Axe vertical Ancrage gravitaire	Démonstrateur marin à Paimpol – S2 2017	-	-
 Naval-Energies OpenHydro	Arcouest : 1 MW 2 ^{ème} génération : 2 MW	Turbine Ancrage gravitaire Convertisseur offshore	2011-2014 (Paimpol-Bréhat)	EDF	Normandie Hydro : 14 MW (2018 +) Brims : 200 MW (2020+)
 Sabella	D10 : < 1,1 MW D12 : < 1,5 MW D15 : < 2,5 MW	1 x 6 pales Ancrage gravitaire	Essais dans le passage du Fromveur (09/2015 – 2016)	AKUO (remplace ENGIE *)	Projets zone Fromveur
 ** General Electric	Océade 18 – 1,4 : 1,4 MW	1 x 3 pales Ancrage gravitaire Convertisseur offshore	18 mois de tests dès 2013	* ENGIE	(Suspendu) Nephtyd : 4 x 1,4 MW (2018)

* ENGIE s'est désengagé du projet en 2016
** Projet/parteneriat suspendu

Source : Analyse Sia Partners d'après les données des constructeurs

Les investissements des acteurs restent fortement impactés par l'incertitude du marché

L'Europe est attentive au développement de cette industrie verte, notamment dans le cadre des objectifs du « paquet climat énergie » signé en 2007. Porté par cette ambition, le fonds NER300 de la Commission Européenne a par exemple octroyé plus de 20 M€ au projet d'exploitation du gisement du Pentland Firth. En France, l'appel à manifestation d'intérêt de l'ADEME pour la création d'un parc dans le Raz Blanchard a accordé une aide de 52 M€ au consortium « Naval Energies – EDF » et à son projet « Normandie Hydro », ainsi que 51 M€ au projet Nephtyd porté par « General Electric – ENGIE ». Les deux conglomérats d'industriels prévoient alors d'installer des turbines dans cette région pour une mise en service en 2018 : sept hydroliennes de 2 MW pour le premier (14 MW) et quatre hydroliennes de 1,4

MW pour le second (5,6 MW). Nephtyd a depuis été abandonné par le consortium franco-américain, qui a reconnu que le marché n'était « pas au rendez-vous ». General Electric aurait en réalité stoppé le développement de la turbine Océade, contraignant Engie à abandonner le projet. Malgré les hésitations des grands acteurs ou les retards observés sur les technologies pilotes, les constructeurs et les projets fleurissent en Europe.

Les appels à projets et les mécanismes d'incitation sont nécessaires pour accélérer les investissements des acteurs, aujourd'hui tempérés par les coûts de l'hydrolien. RTE a estimé en 2013² le coût du raccordement au réseau de transport autour de 100 M€ pour une ferme de 250 MW. Qui plus est, les dépenses opérationnelles représentent une part non négligeable du coût d'exploitation, avec près de 3,5 à 4% de l'investissement initial chaque année³. En conséquence, le tarif d'achat de l'élec-

tricité produite par les énergies marines, qui a été fixé à 150€/MWh dans un arrêté de 2007⁴, reste insuffisant aux yeux des industriels. L'appui du gouvernement sera donc décisif pour appuyer les acteurs et motiver les investissements nécessaires dans cette phase.

² RTE, [Accueil de la production hydrolienne : Etude prospective], 2013

³ Commissariat Général à l'Investissement, « Note stratégique sur les énergies marines renouvelables »

⁴ Legifrance, Arrêté du 1er mars 2007 fixant les conditions d'achat de l'énergie des mers

Le marché est encore risqué pour les grands acteurs mais porteur d'opportunités pour les petits

Le marché européen est marqué par une forte fragmentation technologique, avec des acteurs qui proposent des solutions différentes dans une gamme de puissances unitaires allant de 1 à 2,5 MW. Alors que les plus gros producteurs peuvent être contraints à décaler les calendriers (Naval Energies – EDF) voire à suspendre leurs projets (GE – ENGIE), les petits acteurs du secteur poursuivent leur développement. Sabella, concepteur de l'hydrolienne D10, fait partie des acteurs de taille plus petite qui se développent en ciblant le marché de l'approvisionnement des îles. Après avoir produit plus de 70 MWh (15% des besoins de l'île d'Ouessant), Sabella a récemment levé 8 millions d'euros auprès de BPI France. Son objectif est de pouvoir s'internationaliser – l'entreprise s'est positionnée sur des projets aux Philippines et en Indonésie avec la signature d'accords d'industrialisation en 2015 – et répondre aux prochains appels à projets attendus entre fin 2017 et 2018, notamment pour exploiter le gisement du Fromveur au large d'Ouessant. Alors que les plus gros acteurs ont pour l'instant du mal à se positionner sur les grands projets, dans un contexte incertain où le développement du renouvelable marin est encore principalement tourné vers les éoliennes offshore, les petits acteurs semblent se développer en visant des marchés de niche. En effet, les marchés insulaires restent la cible prioritaire des acteurs comme Sabella, HydroQuest ou encore Nova Innovation, que ce soit en France ou à l'étranger.

Les années à venir marquent un tournant décisif pour les acteurs du marché, qui proposent tous des technologies différentes. Ils devront d'une part prouver qu'ils ont la capacité de faire baisser leurs coûts par l'industrialisation, en proposant une offre fiable et économiquement viable. Les constructeurs devront d'autre part tenter d'imposer leur technologie au marché, de la même manière que l'éolienne à trois pales l'a fait auparavant. Tous ces éléments laissent à penser que la fragmentation actuelle de l'offre ne devrait pas durer, au bénéfice des premiers entrants.





DE LA PRODUCTION À LA CONSOMMATION,
DES ENTREPRISES AUX PARTICULIERS,
LA TECHNOLOGIE DYNAMISE L'ENSEMBLE
DU SECTEUR

Entre diversification et innovation, les nouvelles orientations des gestionnaires des réseaux de chaleur

Au cœur de la transition énergétique, les réseaux de chaleur permettent d'intégrer massivement les EnR&R¹. Ces nouvelles sources d'énergie associées à des technologies novatrices offrent de nouvelles possibilités pour des réseaux plus performants et poussent le secteur à se transformer.

Encouragés par la dynamique EnR&R, de nouveaux projets participent au développement des énergies locales

Boostée par la politique énergétique, la chaleur d'origine renouvelable livrée via les réseaux a fortement progressé en 10 ans. Elle représente 50% de la chaleur transitant dans les réseaux en 2015² et 77% des réseaux utilisent au moins une source EnR&R³.

En France, la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) et la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) donnent des objectifs très concrets en termes de chaleur livrée d'origine EnR&R. En 2023, elle devra avoisiner 2,3 Mtep et atteindre 3,4 Mtep en 2030 (5 fois plus qu'en 2012 d'après la LTECV).

Au premier rang de ces énergies renouvelables se situent la biomasse et la géothermie dont l'utilisation est particulièrement mature⁴. Néanmoins, de plus en plus de projets témoignent d'une diversification des sources d'énergie exploitées.

Les collectivités se recentrent sur un mix énergétique local maîtrisé et efficace notamment depuis l'obligation pour les communes de plus de 50000 habitants de mettre en place des PCET⁵. Ainsi la création

(ou la diversification) d'un réseau de chaleur va aujourd'hui de pair avec un recours aux énergies locales. Il s'agit de garantir une viabilité énergétique du système voire de la commune et de minimiser les impacts tant environnementaux (émissions de CO2 notamment) qu'économiques

(coût de l'énergie et des infrastructures). En fonction des gisements disponibles, les nouvelles sources regroupent ainsi la valorisation des eaux usées, le solaire thermique, la chaleur récupérée de data center, la géothermie marine, la chaleur fatale industrielle ou encore le biogaz.

De nouvelles sources d'EnR&R à exploiter : exemples français



Chaleur fatale industrielle

6 réseaux identifiés en France

Réseau de chaleur de Dunkerque

- 1986 : mise en service / 2020 : + 30 km de canalisations
- 32 M€ d'investissement
- 40 km de long pour 15 000 équivalents-logements
- 60 % (≈ 90 GWh) de la chaleur provient des fumées de l'aciérie Mittal



Biogaz

2 réseaux identifiés en France

Réseau de chaleur d'Outreau

- 2015 : communiqué de COFELY sur achat du biogaz pour le réseau
- 1 km de long pour 1700 équivalents-logements
- 37 % biogaz et 63% gaz fossiles



Solaire thermique

2 projets identifiés en France

Réseau de chaleur de la base de St Christol d'Albion

- Démonstrateur pré-industriel
- 2018 : lancement prévu du projet
- 5,3 km de long pour 15 000 équivalents-logements
- 100 % solaire en été et couvre 80% des besoins environ



Géothermie marine

1 installation en France

Installation Thassalia à Marseille

- Première centrale géothermie marine en France
- 2016 : inauguration 35 M€ d'investissement
- 3 km de long pour 500 000 m² de bâtiments
- 70 % de la chaleur et du froid produits proviennent d'EnR

Source : Analyse Sia Partners d'après Annuaire Via Séva et sites des exploitants

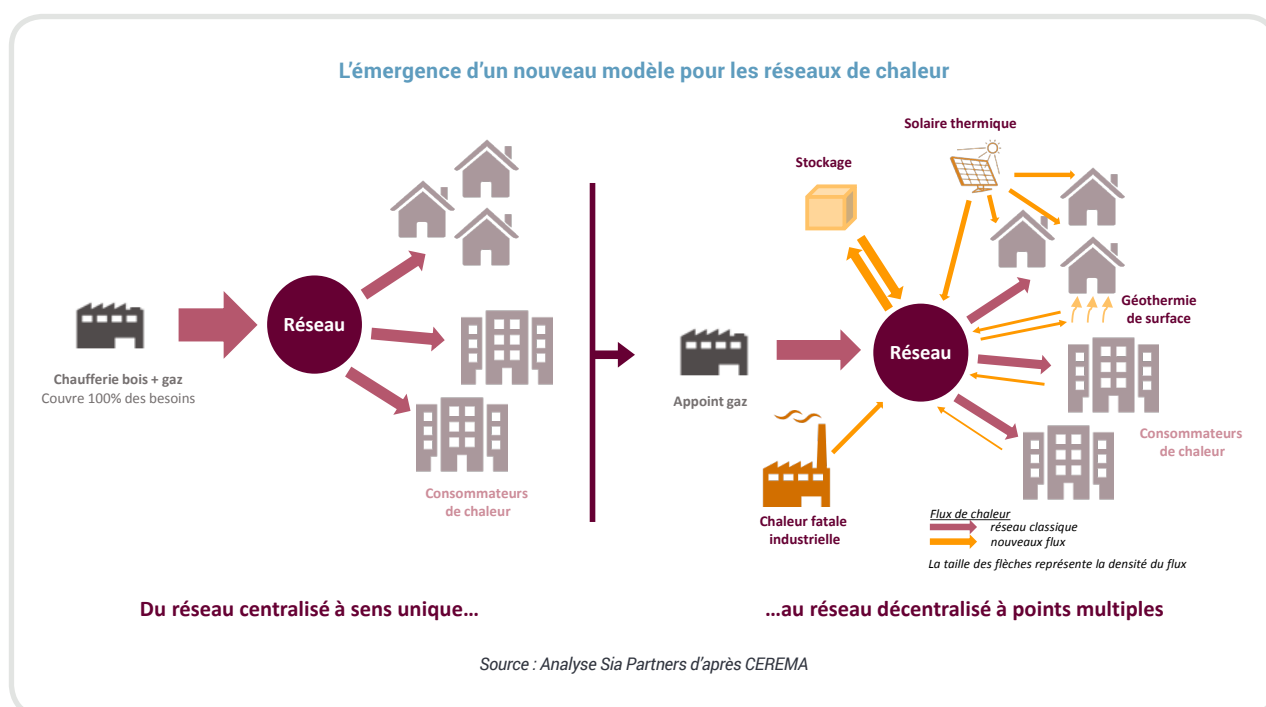
¹ ENR&R : Énergies Renouvelables et de Récupération

² Selon l'enquête nationale SNCU 2016

³ Selon l'enquête nationale SNCU 2016

⁴ 283 réseaux de chaleur utilisent au moins une part de biomasse. Géothermie et biomasse représentent plus de 20% de l'énergie délivrée par les réseaux en 2015 selon l'enquête nationale SNCU.

⁵ Plan Climat Énergie Territorial



La valorisation de ces nouvelles sources répond ainsi aux objectifs locaux. Elle permet en outre d'accompagner le développement de nouvelles filières EnR&R, mais aussi de créer des synergies entre des filières industrielles existantes (la sidérurgie par exemple) ou naissantes (comme le Power-to-Gas).

Cette dynamique encouragée par le développement des EnR&R contribue ainsi à répondre aux objectifs fixés par le gouvernement et stimule les initiatives innovantes.

Avec les nouvelles technologies, les réseaux de chaleur s'orientent vers de nouvelles infrastructures

Utiliser de nouvelles sources d'énergies nécessite une adaptation des réseaux de chaleur⁶. En premier lieu, la plupart supposent une température du fluide transitant dans les réseaux réduite. Les réseaux dits « basse température » sont voués à se développer et présentent en outre un avantage non négligeable car ils permettent de réduire les pertes.

Au-delà d'un nouveau type de réseau, c'est le modèle tout entier qui est remis en cause avec l'exploitation de nouvelles sources locales. En effet, le réseau centralisé avec une unique centrale thermique desservant des consommateurs se voit remplacé par un réseau à sources multiples, de plus faibles puissances et souvent intermittentes avec des échanges de flux à double sens.

Deux nouveaux types de technologies permettent de gérer un tel système. Tout d'abord le stockage, dont le rôle devient primordial pour garantir un équilibre offre/demande avec des sources intermittentes et des besoins qui évoluent au rythme des saisons, et même des heures de la journée. La PPE prévoit d'ailleurs d'encourager la R&D dans ce domaine, les technologies n'étant pas toutes matures pour répondre à ces nouveaux systèmes. Viennent ensuite les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC). Elles deviennent indispensables pour gérer un ensemble multiple de points et flux afin de garantir une efficacité énergétique et économique du réseau. Ainsi la filière réseau de chaleur

s'appuie sur l'essor de ces technologies permettant d'une part la fiabilisation du réseau (via la transmission d'alertes et la visualisation de l'état de santé du système à distance), d'autre part, le pilotage des réseaux en temps réel pour ajuster la production à la demande. En particulier, l'analyse des données remontées par les équipements communicants (compteurs évolués, télérelève, gestion technique du bâtiment (GTB), gestion technique centralisée (GTC), automates) révolutionne désormais le mode de gestion de ces systèmes et offre de nouvelles possibilités. Parmi ces dernières, nous pouvons noter l'émergence de nouvelles synergies entre les différents réseaux pour optimiser de plus en plus les interactions entre gaz, électricité et chaleur. Le projet Descartes grid⁷ à Marne-La-Vallée est intégré au démonstrateur pour la ville durable « Descartes 21 » et a justement pour objectif de déployer un « smart grid électrique et thermique ».

⁶ Etude EnergyLab Sia Partners, Réseaux de chaleur, 2017

La diversification stratégique des industriels exploitants selon 3 axes majeurs

Acteurs	Mix énergétique	Services énergétiques	Innovation
Dalkia	Diversification du mix énergétique et développement des EnR&R Objectif 2020 : 20% biomasse dans le mix énergétique	EDF lance en 2017 <i>EDF Solutions Énergétiques</i> comprenant l'expertise Dalkia et celle d'autres filiales Objectif 2025 : doubler le CA des services énergétiques	Développement des services d'optimisation et de télégestion Mise en place de DESC¹ et utilisation de drones pour la supervision des installations
Engie	Diversification du mix énergétique et développement des EnR&R Plaine Commune : projet de réseau 100% EnR pour les JO 2024	Services énergétiques inscrits comme axe majeur de développement du groupe Objectif 2018 : 2Mds€ d'investissement dans les services énergétiques	Développement de partenariats techniques Investissement dans Sigfox² en 2015 Acquisition d'APIS Engineering³ en 2015
Idex	Engagement pour faire progresser la part des EnR et réduire les taux d'émissions de gaz à effet de serre Pionnier dans la méthanisation	Premier groupe indépendant français de services énergétiques Rachat de Cogemex en 2017, spécialiste des services multi-techniques (CA 18M€)	Soutien à la R&D Mise en œuvre d'une opération pilote par an avec les clients Réseau 4ème génération à Saclay
Coriance	Poursuite du développement des EnR >60% d'EnR&R dans les réseaux de chaleur 1^{er} réseau avec 100% d'EnR&R à Toulouse	2 ^{ème} métier du groupe (1000 installations) « Continuer à approfondir les compétences du groupe dans ce domaine et accélérer son développement avec les mêmes ambitions que dans le chauffage urbain »	Investissement dans l'innovation Membre de l'association Seinerly Lab depuis 2014

¹Dalkia Energy Saving Center vers des tours de contrôle réseaux électricité et chaleur

²Spécialiste de l'internet des objets

³Bureau d'étude innovant dans la conception et la rénovation de data centers

Source : Analyse Sia Partners, d'après sites internet et rapports annuels des acteurs

De nouveaux métiers et synergies émergent pour concevoir des réseaux plus innovants et efficaces

L'émergence des nouvelles technologies et les objectifs de développement des EnR&R conduisent les acteurs du marché à se tourner vers ces solutions. En particulier, l'évolution des industriels exploitants est claire : ils diversifient leur mix énergétique et investissent dans les services et l'innovation pour proposer des solutions clés en main et performantes aux collectivités.

Ces industriels voient ainsi certains de leurs métiers transformés au premier rang desquels la maintenance. Les NTIC révolutionnent la supervision des systèmes et offrent de nouveaux outils et méthodes pour gérer les réseaux. La possibilité de visualiser des états à distance permet, d'une part d'anticiper les interventions, et d'autre part, de mieux traiter les réparations éven-

tuelles. D'une maintenance préventive, il est ainsi possible de passer à une maintenance prédictive et d'améliorer la qualité de service.

De nouveaux métiers émergent en lien avec l'analyse des données remontées par les nouveaux outils et peuvent soit être directement intégrés par les exploitants, soit donner lieu à de nouvelles collaborations.

Le marché de l'exploitation des réseaux de chaleur est aujourd'hui concentré autour de 4 acteurs majeurs et laisse peu de place aux nouveaux entrants du fait des investissements capitalistiques nécessaires. Néanmoins, l'arrivée de technologies innovantes et de nouvelles sources d'énergie ouvre ce marché aux acteurs spécialisés dans les solutions digitales (StudioFly Technologie par exemple⁸) ou les sources alternatives (Hélioclim dans le solaire thermique par exemple⁹) avec lesquels les exploitants

doivent collaborer. Il est ainsi facile d'imaginer des équipementiers intervenir pour proposer des solutions innovantes telles que celles proposées pour le chauffage individuel. De même, avec la récupération de données, de nouveaux fournisseurs de services digitaux pourraient intervenir en tant qu'agrégateur par l'intermédiaire de plateformes d'échange de données.

Si ces interactions sont encore en gestation, de nouvelles synergies s'imposent à différents niveaux : les villes et centres de R&D partagent leurs bonnes pratiques, les métiers s'inscrivent dans une démarche de mutualisation des coûts, les systèmes intègrent plusieurs énergies. Les démonstrateurs français sont encore peu nombreux mais la transformation est en cours. L'innovation couplée à un nouveau mode de pensée, plus global, propose des défis qui vont au-delà des enjeux purement technologiques.

⁷ Lancé en 2013, le projet a pour objectifs de développer le potentiel d'EnR&R en utilisant toutes les ressources locales, de mutualiser les besoins énergétiques des différentes typologies de bâtiments et d'optimiser la distribution par un smart grid. Le projet Descartes 21 bénéficie du dynamisme du 1er pôle de R&D français sur la ville durable (et un des premiers au monde) et s'étend sur 600 000 m² de bâti de typologies différentes. Il regroupe un consortium d'acteurs parmi lesquels EDF, Enedis et Dalkia. Il doit permettre d'éprouver des solutions innovantes à l'horizon 2018-2020.

⁸ StudioFly Technologie propose notamment des solutions de thermographie par drones aériens. Dalkia travaille avec l'entreprise pour inspecter les réseaux de chaleur de Vénissieux depuis 2015.

⁹ La base de défense de St Christol d'Albion est le premier projet de champ de capteurs pour alimenter un réseau de chaleur. Hélioclim réalise le champ de 160 capteurs solaires en partenariat avec IDEX pour le couplage à un réseau 100% solaire. Le démonstrateur a été lancé en mars 2017 et est attendu pour 2018.

Des technologies de stockage de plus en plus rentables pour révolutionner les systèmes électriques

Pour s'aligner avec les objectifs qu'elle s'est donnée dans le cadre de la Loi sur la Transition Énergétique, la France doit atteindre 40% d'énergies renouvelables d'ici 2030. L'intégration de ces énergies intermittentes n'est possible que si elles sont couplées à des capacités de stockage. La France possède déjà plus de 6GW de stockage grâce aux STEP¹, technologie la plus mature et la moins coûteuse à l'heure actuelle. Cependant les limites des STEP, initialement conçues pour restituer en journée la production nucléaire nocturne, ont ouvert la voie à l'apparition de nouvelles technologies plus adaptées aux caractéristiques des productions éolienne et photovoltaïque. Si ces solutions ne sont pas encore compétitives, les innovations technologiques vont contribuer à la multiplication par 3 de la capacité de stockage (hors pompage) d'ici 2030².

Le stockage diffus permet d'intégrer des EnR tout en offrant flexibilité et autonomie aux autoproducteurs

Dans un contexte favorable à la croissance des énergies renouvelables décentralisées, la France s'est dotée en avril 2017 d'un cadre législatif³ permettant aux autoproducteurs de consommer l'électricité qu'ils produisent. En conséquence, plusieurs solutions de stockage à l'échelle résidentielle sont apparues en France pour permettre de gérer le décalage entre les phases de production et de consommation de l'électricité.

En tête de cette révolution, les batteries conçues spécialement pour un usage domestique. Tesla, spécialiste des batteries, a été l'un des premiers à dynamiser ce secteur en proposant le Powerwall, une solution de stockage simple d'installation et au design sobre. La dernière génération possède une capacité de 14kWh et coûte environ 7000€. Si Tesla n'a pas communiqué de chiffre sur ses ventes, le succès du Powerwall, qui avait généré

38 000 précommandes suite à son officialisation en 2015, est indéniable. De leur côté, Schneider Electric avec EcoBlade et Solarwatt avec MyReserve ont misé sur leur expertise dans le domaine des logiciels de gestion de l'énergie en proposant une batterie assortie d'un système d'optimisation des cycles de charge / décharge. Grâce à ce système de pilotage et de visualisation, Solarwatt promet un taux de couverture des consommations de l'ordre de 80 %, pour les installations les plus optimisées.

Pour aller plus loin dans l'optimisation de la consommation à la maille résidentielle, SolarCity, une entreprise américaine issue du secteur des services énergétiques, propose depuis 2016 une solution intégrée regroupant des panneaux solaires, une batterie Tesla, un chauffe-eau électrique intelligent et un thermostat Nest. Cet écosystème a été conçu pour optimiser la répartition de l'énergie solaire disponible, le chauffe-eau assurant un stockage thermique complémentaire à la batterie.

Des technologies innovantes voient le jour pour assurer un stockage à grande échelle

Si les batteries ont séduit le marché résidentiel, d'autres solutions comme le stockage sous forme d'hydrogène ou dans des volants d'inertie ne sont pas en reste. Si ces technologies ont un niveau de maturité encore faible, plusieurs pilotes sont en cours pour étudier la viabilité économique et technique de ces solutions afin d'ouvrir la voie vers la généralisation de nouvelles formes de stockage massif des EnR.

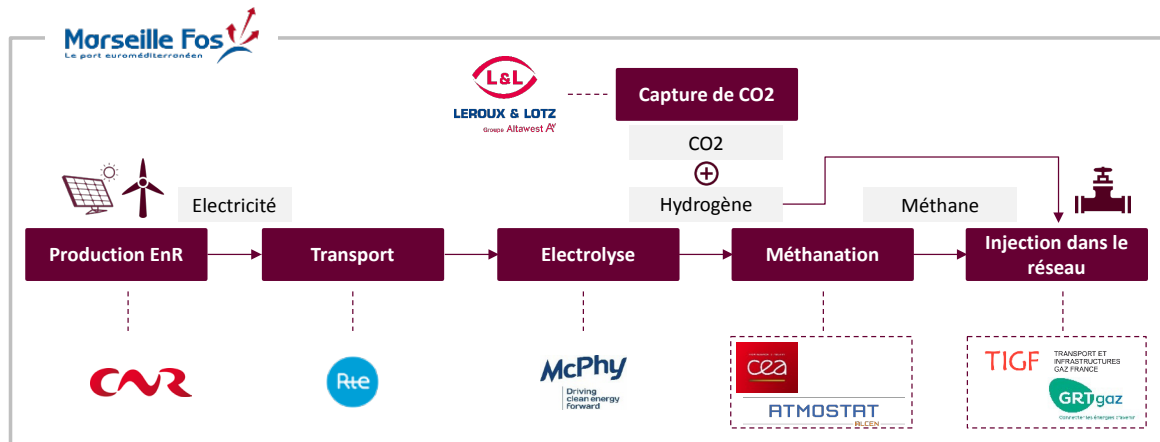
Dans la mesure où il offre des possibilités de stockage flexible et de longue durée, le Power-to-Gas, production d'hydrogène à partir d'électricité, a connu un boom ces dernières années. De nombreux pilotes à l'international testent actuellement les différents débouchés de valorisation de l'hydrogène ainsi produit : injection dans les réseaux après transformation en gaz naturel, utilisation directe (dans des véhicules, logements ou processus industriels) et reconversion en électricité. En Provence-

¹ STEP : Station de Transfert d'Énergie par Pompage

² Clean Horizon, France a rising market for energy storage in 2017, 2017

³ Loi n° 2017-227 du 24 février 2017 ratifiant l'ordonnance n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 relative à l'autoconsommation d'électricité

Le projet Jupiter 1000, résultat d'une collaboration entre plusieurs industriels et opérateurs réseaux, nécessaire pour maîtriser l'ensemble de la chaîne technologique d'un projet Power-to-Gas



Source : Analyse Sia Partners d'après Projet Jupiter 1000

Alpes-Côte d'Azur, première région productrice d'énergie solaire, se trouvera « Jupiter 1000⁴ », le premier démonstrateur Power-to-Gas raccordé au réseau de transport de gaz en France.

Cette installation, d'une puissance de 1MWe, est la première à cette échelle de production en France. Elle allie une production d'hydrogène à partir de deux procédés d'électrolyse à une technologie de méthanation⁵ innovante. La mise en service de l'installation est prévue pour 2018 et permettra de couvrir la consommation moyenne d'environ 150 foyers.

L'hydrogène peut aussi être valorisé sous forme d'électricité. Sur cette technologie, la plateforme MYRTE⁶, installée depuis 2013 en Corse, fait figure de pionnière. Résultant de la collaboration du CEA, de l'Université de Corse et d'AREVA, elle utilise la technologie Greenergy Box⁷ composée d'un électrolyseur et d'une pile à combustion. Ce dispositif permet le stockage d'hydrogène et d'oxygène obtenus par électrolyse de l'eau en période de faible demande d'énergie et leur recombinaison

pour produire de l'électricité lors des pics de consommation. A l'échelle du bâtiment, Sylfen a mis au point le « Smart Energy Hub⁸ », un dispositif similaire d'une capacité de 40kW. La start-up française prévoit une commercialisation courant 2018 et s'engage à assurer un coût de l'électricité équivalent à celui de l'énergie achetée sur le réseau national.

En complément, les volants d'inertie⁹ connaissent en regain d'intérêt. Jusqu'ici, les volants d'inertie étaient peu exploités car ils ne permettent qu'un stockage court. Cependant, ils sont adaptés pour gérer les fluctuations soudaines de la production EnR (passage d'un nuage, rafale de vent). Le marché, bien qu'aujourd'hui dominé par une dizaine d'acteurs dont le leader américain Beacon Power qui opère les deux plus grandes installations au monde (20MW dédiés à la régulation de fréquence), attire de nouveaux entrants tels que la start-up française Levisys qui vient d'ouvrir une usine pour produire des volants d'inertie et qui expérimente déjà sa solution dans le cadre du réseau électrique "intelligent" d'Engie-Ineo à Toulouse.

Ces technologies aux multiples avantages sont en passe de devenir compétitives

Ces nouvelles technologies de stockage viennent compléter les solutions existantes en apportant une flexibilité supplémentaire. Par exemple, les batteries, qui ont pris une longueur d'avance, sont faciles à installer tant au niveau des postes de production d'énergie que sur les réseaux électriques. Cette technologie est donc particulièrement adaptée au stockage résidentiel dont le dynamisme représente un levier de croissance important. De son côté, le Power-to-Gas apporte une réponse à la problématique du stockage long terme pour de gros volumes d'énergie qui n'était possible jusqu'ici qu'avec des STEP. Il est possible de transporter le gaz sur de longues distances et ainsi de conserver longtemps l'énergie produite. Malgré des coûts d'investissement élevés (deux fois plus que pour une batterie), les volants vont profiter de leurs coûts de maintenance très faibles et d'une durée de vie importante pour se créer une place aux côtés de ces nouvelles technologies.

⁴ Site internet du projet : www.jupiter1000.com

⁵ Procédé industriel consistant à faire réagir du dioxyde de carbone avec de l'hydrogène afin de produire du méthane

⁶ Mission Hydrogène Renouvelable pour l'intégration au réseau Electrique

⁷ Technologie développée par Areva

⁸ L'équipement est capable de fonctionner comme un électrolyseur pour transformer en hydrogène le surplus d'électricité et, inversement, en mode pile à combustible pour restituer cet hydrogène sous forme d'électricité

⁹ Stockage de l'énergie en convertissant de l'électricité en énergie cinétique de rotation et inversement

Bien qu'aujourd'hui le stockage par STEP reste le plus rentable, la chute importante des coûts engendrée par la généralisation de ces technologies, devrait en faire d'ici quelques années des modes d'alimentation en électricité compétitifs avec les prix de vente sur le marché. L'ADEME anticipe d'ailleurs une compétitivité de l'autoconsommation PV à l'horizon 2025¹⁰. De plus, ces nouvelles technologies représentent une alternative verte au mode d'équilibrage du réseau actuel, comme l'utilisation de groupes électrogènes qui pourraient être remplacés par une combinaison batteries / Power-to-Gas.

Si les capacités de stockage installées en France restent modestes par rapport à d'autres pays comme les Etats-Unis ou l'Allemagne, il est certain que le stockage d'électricité va continuer de monter en puissance afin d'accompagner le déploiement des énergies renouvelables, notamment avec l'apparition de technologies encore plus performantes (nouvelles générations de batteries, micro STEP).

Grâce à la collaboration de nombreux acteurs, des pilotes ont été lancés partout en France pour accélérer l'innovation afin de rendre les nouvelles solutions de stockage rapidement compétitives

DEMONSTRATEUR GRHYD 2013, 15.3 M€

- Expérimentation de l'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel et l'injection d'hythane dans une station de bus GNV
- Alimentation de 200 logements et de 50 bus

ENGIE GRDF INERIS McPhiv OKS CETI H CETIAT

MICRO-STEP DE BERRIEN 2014, 6.7 M€

- STEP dont l'énergie de pompage est fournie par des éoliennes et un parc solaire
- Stabilisation de la région bretonne grâce à une capacité de 1,5 MW en turbinage

IMERYS ARMINES UNITE

PLATEFORME MYRTE 2012, 21 M€

- Couplage de panneaux solaires photovoltaïques (560 kW) avec un système de stockage à base d'hydrogène

Université de Corse AREVA cca R capenergies

FLYPROD 2013, 14.6 M€

- Technologie de rupture de volants d'inertie à sustentation passive (10 kW)
- Construction de la 1^{er} usine française de production de volants d'inertie (capacité :20MW)

LOVISYS ENGE CIRTEM utt

THERM'STOCK 2015, 6 M€

- Solution de stockage d'énergie thermique haute température (jusqu'à 350°C) à échelle 10MWh
- Stockage jusqu'à quelques heures voire jours

CNIM LATIP UNIVERSITÉ COSMER cca

SMART GRID D'ATALA 2014, 15 M€

- Association d'une centrale photovoltaïque, d'un dispositif innovant de stockage par batterie (4,3MWh) et d'un logiciel de pilotage intelligent
- Alimentation de 1000 logements

ENGIE CORSICA SOLE

🔋 Batterie ⚙️ P2G 🌀 Volant inertie 💧 Micro-STEP 🌡️ Chaleur latente

Source : Sélection de projets Sia Partners d'après ADEME

¹⁰ Ademe, Photovoltaïque : vers une « autoconsommation » rentable ?, 2013

Réalité virtuelle et augmentée, des marchés prometteurs pour les entreprises et leurs clients

Avec la sortie de nouveaux produits annoncés au CES¹ à Las Vegas en début d'année et au Mobile World Congress à Barcelone, la réalité virtuelle et la réalité augmentée sont les sujets phares de cette année 2017. Les pionniers de la Tech comme Sony, Samsung et les GAFA² mais aussi des start-up y voient de belles opportunités et dépensent des dizaines de millions de dollars dans ce marché en pleine ébullition. Alors que l'intérêt du grand public pour la réalité virtuelle et la réalité augmentée a explosé avec la sortie récente d'applications grand public comme le Google Cardboard³, qui s'est écoulé à 5 millions d'exemplaires⁴ en 2016, ces technologies sont déjà présentes depuis plusieurs années dans le secteur de l'aéronautique et de l'automobile, mais aussi dans celui de l'énergie.

Le marché est en croissance sur les segments grand public et B2B

La réalité virtuelle et la réalité augmentée permettent de transformer des informations sous forme visuelle afin d'en faciliter l'analyse :

- La réalité virtuelle associe des technologies 3D immergeant l'utilisateur dans un monde numérique
- La réalité augmentée superpose des images et des informations sur le monde réel.

L'intérêt des GAFA pour ces technologies de rupture n'a fait que croître, comme le prouvent les investissements de plusieurs milliards de dollars de Google dans Magic Leap et de Facebook avec Oculus. Les start-up ne sont pas en reste avec 1,8 milliard de dollars⁵ investi en 2016, dopant la croissance de ce secteur qui a réalisé +30%⁶ en 2016⁷.

Si ce sont les applications grand public qui dynamisent le marché et entraînent une diminution des coûts, la croissance de ce marché, estimé à 130 milliards d'euros en 2020⁸, pourrait provenir majoritairement du marché B2B⁹.

La concurrence des géants de l'IT et les nouvelles normes imposées par la transformation numérique poussent les entreprises du secteur de l'énergie vers ces nouveaux usages.



¹ Consumer Electronics Show

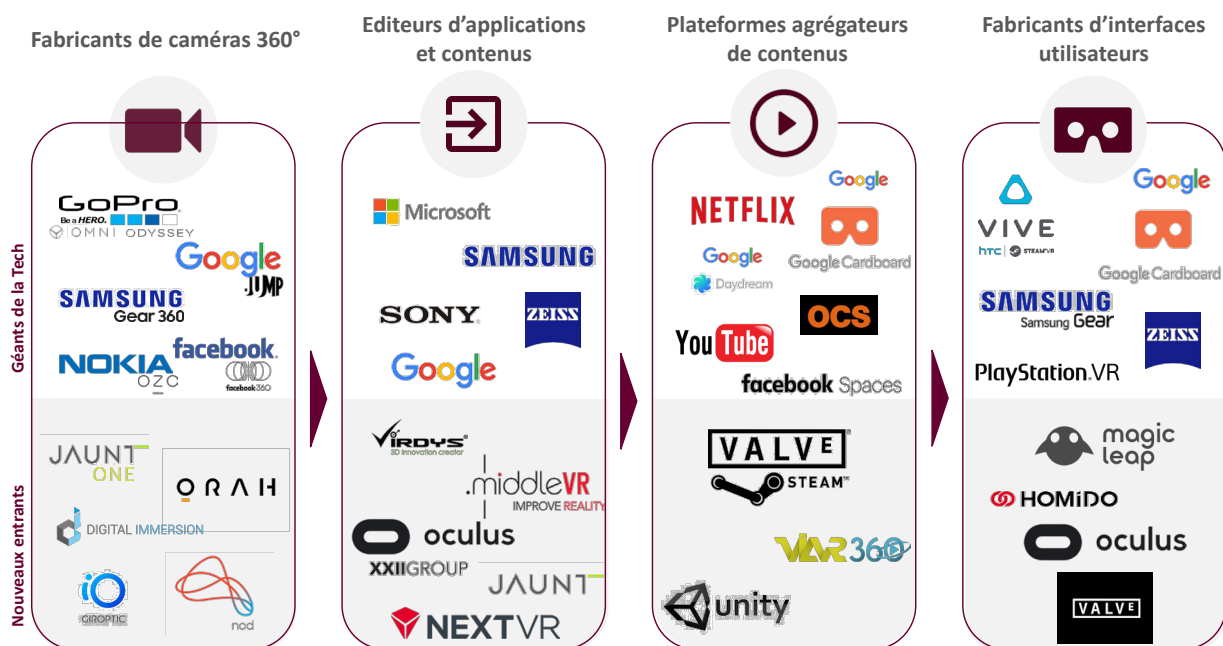
² « Géants du Web », de l'acronyme des plus connus : Google, Apple, Facebook, Amazon

³ Aujourd'hui, un utilisateur de Google Maps est capable de parcourir les rues comme s'il y était avec un simple smartphone et un casque de réalité virtuelle en carton, le Google Cardboard

⁴ Usine Digitale, Julien Bergounhoux, *Réalité virtuelle : Google annonce 5 millions de Cardboard distribués*, janvier 2016

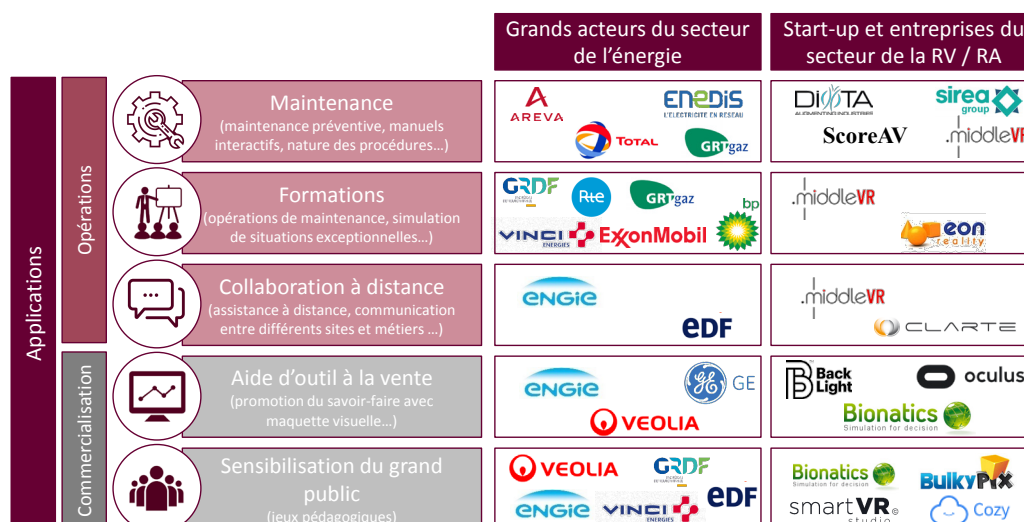
⁵ Road to VR, Clifton Dawson, *2016's Record Breaking VR/AR Venture Funding Totals \$1.8 Billion dollars*, 2017

Plusieurs catégories d'acteurs se sont positionnées sur la chaîne de valeur de la réalité virtuelle et augmentée



Source : Analyse Sia Partners d'après les sites des acteurs et l'étude CSA 2016 « Etat des lieux du marché de la réalité virtuelle »

Les grands énergéticiens s'appuient sur des spécialistes pour intégrer la réalité virtuelle et augmentée dans leurs usages



Source : Analyse Sia Partners d'après les sites des acteurs et la presse spécialisée

⁶ Road toVR, Clifton Dawson, 2016's Record Breaking VR/AR Venture Funding Totals \$1.8 Billion dollars, 2017

⁷ Par rapport à 2015

⁸ Les Echos Entrepreneurs, Emre Sari, Réalité augmentée : Pokémon Go, et après, août 2016

⁹ Business to business

Les énergéticiens font confiance aux start-up pour améliorer leur performance opérationnelle

La réalité virtuelle et la réalité augmentée apportent une nouvelle manière de représenter des objets, d'apprendre des procédures et de transmettre des connaissances. Ces technologies sont un excellent moyen de simplifier, à moindres frais, toutes sortes d'opérations complexes.

Aujourd'hui, dans un secteur en constante évolution, les nouvelles pratiques et technologies en matière de données nécessitent de nouvelles approches de formation. Les programmes de formation innovants immergent ainsi les équipes dans un monde virtuel pour leur enseigner des opérations de routine sans coût opérationnel et des interventions d'urgences à haut risque en toute sécurité sans se déplacer sur site. La start-up MiddleVR a développé un outil de formation en réalité virtuelle permettant à GRTgaz de former ses techniciens sur des tâches de maintenance des vannes d'installations gazières grâce à un casque immersif HTC Vive¹⁰. La jeune pousse, financée sur fonds propres, fournit trois types de prestations à ses clients, parmi lesquels figurent RTE, EDF ou la NASA : un service de développement d'applications avec des clients, des outils pour ces applications et une salle de réunion virtuelle collaborative nommée Improov3. Grâce à cette dernière solution, les distances sont abolies et des équipes dispersées géographiquement peuvent collaborer autour d'un même projet. EDF et Engie ont déjà adopté cette pratique¹¹. En plus d'accompagner les humains, la réalité virtuelle permet aussi de "former" les robots¹², comme le fait le collectif d'intelligence Artificielle OpenAI, fondé par Elon Musk.

La réalité virtuelle et la réalité augmentée constituent également une opportunité pour garantir la sécurité d'infrastructures complexes, telles que la construction d'une centrale nucléaire. Grâce à la solution de réalité augmentée de la start-up Diota Soft et d'un algorithme du CEA¹³, un contrôleur localisé chez Areva équipé d'une tablette et d'une application 3D peut vérifier en temps réel la conformité de chaque équipement en construction. Il va vérifier qu'il n'y a pas de décalage entre le modèle 3D sur la tablette et l'équipement construit. La réalité augmentée permet ici de gagner du temps et d'obtenir des résultats fiables.

L'immersion dans un monde virtuel est désormais utilisée à des fins de communication et de persuasion

Alors que nous assistons au développement de solutions opérationnelles, les applications sont aussi un outil d'aide à la vente ou de sensibilisation des clients. C'est le cas de Veolia, qui s'est démarqué en présentant son projet de Smart City en 3D grâce à une maquette numérique conçue avec l'éditeur de logiciel Bionatics¹⁴. Cette maquette modélise la ville connectée et aide les décideurs à arbitrer les questions de planification urbaine.

Les entreprises utilisent aussi cette technologie pour créer une proximité avec leurs clients en leur faisant découvrir virtuellement la réalité de leurs sites (visite des usines, processus de fabrication...) ou pour sensibiliser le grand public aux enjeux importants de l'entreprise via des jeux pédagogiques. C'est dans ce cadre qu'EDF a proposé le jeu Cleanopolis¹⁵ en réalité virtuelle pour sensibiliser les jeunes au changement climatique.

Ces technologies ouvrent de nouvelles perspectives de croissance aux énergéticiens

L'appropriation de ces technologies de rupture combinée aux solutions d'analyse de Big Data conduit ainsi les énergéticiens à concevoir de nouveaux services pour leurs clients, notamment liés aux Smart Cities et à la MDE (Maîtrise de la Demande en Energie). C'est le cas de la solution collaborative de maquette numérique du logement, BIM¹⁶ (Building Information Modeling), qui s'inscrit dans les initiatives accompagnant la loi sur la transition énergétique. Les énergéticiens peuvent par exemple proposer ce type de solution à leurs clients pour les accompagner dans la conception de leur projet de rénovation énergétique et dans leurs choix sur le plan énergétique. EDF s'est par exemple associé avec la start-up CozyCloud pour proposer un carnet numérique du logement¹⁷ aux bailleurs sociaux et habitants tout en améliorant sa connaissance client. Grâce à son expertise en matière d'énergie et à l'aide de cette plateforme numérique, EDF peut récolter et analyser des données sur ses clients afin de mieux les accompagner dans la réduction de leur consommation d'énergie. A terme, ce carnet numérique permettra à l'occupant de mieux connaître et gérer son logement.

Pour aller plus loin, les énergéticiens devront évoluer vers une culture numérique, avec une organisation agile et collaborative pour stimuler l'innovation et tirer le maximum de ces nouvelles technologies. Les entreprises devront notamment positionner leurs clients en tant que co-créateurs de nouveaux services pour répondre au mieux à leurs attentes.

¹⁰ Les Echos, Florian Debes, GRTgaz préfère la réalité virtuelle à la réalité augmentée, avril 2016

¹¹ Le Moniteur, Catherine Jung-Ernenwein, Une salle de réunion virtuelle en immersion 3D, mai 2016

¹² Usine Digitale, Julien Bergounhoux, OpenAI entraîne des robots en réalité virtuelle, mai 2017

¹³ Areva NP, Areva reçoit le prix SFEN 2017 de l'innovation technologique de l'année, pour son projet TQC², juillet 2017

¹⁴ Blog NovaVeolia, NovaVeolia mise sur le Big Data pour inventer la ville de demain

¹⁵ Site EDF, Découvre le jeu Cleanopolis et deviens un super héros du climat !

¹⁶ La maquette numérique BIM propose un support collaboratif qui permet de visualiser et d'appréhender un bâtiment avant qu'il n'existe réellement puis tout au long de son cycle de vie.

¹⁷ Le Moniteur, Carnet numérique d'entretien du logement : 1M€ pour les 12 lauréats de l'appel à projets du Plan Transition Numérique, décembre 2016

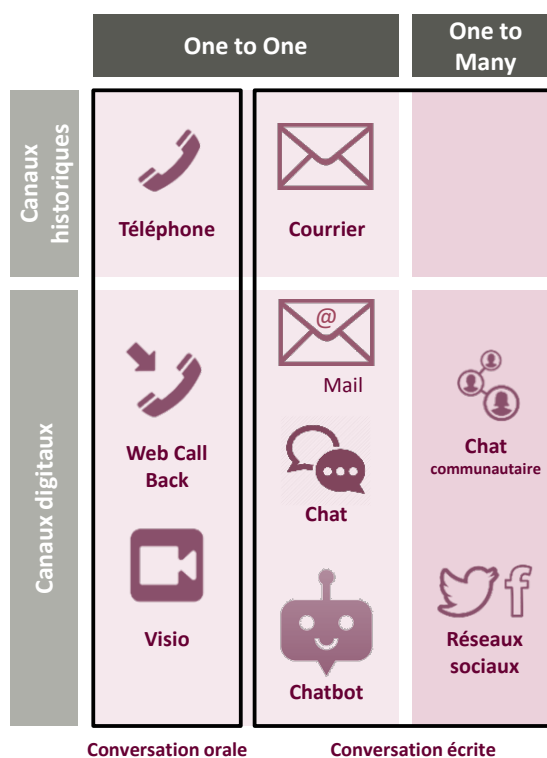
Ces nouvelles entreprises qui digitalisent la relation client des fournisseurs

Depuis quelques années, on observe une course à la digitalisation de la relation client chez les énergéticiens : les chats fleurissent, les chatbots se multiplient et les pages sur les réseaux sociaux sont désormais un incontournable. Le client est donc libre de contacter son fournisseur depuis n'importe quel appareil quand bon lui semble. Tout cela dans le seul but « d'humaniser » le parcours Internet du client ? En réalité, au-delà de simplifier la vie du client, cette digitalisation constitue un axe stratégique majeur pour les énergéticiens pour préserver leur portefeuille sans surinvestir dans la relation client et pour moderniser leur image. Cette digitalisation à marche forcée implique aussi de profondes mutations aussi bien techniques qu'organisationnelles.

Digitalisation rime avec acquisition et fidélisation du client

On appelle « suspect » un client intéressé par les services d'une entreprise mais qui n'y a pas encore souscrit. La capacité à attirer ces « suspects » est primordiale sur le marché de la fourniture d'énergie, où une mise en service d'électricité ou de gaz dans un nouveau logement et donc la « conquête » d'un nouveau client n'est pas si fréquente. Or, le pourcentage de clients commençant un parcours Internet de mise en service et souscrivant finalement à une offre est de l'ordre de 5% seulement. La digitalisation offre plusieurs solutions pour réduire ce taux de 95% d'abandon. Tout d'abord, elle permet de mieux segmenter les « suspects » selon leurs caractéristiques et situation en dynamique (par exemple, recherche d'un logement). Une fois cette segmentation réalisée, des campagnes marketing ciblées sont déployées en proposant des offres adaptées aux besoins. Une fois que le client passe du statut de « suspect » à celui de « prospect » en se rendant sur le site Internet, il s'agit de ne plus le perdre. Plusieurs irritants peuvent jalonner le parcours de mise en service : choisir une offre parmi un large panel ou trouver le numéro de point de livraison. Les canaux digitaux jouent alors un rôle

Classification des canaux client-conseiller (hors canal physique)



Source : Analyse Sia Partners

primordial. Une fenêtre chat peut par exemple s'ouvrir après une saisie incorrecte du point de livraison ou du Web Call Back peut être proposé tout au long du parcours.

Une fois le client conquis, il faut le fidéliser. D'autant plus que les contacts entre client et fournisseur sont relativement rares (en moyenne, un client d'EDF décroche son téléphone 1 fois par an pour appeler son fournisseur)¹ ; souvent lors d'un problème d'approvisionnement ou de facture, d'où l'importance de soigner et de sécuriser cette relation. Les canaux digitaux sont un bon moyen de fidéliser le client en lui proposant de l'aide ou des services avant qu'il n'en fasse la demande, par exemple lors d'un dépannage ou d'une facture incorrecte. Ainsi, le client ne doit pas se sentir démuné face à une difficulté et la mise en contact doit être simple, rapide voire pro-active.

La digitalisation bouleverse la gestion de la relation client

Les canaux digitaux s'avèrent plus rentables que les canaux historiques. En effet, à l'échelle du conseiller, plusieurs chats peuvent être traités simultanément avec une satisfaction client souvent meilleure qu'au téléphone. Longtemps cantonnés à un simple canal de SAV, les canaux digitaux se transforment en canal de vente : ainsi, 20% des ventes se réalisent via un canal digital pour Direct Energie². Cette rentabilité est accrue quand la digitalisation se substitue aux conseillers pour traiter les demandes les plus simples. C'est le cas des chatbots, robots logiciels pouvant dialoguer avec un client en langage naturel, qui automatisent la relation client, ou encore du chat communautaire qui permet de transférer la connaissance de la relation client à une communauté d'experts piochés dans le panel des clients et souvent bénévoles.

Stratégie des fournisseurs d'énergie sur l'externalisation sur la gestion de leur relation client

Fournisseurs	Direct Energie	EDF	Engie
Nb de clients en France (élec. + gaz) en millions	2,1	30	11,2
Nb de conseillers clients (internes et externe)	1 000	6 000	4 000
Pourcentage du nb de conseillers externes	100 %	50 %	80 %
Prestataire(s) de la relation client	Webhelp	Acticall Arvato etc.	Acticall Arvato etc.
Externalisation à l'étranger ?	Oui (Maroc)	Non	Oui (Maroc, Portugal, Ile Maurice)

Source : Analyse Sia Partners d'après informations publiques des fournisseurs

A une échelle plus large que celle du conseiller, la digitalisation bouleverse aussi l'organisation des centres de relation client (CRC). On assiste depuis le début des années 2000 à une externalisation continue de ces CRC. En confiant leur relation client à des prestataires, les fournisseurs externalisent toutes les problématiques liées à la gestion des CRC, du modèle d'activité à la professionnalisation des conseillers. L'intensification de la concurrence et la montée en puissance du digital conduisent à une complexification de ces problématiques, notamment à de nombreuses évolutions des gestes/pratiques des conseillers, et ce à des rythmes de plus en plus rapides. Cet écosystème impose une adaptation profonde des modes de professionnalisation des conseillers clients tant en termes de formation que d'information, souvent réalisée par des experts ex-

ternes de la relation client. Ainsi les trois principaux fournisseurs d'électricité français ont totalement ou en partie externalisé leurs CRC : Direct Energie a intégralement sous-traité sa gestion de la relation client à Webhelp³ avec des CRC basés en partie au Maroc ; Engie a également décidé d'accélérer cette externalisation en 2016, non sans soulever quelques polémiques, en ouvrant des CRC au Maroc via son sous-traitant Acticall⁴; enfin, EDF externalise 40% de ses CRC mais garde une implantation nationale⁵.

Un écosystème de start-up favorise digitalisation et automatisation

Une multitude de start-up propose aux entreprises des solutions clé en main pour faire le lien entre conseiller et client sur un canal digital avec une intégra-

¹ Les Echos, Frank Niedercorn, « EDF numérise sa relation client », 2015

² Do You Dream Up, « Retour d'expérience Direct Energie », 2016

³ En Contact, Holden Cofield, « Direct Energie s'appuie sur Webhelp pour améliorer l'expérience client », 2017

⁴ L'Est Républicain, « Toul : le centre d'appels Acticall vers la fermeture », 2016

⁵ Acticall, « Le service client de EDF : quelle organisation ? », 2012

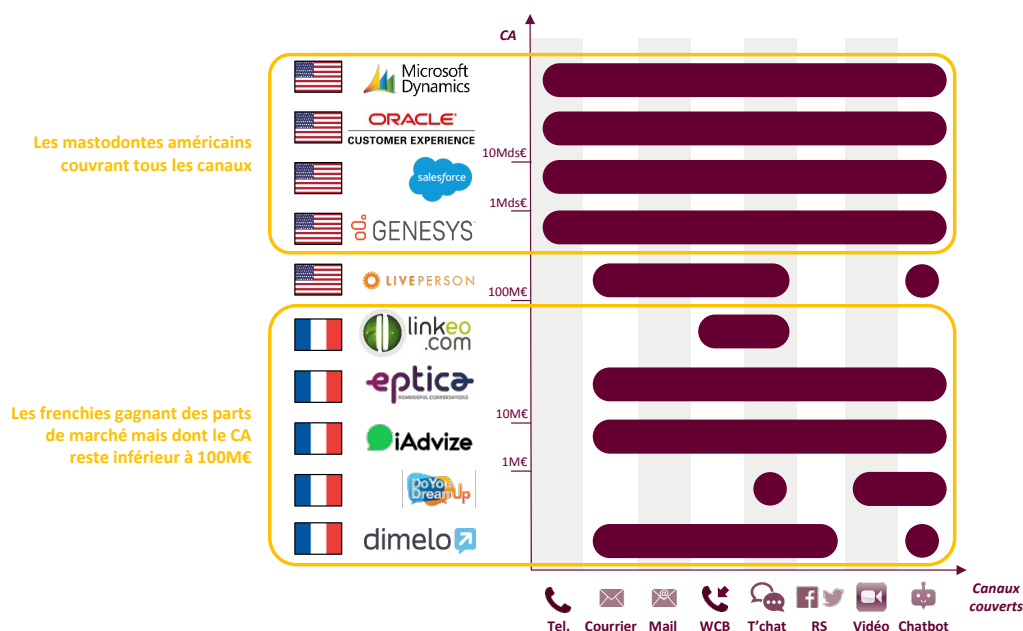
tion souvent limitée à leur SI. Ces « pure players » offrent agilité, flexibilité et expertise à de grandes entreprises aux SI souvent complexes. Un vivier de start-up françaises rivalise avec les mastodontes américains comme Microsoft, Oracle ou encore Salesforce sur ces canaux digitaux. Les fournisseurs français ont ainsi choisi des prestataires français pour développer le canal chat en 2016 : iAdvize pour EDF, Do You Dream Upⁱⁱ pour Direct Energie. Quant aux réseaux sociaux, Dimelo permet aux trois premiers fournisseurs d'énergie d'y échanger avec leurs clients. Dans un souci d'homogénéité et de réduction des coûts, il est demandé à ces start-up de couvrir un panel de plus en plus large de canaux, mais la plupart se sont initialement spécialisées dans un canal : Dimelo dans les réseaux sociaux, iAdvize dans le chat et Do You Dream Up dans les chatbots par exemple. La facilité d'implémentation que proposent ces pure players a toutefois un coût impor-

tant sur le long terme, leur système de facturation étant basé sur la volumétrie des interactions.

Avec les progrès réalisés en matière d'intelligence artificielle, les chatbots se multiplient : Direct Energie vient d'industrialiser un chatbot sur Messenger début 2017⁶ avec The Social Client, l'agence conseil d'Acticall ; Engie teste une solution interne⁷, « Angie », déployée seulement au Royaume-Uni pour la gestion des factures des services B2B ; enfin, EDF est en phase d'expérimentation avec Recast.AI et avait déjà implémenté l'avatar virtuel « Laura » sur son site internet avec Do You Dream Up depuis 2009. Le chatbot permet, au même titre que le chat, de venir en aide aux clients, à la seule différence qu'il est toujours disponible pour répondre à ses questions. Les chatbots pourraient représenter 40 % des interactions de la relation client en 2020. Chez les énergéticiens, les chat-

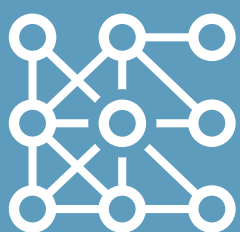
bots sont encore cantonnés au domaine du SAV. Leur potentiel pourra être davantage exploité en les déployant dans des rôles de vente ou de pur relationnel, qui sont désormais accessibles grâce aux nouvelles générations de chatbots. A la pointe dans ce domaine et dans d'autres secteurs, le chatbot JAM qui permet par exemple à ses utilisateurs de trouver des idées de sortie à Paris, ou encore le chatbot développé par l'Oréal en partenariat avec Cossette et Technologies Automat qui permet, à partir d'une description physique, de sélectionner un cadeau adapté. Ces chatbots permettent de fidéliser la génération des millennials, plus volatile, plus connectée et plus réceptive à la digitalisation que ses aînés. Si les fournisseurs historiques veulent sécuriser leur part de marché, il leur sera indispensable de conquérir cette génération.

Principaux éditeurs de canaux de la relation client en France (liste non exhaustive)



⁶ Relation Client Mag, Floriane Salgues, « Direct Energie lance son chatbot », 2017

⁷ Engie, « Angie the Chatbot », 2017



L'IOT ET LA DONNÉE AU SERVICE DES RÉSEAUX

Les réseaux d'énergie entrent dans l'ère du Big Data

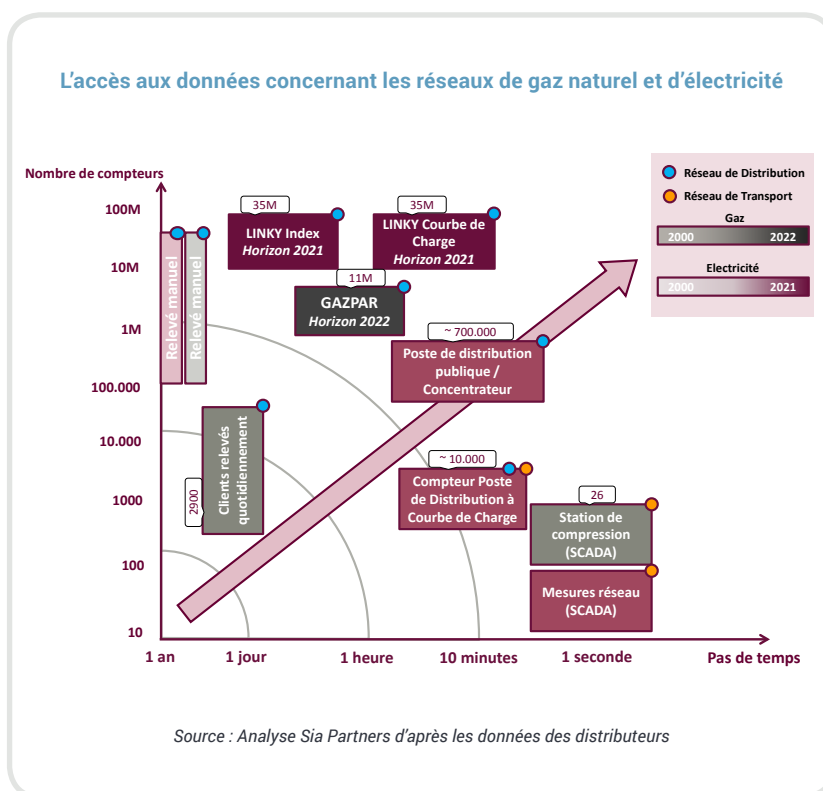
Le volume de données traitées a gagné un ordre de grandeur au cours des dix dernières années et les puissances de calcul, comme les capacités de stockage, ne cessent de croître. Ce développement rapide autour de la donnée transforme en profondeur les activités du secteur de l'énergie. Historiquement associé aux GAFA (Google, Apple, Facebook et Amazon), le phénomène « Big Data » s'est maintenant généralisé chez les gestionnaires de réseaux de gaz et d'électricité afin de répondre aux enjeux d'optimisation de l'exploitation du réseau : intégration des énergies renouvelables, flexibilité de la demande, anticipation des incidents, ou encore fiabilisation du réseau.

La course à la collecte de données s'intensifie

Suite à la mise en place progressive de systèmes de télémesure automatiques et communicants, le nombre de données captées par les gestionnaires de réseau a dernièrement explosé. Plusieurs types de données sont concernés par cette récupération de masse : les données d'imagerie, les informations issues de systèmes de vidéosurveillance ou encore les chroniques de mesures liées à l'activité du réseau (relevés de puissance, tension, température, irradiation etc...). Ces données de transit sur le réseau peuvent répondre à des problématiques de pilotage industriel, de gestion des réseaux et d'efficacité de la maintenance.

La récupération de données se fait à une maille spatiale et temporelle de plus en plus fine. C'est notamment le cas pour la mesure de la consommation électrique : alors que, il y a quelques années, les relevés électriques chez les consommateurs s'effectuaient par index deux fois dans l'année, les compteurs Linky, actuellement en déploiement, permettront une relève des courbes de charge à un pas de temps minimal de dix minutes.

De manière générale, le pilotage des réseaux électriques requiert des fréquences de mesure plus élevées que ce que l'on peut trouver dans la distribution de gaz. Il existe également des différences dans



la collecte entre Gestionnaires du Réseau de Transport (GRT), et Gestionnaires du Réseau de Distribution (GRD). Les premiers, situés en amont de la chaîne, sont responsables de l'équilibre et du fonctionnement du réseau à chaque instant. Ils ont donc tendance à récolter des données

à une fréquence élevée (de l'ordre de la seconde) pour mener à bien leurs missions. En aval, les GRD captent des données à une maille spatiale beaucoup plus fine, pour suivre l'activité des ramifications, mais se contentent d'une relève des données toutes les dix minutes en moyenne.

Des algorithmes poussés valorisent ces volumes de données

Toutes ces données récoltées sont exploitées par les gestionnaires de réseaux d'énergie. Même si une simple restitution de ces données brutes est déjà porteuse de valeur, celles-ci sont souvent traitées par des algorithmes et utilisées pour alimenter des modèles de prévision.

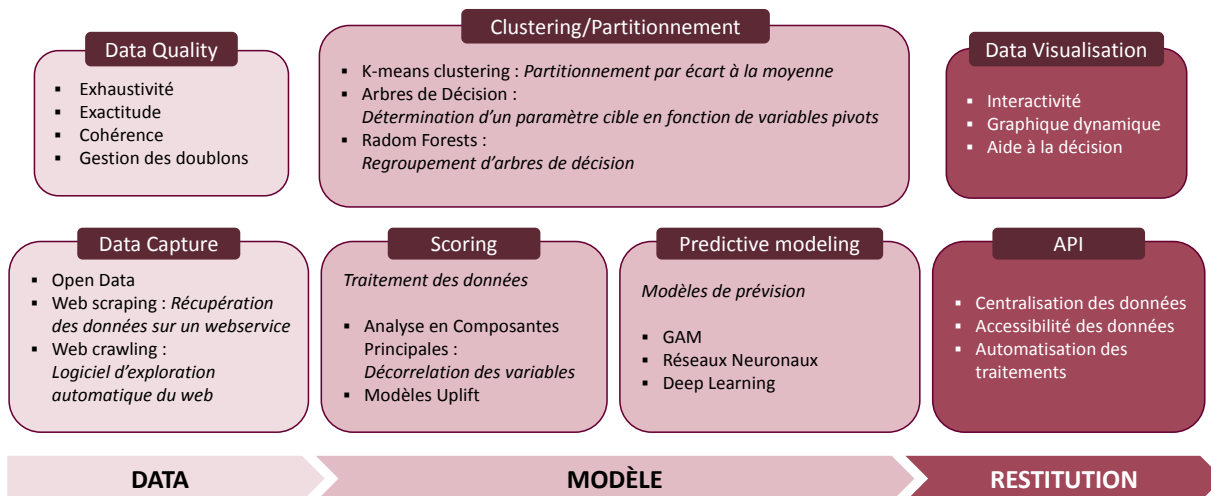
Les agrégations classiques, consistant à sommer ou moyenner les données, constituent le mode de traitement le plus simple. Mais certains algorithmes vont plus loin en mettant en évidence des liens statistiques et des corrélations au sein de ces *dataset*, généralement entre un paramètre cible (consommation, production, bénéfice, coût) et un jeu de variables prédéfini. Parmi les plus efficaces d'entre eux, beaucoup s'appuient sur des principes empruntés à l'Apprentissage Automatique, ou *Machine Learning*. Cette discipline dans le giron de l'Intelligence Artificielle consiste en l'élaboration de modèles dont le comportement et la réponse évoluent en fonction d'un historique de données, traité, analysé et régulièrement actualisé.

Parmi les algorithmes les plus utilisés se trouvent les modèles de régression (linéaire, polynômiale, ...), les Modèles additifs Généralisés, dits modèles GAM, les réseaux neuronaux simples ou encore les modèles de type *Deep Learning*. Par exemple dans un modèle *GAM*, le moteur calcule la participation de chaque variable explicative à l'estimation finale du paramètre cible. L'influence de chaque variable est décrite par une courbe appelée spline, qui correspond à une relation a priori non linéaire entre la variable et le paramètre cible. L'estimation finale est obtenue en sommant les participations des différentes variables.

Introduire ces algorithmes dans la chaîne de valeur de la donnée délègue une grande part du savoir aux machines, et génère ainsi un nouveau risque. Pour des modèles à complexité élevée de type « boîte noire », comme les réseaux neuronaux, l'utilisateur peut en effet perdre la compréhension de l'algorithme face à des résultats aberrants. Culturellement, les pays anglo-saxons sont plus enclins à accepter les risques engendrés par les algorithmes de type *Deep Learning*, contrairement aux pays latins, dont la France, qui préfèrent garder la maîtrise des opérations réalisées sur les données.



Les 3 grandes étapes du traitement de données et les méthodes associées



Source : Analyse Sia Partners



Quelques focus : amélioration de la conduite du réseau de distribution d'électricité et détection de fraudes

Les modèles évoqués précédemment peuvent jouer un rôle majeur dans les trois grandes activités liées au réseau électrique : gestion du réseau, pilotage industriel et opérations de maintenance. La détection de fraude est une des nouvelles activités de gestion du réseau. En agrégeant les données récoltées à une maille spatiale fine, et en comparant les résultats avec des données recueillies à une échelle plus large, il est possible de quantifier les pertes sur le réseau. Parmi elles, on distingue les pertes techniques (dissipation par effet Joule pour le réseau électrique ou fuites pour le réseau de gaz par exemple), et non techniques, dont font partie les fraudes ainsi que les erreurs informatiques.

D'autre part, dans un contexte d'augmentation permanente des productions décentralisées, le pilotage du réseau de dis-

tribution est de plus en plus complexe. Être capable de réaliser des prévisions de production ou de consommation au niveau des postes d'interface entre le réseau de transport et de distribution devient une nécessité. De meilleures estimations rendent les gestionnaires plus performants sur des tâches allant de la planification des travaux à la gestion des incidents sur le réseau. En France, la production et la consommation d'énergie étant fortement météo-sensibles, les algorithmes de Machine Learning sont particulièrement adaptés aux besoins de prévisions. Un historique, consolidé à partir de relevés de consommation au niveau des postes de transformation et de données prévisionnelles de température, d'irradiation et de vitesse de vent, alimente un modèle fournissant des prévisions électriques locales.

Les outils du Big Data peuvent également trouver des applications dans la maintenance prédictive. En anticipant, à l'aide de modèles, l'ampleur et la localisation d'inci-

dents techniques, il devient possible d'organiser au mieux les opérations de rénovation et de remplacements. Encore une fois ces outils s'appuient sur un historique d'incidents ainsi que sur un ensemble de variables a priori liées aux incidents (chaleur, vent, neige, périodes de l'année comme les vacances, pics de consommation ou de production). Pour atteindre une conduite optimale du réseau, il sera nécessaire de se rapprocher au maximum d'un relevé des données en temps réel, et d'une mise à disposition la plus rapide possible. Cela permettra évidemment aux opérationnels de réagir plus rapidement, mais également de corriger les modèles de prévision à une fréquence élevée (Recalage Court Terme Dynamique).

De nouveaux moyens de télécommunication pour des Grids encore plus Smart

Le développement des Smart Grids en réponse à la production croissante d'énergie renouvelable décentralisée, à l'essor de nouveaux usages comme le véhicule électrique et à la volonté de maîtriser nos consommations est autant une question énergétique qu'un enjeu technologique. C'est ce que reconnaît le Plan France Numérique 2012-2020 en fixant comme objectif prioritaire le développement de réseaux électriques intelligents par le « rapprochement des acteurs des TIC et de l'énergie, au travers de projets communs »¹. Ainsi, au-delà des technologies classiques de type filaire ou réseaux mobiles, de nouveaux démonstrateurs Smart Grids testent des solutions de télécommunication innovantes, couplées à des objets connectés, qui ouvrent de nouvelles perspectives pour le développement des réseaux intelligents. Quelles sont ces solutions et leurs applications ? Quelles stratégies adoptent les acteurs de ce nouveau marché ? Quelles sont les perspectives de développement ?

Les réseaux bas débit longue portée bouleversent le secteur des télécoms

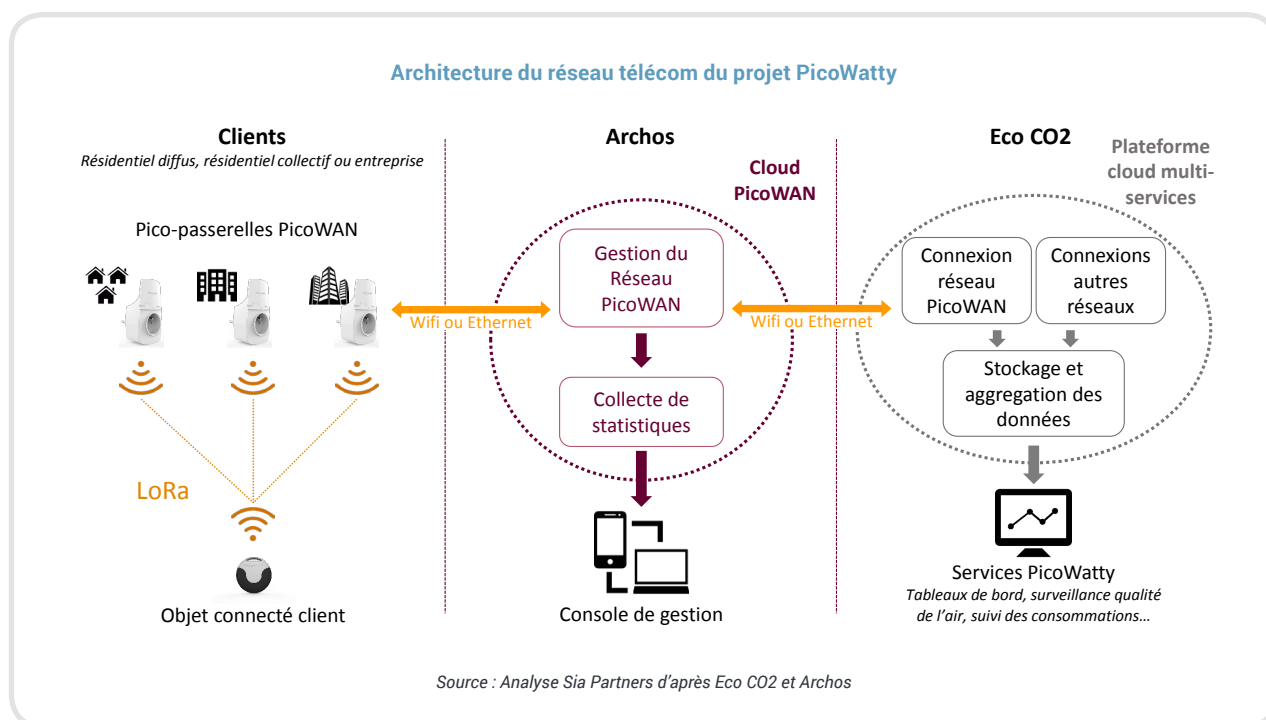
Face aux réseaux traditionnels de type GSM ou WiFi, les réseaux dits *Low Power Wide Area* (LPWA) se développent depuis quelques années. Caractérisés par leur faible débit, ils sont très peu énergivores, contrairement aux autres réseaux, et permettent donc de transporter de petites quantités d'informations avec une grande autonomie et une longue portée. Ils sont donc particulièrement adaptés pour des capteurs qui émettent de faibles volumes de données de façon périodique, comme la télé-relève de compteurs ou la remontée d'alarmes. Autre avantage de taille : leur faible coût. Ils exploitent en effet une bande de fréquences libre de droit (autour de 868 MHz en France), donc sans coût de licence, et les émetteurs/récepteurs associés coûtent seulement quelques euros, contre plusieurs dizaines pour des puces haut débit.

La France est pionnière dans ce domaine avec la création de la start-up toulousaine Sigfox en 2009. Cette avance a permis à Sigfox de développer largement la couverture de son réseau en France (92% du territoire avec 1500 antennes) mais aussi à l'étranger. Sa technologie se base sur l'utilisation d'une bande de fréquences très étroite (*Ultra Narrow Band*), permettant de limiter les interférences, l'entreprise se rémunère ensuite sur le nombre d'objets connectés à son réseau. Face à cette technologie propriétaire, l'alliance LoRa, issue du rachat de la start-up française Cycléo par l'américain Semtech en 2012, mise sur un protocole ouvert, un débit plus important et le développement d'un standard international ainsi que d'un écosystème d'acteurs pour sa technologie. Principal concurrent de Sigfox, sa couverture est moins étendue et nécessite davantage d'antennes mais des acteurs historiques tels que Bouygues Telecom et Orange proposent d'ores et déjà leur propre réseau LoRa. Face à ces deux acteurs ma-

jeurs, de nouveaux entrants pénètrent ce marché émergent et développent une approche intégrée : Qowisio qui propose une offre bout en bout incluant hardware, software et réseau télécom et Actility qui commercialise des services d'efficacité énergétique basés sur des capteurs et un réseau LoRa.

Les réseaux LPWA sont particulièrement adaptés aux réseaux de distribution d'énergie et d'eau. Ainsi, le réseau de distribution d'électricité opéré par Enedis est historiquement peu instrumenté en ce qui concerne la Basse Tension, le coût et la complexité étant augmentés par la multiplicité des infrastructures (départs, points de comptage) et des configurations de réseaux très variées. Des projets pilotes lancés récemment ont fait le choix d'expérimenter des solutions LPWA pour lever ces contraintes.

¹ France Numérique 2012 - 2020, 57 objectifs prioritaires pour 2020, 2011



Des démonstrateurs Smart Grids français font le pari des LPWA

Issu du Programme Investissements d'Avenir (PIA) de l'ADEME, le démonstrateur SO GRID piloté par Enedis a exploité pendant un an une chaîne de communication couvrant l'intégralité du réseau de distribution d'une aire urbaine de Toulouse. Cette chaîne comprenait des équipements et fonctions d'observabilité et de pilotage du réseau basés sur la technologie Courant Porteur en Ligne de 3^{ème} génération (CPL G3), qui utilise le réseau électrique pour transmettre l'information. Ce type de réseau filaire est très courant dans les applications Smart Grids en France car il est sécuritaire, facile à installer, de bonne portée et ne nécessite pas d'investissement supplémentaire dans les lignes réseau. Son application est cependant limitée en fonction des situations, notamment en zone rurale où le réseau électrique très étendu peut rendre coûteux son déploiement, ou pour les réseaux d'eau et de gaz qui ne coïncident pas forcément avec le réseau électrique. La chaîne de communication SO GRID a permis de remonter pen-

dant un an des données de consommation clients mais aussi de mesure du système électrique à différents points du réseau, ainsi que d'agir à distance sur des équipements. Les résultats ont été très encourageants : pour la première fois, une portion du réseau basse et moyenne tension a été intégralement connectée grâce à une technologie filaire et 5 brevets ont été déposés.











Le nouveau démonstrateur Smart Occitania, centré sur le déploiement des Smart Grids en milieu rural, est lui aussi lauréat du PIA de l'ADEME. Dans la lignée de SO GRID, il vise à déployer 4000 capteurs pour améliorer l'observabilité et la conduite du réseau de distribution électrique. Contrairement à son prédécesseur urbain, c'est le réseau LPWA de Sigfox qui sera utilisé pour communiquer avec les capteurs. Au-delà de la volonté de développer l'économie locale, Sigfox étant une PME de la région, ce type de réseau longue portée à bas coût s'adapte parfaitement à un réseau rural étendu, peu dense et majoritairement aérien. Sigfox est associé au consortium à l'origine du projet et assure que sa technologie permettra de faire remonter les infor-

mations très rapidement pour fournir un meilleur service au client². Débuté en avril 2017, l'expérimentation doit durer 3 ans et demi pour un budget de 8 millions d'euros. S'étendant sur l'ensemble du territoire de la région Occitanie, son objectif final est de concevoir un nouveau modèle de réseaux intelligents en milieu rural, répliquable et exportable à l'étranger, tout en développant une filière économique locale.

Parmi les récents lauréats du PIA, le projet PicoWatty entend lui aussi exploiter les possibilités offertes par le LWPA associé à une infrastructure d'objets connectés. L'objectif est d'apporter des services liés à l'énergie et à la santé à différents types d'utilisateurs : particuliers en situation de précarité énergétique, entreprises et collectivités locales, copropriétés... Piloté par EcoCO2, le projet s'appuiera sur l'utilisation des « pico-passerelles » développées par la société Archos. Ces pico-passerelles sont des prises de courant commandées, connectées à internet et qui jouent le rôle d'antennes miniatures à l'échelle d'un bâtiment. Equipées d'une puce LoRa, elles permettent de créer un réseau LPWA « col-

² La Dépêche du midi, *Les technologies spatiales en première ligne*, 2017

Panorama des principales technologies LPWA

Technologie	Caractéristiques	Acteurs	Applications Smart Grids
 Créée en 2009	<ul style="list-style-type: none"> Technologie propriétaire Technologie de modulation à spectre étroit (UNB) Bande de fréquences : 868 MHz Couverture : monde (36 pays) 	<ul style="list-style-type: none"> Sigfox Engie M2M en Belgique, ... 	Smart Occitania Conduite du réseau de distribution électrique en milieu rural
 Créée en 2012	<ul style="list-style-type: none"> Technologie non propriétaire Technologie de modulation à étalement du spectre (LoRa) Bande de fréquences : 868 MHz Couverture : monde 	<ul style="list-style-type: none"> Alliance LoRa : +500 membres dont Orange, Objenious (filiale de Bouygues Telecom), Actility, mais aussi EDF, m2ocity... 	Smart Grid Vendée Valorisation de flexibilités électriques à l'échelle de bâtiments publics
 Créée en 2009	<ul style="list-style-type: none"> Technologie non propriétaire Bi-mode (UNB et LoRa) Bande de fréquences : 868 MHz Couverture : France 	<ul style="list-style-type: none"> Qowisio 	Aucun démonstrateur Smart Grids connu
 Créée en 2017	<ul style="list-style-type: none"> Technologie non propriétaire Technologie radio VHF Bande de fréquences : 169 MHz Couverture : monde (+3M d'objets connectés) 	<ul style="list-style-type: none"> Alliance Wize : +30 membres dont GRDF, Suez et Sagemcom 	Télé-relève des compteurs d'eau et de gaz, collecte des déchets
 Créée en 2015	<ul style="list-style-type: none"> Technologie propriétaire Technologie de modulation à étalement du spectre (LoRa) Bande de fréquences : 868 Mhz Couverture : France 	<ul style="list-style-type: none"> Archos 	Démonstrateur PicoWatty Développement d'une offre multi-services énergie-environnement-santé

Source : Analyse Sia Partners

laboratif » à bas coût, ces prises ayant un coût cent fois moindre qu'une antenne classique, pour peu que chaque bâtiment soit équipé. L'objectif affiché par Archos est de concurrencer Sigfox et LoRa en affichant des prix moindres et en partageant 50% des revenus des connexions avec ceux qui développeront leur réseau de pico-passerelles.

Le déploiement massif de ces nouvelles solutions nécessitera la convergence des acteurs

Dans le monde des réseaux bas débit appliqués au Smart Grids, la compétition s'intensifie entre les opérateurs historiques tels que Orange et Bouygues Telecom, les pure players (Sigfox, LoRa, Qowisio, Actility, etc), les fabricants de matériels qui développent leurs offres

IoT³ (Archos, Sagemcom, STMicroelectronics, etc) et les énergéticiens. Certains d'entre eux développent ainsi des compétences télécom pour proposer de nouveaux services à leurs clients : c'est le cas d'Engie à travers sa filiale Engie M2M dédiée à l'installation et l'exploitation du réseau Sigfox en Belgique. En effet, le potentiel du marché est énorme : l'agence américaine du commerce extérieur a évalué les dépenses mondiales annuelles consacrées aux Smart Grids à 30 milliards de dollars⁴, et les spécialistes tablent sur 30 à 40 milliards d'objets connectés d'ici 2020⁵. Cependant, aucun acteur ne peut déployer seul les réseaux télécom nécessaires aux Smart Grids, ils doivent former des partenariats. C'est le cas notamment de l'alliance Wize créée par GRDF, Suez et Sagemcom en mars 2017 pour promouvoir la technologie bas débit longue portée du même nom.

Face aux dizaines de protocoles de communication aux spécifications variées coexistant sur le marché, les enjeux d'interopérabilité et de standardisation sont cruciaux pour le développement à plus large échelle des solutions. A ce titre, la Commission Européenne impose à chacun de ces démonstrateurs d'étudier tout particulièrement ces deux aspects. Dernier enjeu de taille pouvant constituer un frein au développement des réseaux LPWA : la cybersécurité. Les réseaux de télécom utilisés par les utilities sont historiquement des réseaux fermés et dédiés. Le déploiement de réseaux sans fil et l'augmentation du nombre de points d'interaction entre réseaux peut constituer un risque de cyber attaques dont il faudra se prémunir.

³ IoT : Internet of Things, désigne l'utilisation d'objets connectés pour répondre à un besoin

⁴ Think Smartgrids, *Le marché mondial des Smart Grids vu par le Département du Commerce américain*, 2017

⁵ Verizon et ABI Research, 2017

La blockchain et l'autoconsommation : vers une évolution du rôle de distributeur ?

L'émergence des énergies renouvelables marque un renversement du mode de production de l'électricité : d'un modèle de production centralisée à des installations de faibles puissances réparties sur le territoire. Avec une production électrique basée à 75% sur le nucléaire, la France aura besoin de forts investissements sur son réseau de distribution pour absorber la charge liée à la multiplication des EnR¹. En ce sens, les pouvoirs publics ont initié une évolution de la réglementation permettant désormais l'autoconsommation avec l'ordonnance du 27 juillet 2016. Cette nouvelle possibilité induit une métamorphose du rôle du distributeur devant prendre en compte les échanges entre acteurs du réseau. La technologie blockchain, qui permet une gestion sécurisée et autonome d'échanges désintermédiés, apparaît comme une solution cohérente à ces problématiques. Toutefois, comment adapter cette technologie et ce modèle aux contraintes d'exploitation du réseau, cœur de métier des distributeurs ?

La blockchain et l'autoconsommation fonctionnent sur des principes symétriques

Indissociable de la création de la cryptomonnaie bitcoin en 2008, le concept de blockchain s'étend à partir de 2013, d'abord aux banques et aujourd'hui au secteur de l'énergie. La blockchain est avant tout un registre distribué entre l'ensemble des participants aux échanges. Lorsque l'un d'entre eux émet une transaction, elle est partagée sur l'ensemble du réseau puis vérifiée par des « mineurs ». Plusieurs transactions sont ensuite mises dans un « bloc » horodaté auquel est associée une clé (hash), image unique de son contenu. Le bloc est ajouté à la « chaîne » en inscrivant son hash dans le bloc précédent. Toute modification du contenu du bloc implique la modification de son hash propre et donc la rupture de la « chaîne » (2 hash incohérents). La « chaîne » est ensuite diffusée sur le réseau : si elle convient à la majorité, elle vient remplacer le registre précédent

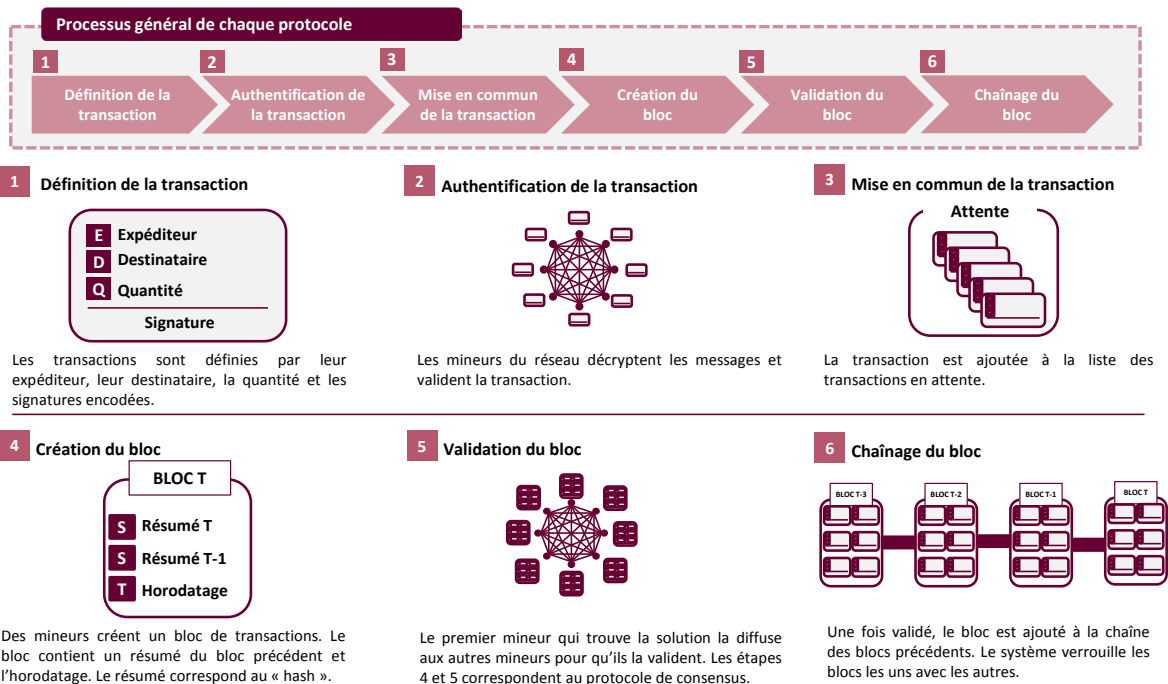
pour tous les utilisateurs et les transactions sont effectivement réalisées. Falsifier une transaction reviendrait à devoir soit recalculer l'ensemble des hash des blocs suivants soit corrompre plus de 50% du réseau pour obtenir son accord par consensus. Ces deux scénarios sont improbables.

Aucun intermédiaire, ou tiers de confiance, n'est alors nécessaire pour valider la transaction et assurer des échanges fiables. Les échanges se font de pair à pair dans une totale autonomie. L'architecture de la blockchain présente donc de nombreux points d'adhérence avec celle d'un réseau intégrant de l'autoconsommation. Les transactions financières sur la blockchain, tout comme les flux physiques sur le réseau électrique, se réalisent sans intermédiaire entre les acteurs. La traçabilité parfaite des données et l'immutabilité du registre associé rendent impossibles les litiges ou les créations de transactions fictives.



¹ Energies renouvelables

Fonctionnement d'une blockchain



Source : Analyse Sia Partners

Les initiatives d'autoconsommation pour tester la pertinence de la blockchain ne lèvent pas toutes les interrogations






L'exemple emblématique de cette conjugaison blockchain/autoconsommation est le projet de Transactive Grid à Brooklyn. Quelques maisons du même quartier produisent de l'électricité à l'aide de panneaux solaires et l'échangent sur un réseau parallèle au réseau traditionnel. Les échanges sont enregistrés sur un dispositif blockchain et donnent lieu à une rémunération en cryptomonnaie. Ce projet microgrid est porté par Siemens, LO3Energy et Consensus, société gérant l'aspect blockchain de la solution. Une initiative sur le même modèle a vu le jour en France dans le quartier Confluence à Lyon. Elle est portée par deux multinationales, Bouygues Immobilier et Microsoft. Elle s'appuie sur les compétences en sécurisation et gestion des données de deux start-up, Stratum et Energisme. Cette dualité entre un grand acteur, le plus souvent de l'éner-

gie, et une petite entité externe portant la compétence blockchain est un élément commun à ces différents projets. De la même manière, Enedis s'est associé à Sunchain, filiale du spécialiste du solaire Tecsol, pour développer un projet d'autoconsommation collective s'appuyant sur une solution blockchain dans les Pyrénées Orientales. Cette composition vise à pallier les fragilités des acteurs : elle externalise le risque lié à une technologie très récente et trop peu mature pour les grandes sociétés et apporte stabilité et fiabilité aux petites structures portant la technologie, ces dernières étant plus aptes à s'adapter au temps court de développement des projets.

Malgré ces différentes initiatives, un déploiement plus ambitieux à grande échelle se fait toujours attendre. Cette mise en place soulèverait de nouvelles questions sur le plan réglementaire et fiscal, questions non traitées par les premières expérimentations. Par exemple les acteurs ayant recours à l'autoconsommation collective utilisent

de manière restreinte le réseau car ils réduisent leur soutirage en échangeant entre « voisins ». Une réduction du TURPE semble donc légitime pour ces usagers. En France, l'idée d'un micro TURPE commence à être évoquée mais reste complexe à implémenter : quelle valeur lui affecter ? Doit-il être variable en fonction du recours au réseau ? Enfin, le cadre juridique des échanges sur la blockchain est encore flou en France et dans la plupart des pays. Les échanges réalisés, s'ils se passent de tiers comme un distributeur, ne sont pas couverts par un contrat, la validation de la transaction sur la blockchain ne s'y substituant pas légalement. Ce vide légal serait bien problématique en cas de litige sur les volumes fournis. Autant de questionnements qui convergent toutefois vers la même idée : comment le distributeur s'intégrera dans cette nouvelle chaîne de valeur ? Ces sociétés observent ainsi avec attention les évolutions liées à la blockchain : elle vise à désintermédier et supprimer le tiers de confiance c'est-à-dire une partie de leurs activités.

Panorama des initiatives blockchains proches de l'autoconsommation

Projet	Sociétés	Concept	Evolutions prévues
 2015 Transactive Grid	LO3Energy Siemens Consensys	<ul style="list-style-type: none"> Premier projet à l'initiative d'un quartier, il est le plus médiatisé Les échanges se font purement de pair à pair à la différence du projet d'Enedis 	<ul style="list-style-type: none"> Extension à d'autres maisons du quartier Reconnaissance légale
 2016 Lyon Confluence	Bouygues construction Microsoft Energisme & Stratum	<ul style="list-style-type: none"> Sur le même modèle que Transactive Grid, l'idée est d'intégrer des solutions innovantes aux nouveaux bâtiments des éco quartiers 	<ul style="list-style-type: none"> Extension du projet sur le modèle de Transactive Grid
 2017 Sunchain	Enedis Sunchain Tecsol	<ul style="list-style-type: none"> Projet autour de l'autoconsommation collective au déploiement plus simple dans le système réglementaire 5 sites clients pour tester le concept et le juste calcul des compensations 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptation du TURPE Développement ENR
 2017 Energy community	IBM Vandebrom Tennet	<ul style="list-style-type: none"> Absorption des surproductions ENR de la mer du Nord par les batteries de voiture puis restitution La collecte des données est simplifiée par la blockchain 	<ul style="list-style-type: none"> Consolidation de la valorisation des ENR
 2016 Engie Yonne IoT	Engie	<ul style="list-style-type: none"> Le groupe assure la traçabilité de l'ensemble de ses flux en mettant en relation sur une blockchain ses capteurs. 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluation du ROI et de la fiabilité de telles installations

Source : Analyse Sia Partners d'après Enedis, LO3Energy, Tennet

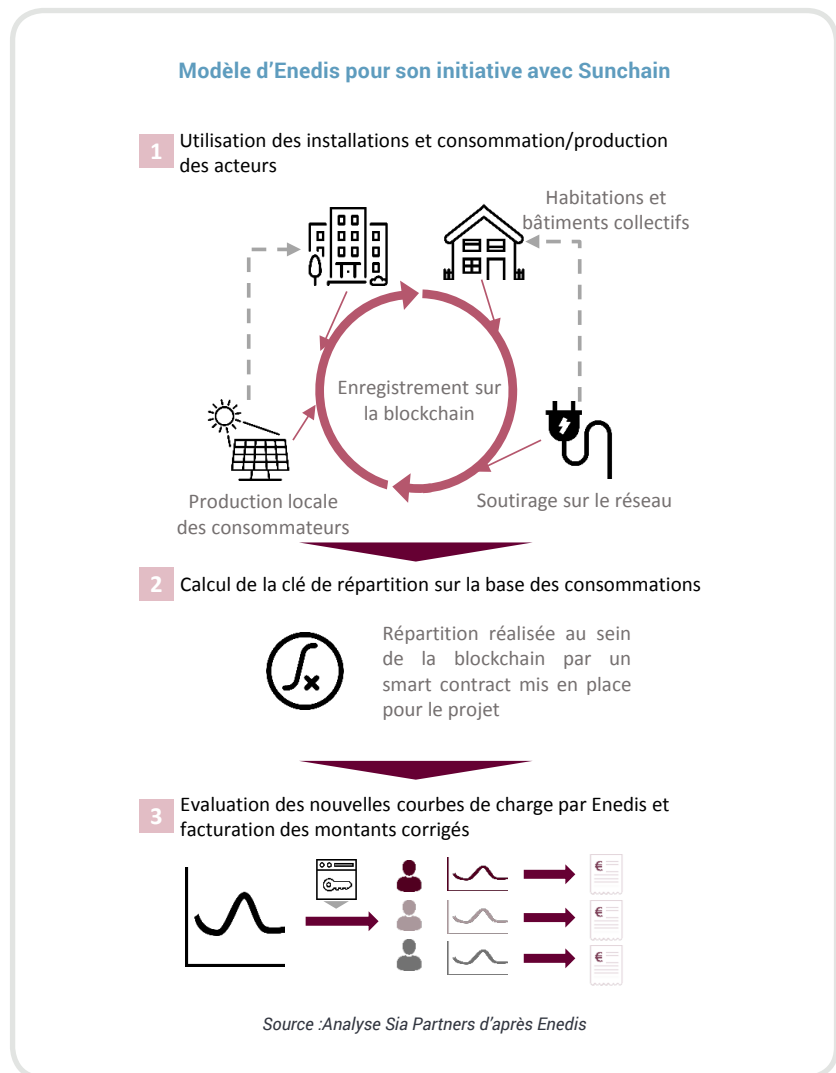


Les distributeurs ont la volonté de transformer la menace blockchain en opportunité

Pourquoi les entreprises souhaitent-elles développer des solutions blockchain qui remettraient en question une partie de leur activité ? L'association d'Enedis et de Sunchain donne une partie de la réponse. Dans cette configuration, Sunchain gère la maintenance de la blockchain. Les données brutes de consommation/production, stockées et mise à jour sur la blockchain, sont ensuite extraites par Enedis. Comme il s'agit d'autoconsommation collective, le producteur est fictif et réparti entre chaque consommateur. Il est impossible de déterminer à un instant t qui a effectivement consommé la production locale. Sur la base d'un algorithme développé pour le projet, une clé de répartition de la production est établie. En dehors de la blockchain, Enedis répartit donc la production sur chacun des consommateurs et établit de nouvelles courbes de charges pour chaque acteur impactant directement leurs factures. Le distributeur conserve un rôle prépondérant au

quel la blockchain peut difficilement se substituer. Il ressort que les entreprises cherchent à capter la technologie mais à se défaire de la désintermédiation pure et simple. La blockchain est donc vue comme un outil permettant de faciliter des échanges sécurisés à un coût réduit. L'utilisateur peut même ne pas être conscient qu'il utilise une blockchain : l'entreprise absorbe alors dans son modèle la technologie et l'exploite pour réduire ses coûts de structure liés au SI et ses délais de traitement. C'est donc avant tout le fort ROI que l'on cherche à capter en utilisant la blockchain dans le cadre de l'autoconsommation.

Au-delà de la mise en relation directe des différents acteurs du secteur de l'énergie, la technologie blockchain s'avère également intéressante pour optimiser et sécuriser l'Industrial IoT (IIoT) dans un contexte où les industriels, notamment les gestionnaires de réseaux, ont prévu de déployer largement des objets connectés directement au sein de leurs Smart-Grids. L'IIoT doit répondre à des exigences de performance et de cybersécurité d'un niveau de criticité plus élevé que l'IoT classique. Par exemple une cyberattaque similaire à celle d'octobre 2016 par la méthode de « déni de service », qui avait rendu indisponibles des sites comme Twitter ou Spotify pendant près d'une journée, pourrait mettre la stabilité du réseau électrique en danger. Cette cyberattaque résultait d'une mauvaise sécurisation de millions d'objets connectés. C'est à ce moment qu'intervient la technologie blockchain. Plutôt que de passer par un unique serveur, les objets connectés pourraient interagir directement entre eux en utilisant la sécurité inhérente à la blockchain afin de s'authentifier et de certifier leurs mesures. Ainsi même si l'intégrité d'un objet connecté est compromise, l'intégrité globale du système reste intacte. Autrement dit, la blockchain permet de passer d'une architecture IoT historiquement centralisée à une architecture moins vulnérable aux cyber attaques.



La technologie blockchain constitue donc une réelle opportunité pour la gestion du réseau en permettant une réduction de la charge par l'autoconsommation et en fiabilisant les projets d'IIoT. Elle incarne un vecteur d'amélioration de la performance opérationnelle et de la rentabilité de l'activité des distributeurs. Son modèle exploité au maximum tend à supprimer tout tiers de confiance. Cependant, une compétence métier forte est nécessaire à la gestion des flux physiques et rend indispensable l'intégration des distributeurs qui pourront faire évoluer leur rôle vers plus d'optimisation et de services.

Quand l'IoT fait rimer domotique et efficacité énergétique

Les objets connectés se multiplient dans notre quotidien, qu'il s'agisse de la santé, du bien-être, de la sécurité ou de la domotique où la maîtrise de l'énergie est un axe majeur. De nombreuses start-ups se développent autour de cette thématique et apportent leur lot d'innovations, basées pour la plupart sur le potentiel de l'IoT. Ces nouveaux produits et services viennent améliorer significativement l'efficacité énergétique des foyers et entreprises françaises. Présentation de ce marché en pleine structuration où grands groupes, start-up et énergéticiens se positionnent.

Quelles sont les applications apportées par l'IoT dans l'énergie ?

Chez les particuliers, de nombreuses applications existent, comme le pilotage des lumières ou les prises connectées, mais c'est le pilotage à distance des chaudières gaz individuelles qui domine. Grâce à un actionneur installé sur la chaudière et à un thermostat placé dans le logement captant la température, parfois l'humidité ou la présence, le chauffage est piloté selon un planning prédéfini. Celui-ci est créé par le client ou par auto-apprentissage, mais aussi grâce à des informations de géolocalisation (thermostat Ween) ou par détection de fenêtre ouverte. L'intérêt de ce service est double : le confort et les économies. L'ADEME estime qu'un système de régulation du chauffage doit permettre de faire jusqu'à 15% d'économies tandis que Netatmo promet jusqu'à 37% d'économies à ses clients.

De nombreux acteurs se sont positionnés sur ce marché en France, en tête la start-up française Netatmo créée en 2011 et Nest, rachetée par Google en 2014 pour 3,2 milliards de dollars. Ces deux entreprises ont popularisé un produit jusqu'ici très technique, proposé par les industriels du chauffage, grâce à un important

travail sur le design et la simplicité d'utilisation. Autre start-up française, Qivivo tente également de se faire une place sur le marché suivie par la start-up allemande Tado. Les groupes EDF et ENGIE se sont également lancés dans la Smart Home afin d'améliorer et de renforcer les liens avec leurs clients, en créant respectivement la start-up Soweet et Homni¹ en 2016. Leurs solutions se différencient par l'ajout de capteurs sur les compteurs d'énergie pour suivre les consommations et piloter le chauffage en euros grâce à leur connaissance des tarifs. Enfin, les grands acteurs de la domotique tels que Somfy ou SFR Home ont aussi intégré des fonctionnalités de pilotage du chauffage dans leurs solutions. La plupart de ces objets ont vocation à devenir compatibles avec les assistants personnels vocaux comme Google Home ou Alexa d'Amazon, ce qui devrait contribuer à augmenter l'attrait client.

Pour le chauffage électrique, le pilotage est moins mature. En effet, l'utilisation massive de ce mode de chauffage est une spécificité française, ce marché est donc vu comme une niche au niveau mondial. Néanmoins, les radiateurs électriques à fil pilote² (qui représentent environ 70% du parc électrique installé) peuvent être pilotés grâce à l'ajout d'un

récepteur sur chaque radiateur. La start-up française Qivivo est positionnée sur ce marché, de même que Heatzy et DIO. Côté grands groupes, Schneider Electric propose depuis quelques années sa solution Wiser. La filiale d'EDF, Soweet, doit quant à elle lancer son produit en fin d'année 2017.

Au-delà du pilotage, l'affichage des consommations en temps réel incite à maîtriser ses dépenses d'énergie. L'Etat va ainsi imposer aux fournisseurs d'énergie - via la loi de transition énergétique³ - de proposer aux foyers en situation de précarité énergétique un système d'affichage déporté de leur consommation électrique et du coût associé en temps réel.

Du côté des entreprises et administrations, le développement de nouvelles technologies IoT (SigFox, LoRa, ZigBee, Thread...) ainsi que la généralisation du « Big Data » et l'apparition de capteurs à bas coûts a permis l'émergence d'un écosystème d'acteurs de l'efficacité énergétique. Leurs solutions permettent de connecter facilement des bâtiments afin les rendre « intelligents ». Au travers de multiples capteurs (électricité, eau, présence, lumière...) dont les données sont consolidées et centralisées, ces « Smart

¹ Activité interrompue il y a quelques mois.

² Conducteur dont le rôle est de commander un radiateur

³ Loi n°2015-992, article 28.

Building » vont détecter et agir sur les gros postes consommateurs d'énergie ou d'eau. Sensing Labs et Enlightedi se concentrent par exemple sur l'éclairage des bâtiments et annoncent entre 50 et 90% d'économies d'énergie sur ce poste. Des fonctionnalités de maintenance prédictive peuvent également être mises en place comme le propose Verdigris en détectant les hausses de consommation des appareils qui présagent une défaillance prochaine. Ainsi l'IoT représente un outil puissant pour réaliser des économies à l'échelle d'un bâtiment, cela permet aux acteurs du marché B2B d'offrir des solutions rapidement rentables et adaptées aux différents clients.

Concrètement, comment fonctionne un objet connecté ?

Qu'elles soient à destination du grand public ou des entreprises, ces solutions utilisent le potentiel de l'IoT qui présente des problématiques inédites se déclinant sur les couches suivantes : Hardware/software, i.e. les capteurs physiques et les objets connectés effectuant des mesures ou pilotant d'autres objets, la

Connectivité qui permet de transmettre les données captées ou les ordres de pilotage vers/ depuis une plateforme IoT, la Plateforme IoT qui permet de gérer les objets et donner de l'intelligence aux données échangées et enfin, la couche Service ou métiers qui permet la restitution et appropriation des données et des opérations à distance sous un format facilement compréhensible par et pour l'utilisateur final.

Chacune de ces couches présente des enjeux propres qui s'ajoutent à une nécessité d'intégration et de sécurité globale. Sur la partie objet par exemple, les principales contraintes concernent la taille et l'autonomie. En effet les capteurs ne sont pas ou peu alimentés, cela limite la ressource énergétique dédiée au calcul informatique et impose d'embarquer des systèmes d'exploitation optimisés. Une start-up française s'est illustrée ces dernières années sur ce marché : Micro EJ. Leur solution est notamment embarquée dans la station connectée Sowe, ou encore chez Bosh, Huawei et Qwesteo. Ils sont en concurrence avec des acteurs comme Arduino, une alliance open source d'origine uni-

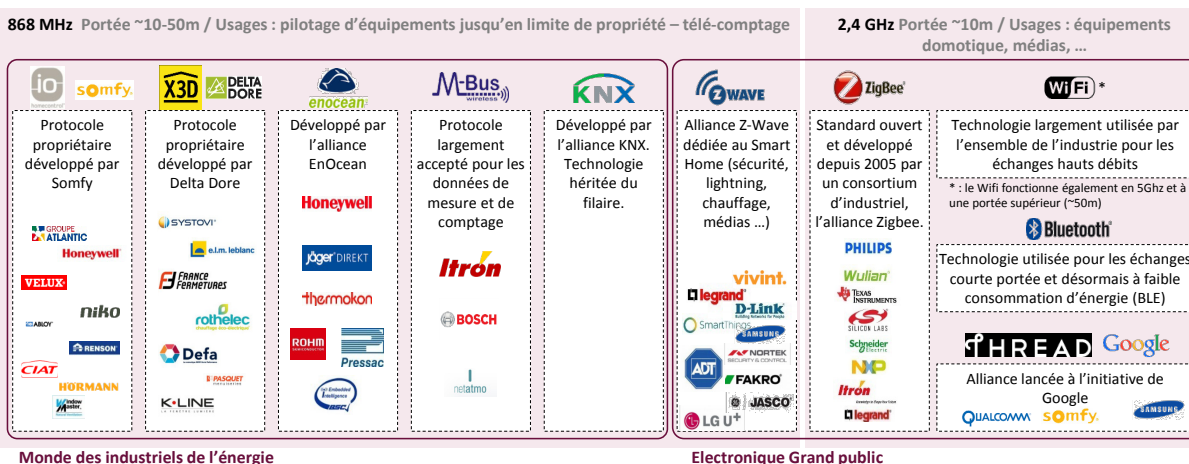
versitaire, et Android Things, déclinaison d'Android aux objets connectés.

Concernant la connectivité, les principaux critères sont les débits, la portée, la consommation d'énergie, la sécurité et la pérennité de l'écosystème associé. Pour la Smart Home, une multitude de technologies existe, ce qui pose des limitations en termes d'interopérabilité. En effet, les capteurs et objets de constructeurs différents ne peuvent communiquer et les interactions se font en cloud-to-cloud ou au travers de box multi-protocoles comme la Tahoma de Somfy.

Pour des applications industrielles, la communication peut être effectuée via des réseaux longue portée. Historiquement, les objets connectés utilisent les réseaux cellulaires (2G, 3G, 4G), concurrencés depuis peu par les réseaux LPWAN⁴ avec notamment trois acteurs phares en France : LoRa (Orange), Objenious (Bouygues) et la start-up toulousaine Sigfox qui a levé 100M€ en février 2015 et 150M€ en novembre 2016.

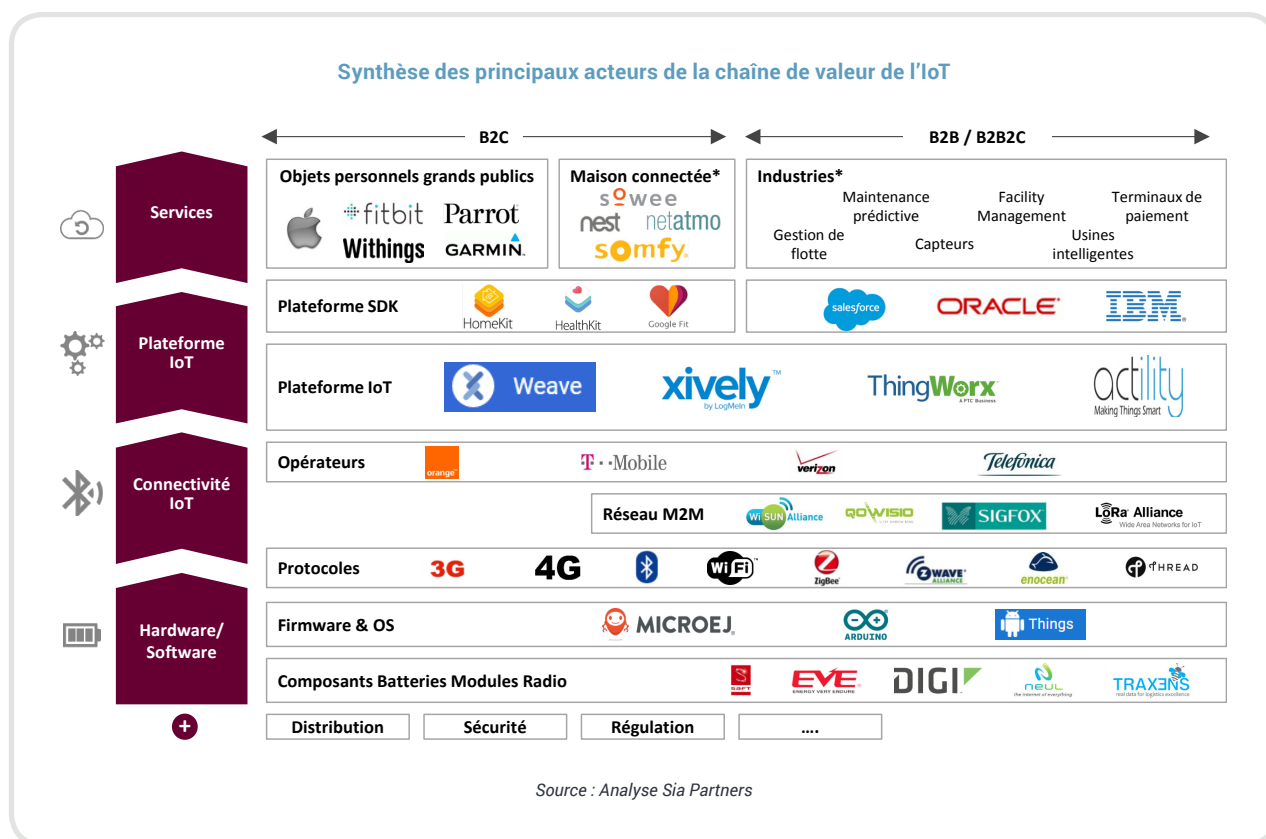
Pour faire le lien entre tous ces protocoles, les données récoltées et les

Principales technologies de connectivité IoT courte portée, adaptées pour le Smart Home



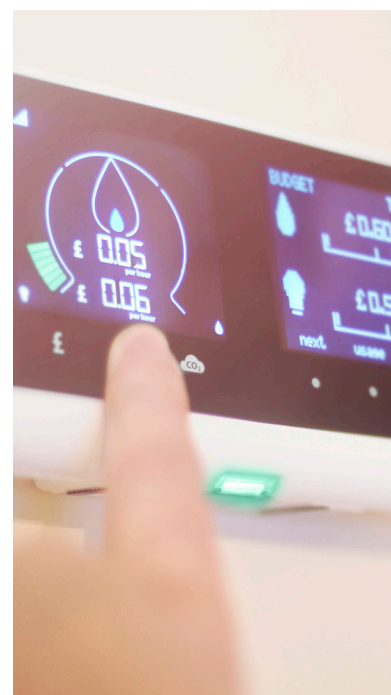
Source : Analyse Sia Partners

⁴ LPWAN : Low Power Wide Area Network



applications métiers, les entreprises utilisent des plateformes IoT dont les principaux éditeurs sont Amazon Web Service (AWS), Xively, IBM Bluemix, Microsoft Azure ou encore ThingWorx. Cette couche centrale pourrait capter jusqu'à 40% de la valeur d'un marché de l'IoT estimé entre 267 et 1 400 milliards de dollars à horizon 2020⁵. Ces plateformes sont choisies pour leurs capacités de gestion multi-protocoles, de stockage, de traitement, de transmission des données et de sécurité. Un enjeu majeur apparaît dans les grands groupes : mettre en place une plateforme unique permettant d'avoir une vision centralisée du parc d'objets connectés et des données associées afin de maximiser la valeur ajoutée. Enfin, au bout de la chaîne se trouvent les applications métiers où l'interface et la richesse des fonctionnalités sont prépondérantes.

Avec l'IoT, le Smart Home et le Smart Building vont massivement se développer avec à la clé des économies d'énergie significatives pour un investissement somme toute modéré (entre 150 et 300 euros pour un smart thermostat). Ces objets et nouvelles technologies pourraient également appuyer le développement d'innovations plus en rupture comme l'effacement⁶ chez les particuliers et ce dans une optique de généralisation des réseaux intelligents.



⁵ Source : Telecom Circle, BCG, Gartner.

⁶ Retrouvez notre article «Le marché de l'effacement électrique : des volumes encore faibles mais déjà de nombreux acteurs » sur le blog Energies & Environnement : <http://www.energie.sia-partners.com/20170131/le-marche-de-leffacement-electrique-des-volumes-encore-faibles-mais-deja-de-nombreux>



**UNE MOBILITÉ PLUS PROPRE
ET PLUS INTELLIGENTE**

Grand Paris : quelles initiatives pour une mobilité durable ?

La transformation d'une ville, comme celle de Paris, en une ville durable et responsable va plus loin que la modernisation des modes de transport historiques (métro, train, tramway, bus). Bien que ceux-ci soient le maillon central de la mobilité urbaine, les politiques de mobilité durable doivent englober toute la chaîne de valeur. Les trajets sont à penser en door-to-door (porte à porte), en rendant également éco-responsables les premiers et les derniers kilomètres. La maintenance et les différents travaux sont eux à prévoir d'une manière durable dès la conception, en incluant notamment une réflexion autour des impacts sur l'écosystème des quartiers concernés.

Le nouveau réseau de transport sera économe en énergie

À l'issue des travaux en 2030, 90% des Franciliens vivront à moins de 2 km d'une gare. Afin d'assurer son fonctionnement, ce réseau de transport nécessitera une alimentation en énergie équivalente à la consommation d'une ville de 225 000 habitants. L'efficacité énergétique est donc un enjeu majeur du Grand Paris. Dans le but d'optimiser la consommation d'électricité, le métro du Grand Paris utilisera des méthodes du transport ferroviaire qui ont fait leurs preuves. La « marche sur l'erre », qui consiste à couper la traction dans les zones à vitesse réduite, tout en continuant à avancer par inertie, permet par exemple d'économiser 20% de l'électricité consommée par rapport à la marche tendue. Le système de freinage électrique récupère, quant à lui, 30% de l'énergie nécessaire à un freinage mécanique classique et limite l'émission de particules métalliques. L'optimisation énergétique des trains du Grand Paris Express et la régulation du trafic seront assurées par un dispositif de pilotage centralisé, le PCC (Poste de Commande Centralisé), qui sera situé à Champigny. Ce poste pourra synchroniser les démarrages des trains (très consommateurs en énergie) avec le freinage des autres trains sur la ligne pour lisser les appels de puissance sur le réseau. L'énergie récupérée pourrait également être utilisée pour alimenter des gares, ou être stockée

dans des batteries en cas de surplus. Ainsi la récupération des énergies fatales permettrait de répondre aux besoins énergétiques du métro aux heures de pointe sans surdimensionner les équipements.

L'institut Efficacity, centre de recherche et de développement dédié à la transition énergétique des territoires urbains (lancé en 2014), en collaboration avec la RATP, étudie différentes solutions visant à rendre les gares moins énergivores. Parmi celles-ci des échanges thermiques seront facilités entre les locaux techniques ou les data center et les gares. Le Poste de Commandes Centralisé aura ainsi 70% de ses besoins en chauffage couverts par ce système. Des études sont aussi en cours pour tirer parti du fait que les gares seront construites en profondeur (20 à 50m), grâce au système de « Puit Canadien » : en hiver, l'air froid extérieur, récupéré pour la ventilation, est préchauffé en passant dans le sol qui est à une température quasi-constante et en été, l'air chaud extérieur est refroidi grâce au sol, plus frais que l'extérieur. Enfin, l'institut Efficacity cherche à valoriser l'énergie géothermique, en faveur de la gare, mais également pour le quartier environnant. La solution proposée consiste à faire parcourir dans les parois en béton moulées de la gare, installées en profondeur, des canalisations de fluide caloporteur. Celui-ci récupère l'énergie thermique du sol et grâce à une pompe

à chaleur, cette énergie peut être redistribuée à la gare et à son voisinage. Cinq quartiers à fort potentiel géothermique ont été identifiés : Pont-de-Sèvre, Issy RER, Les Ardoines, Vert-de-Maisons et Créteil-L'Echât. La société du Grand Paris met au centre de ses réflexions la performance énergétique des futurs trains et gares, afin d'offrir à tous les franciliens, dans les années à venir, un réseau ferroviaire écoresponsable.

Des solutions se mettent en place pour parcourir le dernier km

La Société du Grand Paris a lancé des appels à projets en 2016 et 2017 sur quatre thématiques : la proximité, la mobilité, les déblais et enfin les nouvelles mobilités. Les six projets lauréats de l'appel à projets « pour de nouvelles mobilités actives, électriques et numériques » pourront expérimenter leurs solutions dans des gares du Grand Paris. Afin d'assurer le transport des usagers sur le dernier kilomètre tout en prenant en compte l'impact environnemental, plusieurs projets proposent des moyens de transport « doux » qui pourront être utilisés à la sortie des gares. Pour les usagers adeptes de la marche ou de la course à pied, l'agence spécialiste de la mobilité, ETC (Ecomobilités, Territoires & Connexions), aménagera un parcours entre la future gare « La Courneuve Six Routes » et deux parcs de la commune :



le parc Georges-Valbon et le parc de Marville. Cette piste sera dotée de radars permettant aux sportifs de connaître leur performance en temps réel. Le projet Aactive propose aussi une solution pour améliorer les déplacements des piétons en mettant en place des bornes tactiles à proximité des gares. Celles-ci calculent les itinéraires en proposant de passer par les lieux d'intérêt de la ville, une application mobile indique ensuite la route à suivre jusqu'à la destination choisie. La start-up Knot souhaite quant à elle développer un autre moyen de transport en proposant un service de location de trottinettes connectées. Pour utiliser ce service il suffit de télécharger une application mobile pour localiser et débloquer la trottinette. Cette application propose aussi l'itinéraire le plus adapté vers la destination de l'utilisateur qui à l'arrivée pourra déposer la trottinette dans une autre station.

Toujours dans la perspective de diminuer l'impact environnemental des transports du dernier kilomètre, certains projets du Grand Paris proposent des solutions participatives. C'est le cas de OuiHop qui développe une application mobile qui met en relation les automobi-

listes avec les piétons se dirigeant dans la même direction au même moment. Il s'agit donc d'une version numérique et évolutive de l'autostop avec plus de sécurité et adaptée aux nouveaux usages. Cette solution sera testée à Antony, une zone d'activité dynamique où les trajets entre les gares de RER et les lieux de travail sont fréquents. Le projet CmaBulle propose aussi une solution participative mais cette fois destinée aux familles. Cette application met en relation les parents pour l'accompagnement des enfants à l'école ou sur les lieux d'activités extrascolaires. Les familles enregistrent leurs coordonnées puis les lieux et fréquences des activités scolaires ou extrascolaires. L'application se charge ensuite de trouver les synergies et permet aux parents de communiquer via un Chat pour confirmer les prises en charge.

De par la sélection de ses projets, le Grand Paris montre sa volonté de proposer des solutions propres et innovantes, adaptées à chacun pour les trajets courts à la sortie des gares mais aussi pour les allers-retours du quotidien. Au-delà de ces initiatives, la Métropole du Grand Paris propose une aide pouvant aller jusqu'à 5000€ pour l'achat d'un

véhicule neuf ou d'occasion électrique, hydrogène, hybride rechargeable ou GNV. Cette offre réservée aux 1000 premiers dossiers déposés vient répondre aux alertes à la pollution atmosphérique que subissent régulièrement Paris et sa banlieue.

Des applications se développent pour assurer la mobilité pendant les travaux

Les abords des chantiers sont souvent problématiques. Les engins de maintenance sont contraints de stationner sur la voie publique ce qui perturbe fortement le trafic dans ces zones et augmente la pollution atmosphérique et sonore. La société du Grand Paris a alors mis en place GELITRA (Gestion Livraison TRAFIC), une solution de gestion dynamique du trafic. L'outil, conçu par ARTELIA, fut initialement conçu pour le chantier des Halles, dans le 1er arrondissement de Paris. Chaque acteur du chantier planifie ses livraisons (même en urgence, quelques minutes avant) et GELITRA optimise les accès aux chantiers en indiquant aux différents véhicules où et quand se déplacer. GELITRA inclut égale-

ment des niveaux de priorité, gérés par le responsable de chantier, si un arbitrage est nécessaire. Ce logiciel limite ainsi les tournées de camions aux abords des chantiers et préserve la vie locale (commerce, stationnement). Une autre solution, proposée par Citilog à destination des riverains, vise à garantir des conditions de trafic convenables dans les carrefours à proximité des chantiers. Pour se différencier des autres solutions traditionnelles de gestion de trafic, Citilog positionne des capteurs sur les mâts d'éclairage public et mesure en temps réel la densité de véhicules sur chacune des voies du carrefour. Ces capteurs sont liés aux contrôleurs de feux qui sont alors pilotés pour prévenir les blocages.

Une autre approche pour gérer la congestion du réseau routier autour des chantiers est de limiter directement l'affluence à leurs abords. Ainsi, la société du Grand Paris a mis en place la solution

« Chasseur de bouchons », à destination des conducteurs. La solution incite le voyageur à changer ses habitudes pour décongestionner la zone de chantier (horaires décalés, report modal sur les transports en commun, télétravail ...). En acceptant une alternative plus durable, l'automobiliste est récompensé. Par exemple, à Boulogne-Billancourt, le conducteur recevra 2€ par trajet évité, il devra pour cela installer un boîtier de géolocalisation dans son véhicule permettant de prouver son immobilisation. La démarche s'appuie sur une initiative de la ville de Rotterdam où les automobilistes gagnent 3€ par trajet non effectué. En 2017, le trafic aurait diminué de 17% grâce à cette mesure (soit 230 000 véhicules de moins par jour).

Toutes ces initiatives s'inscrivent dans un élan qui vise à faire de la France un pays plus vert. L'épicentre se trouve en Ile-de-France, et la région profitera pro-

bablement des J.O. en 2024 pour accélérer la mise en place de ces solutions. Cependant, l'écho de la mobilité durable résonne aussi sur l'ensemble du territoire et donne naissance à de nombreux projets comme le Comptoir de la mobilité et Maison du vélo de La Rochelle, l'application Optimod'Lyon ou encore le Challenge de la mobilité en Hauts-de-France.



Le transport se met à l'hydrogène « to make our planet great again ! »

Après la vague du Diesel gate et à l'heure où la première puissance mondiale annonce sa sortie de l'accord de Paris pour le climat, le ministre français de la Transition écologique et solidaire prend le contre-pied et prévoit l'arrêt de la commercialisation de véhicules thermiques dans le pays à compter de 2040. Pour anticiper cette transition radicale de nos modes de transport, des solutions alternatives se développent. La mobilité hydrogène connaît un regain d'intérêt spectaculaire depuis quelques années, comme l'illustre l'annonce de 13 dirigeants d'entreprises du Fortune 100 avec la création d'un conseil international de l'hydrogène lors du dernier World Economic Forum à Davos. Dans ce domaine, la France est particulièrement active avec de nombreux fleurons de l'industrie, mais fait face à l'ambition débordante de certains acteurs, tels que le Japon qui souhaite se positionner comme leader mondial de l'économie de l'hydrogène.

Le véhicule à hydrogène, comment ça marche ?

L'hydrogène, de par sa forte densité énergétique, constitue un formidable vecteur et peut aujourd'hui se substituer aux hydrocarbures, en particulier dans le secteur du transport. S'il est encore produit à 95% à partir d'énergie fossile pour des secteurs industriels comme la chimie ou le raffinage pétrolier, il peut également être produit par électrolyse de l'eau à partir d'énergies renouvelables ou en-

core à partir de biomasse ou de biogaz. Plus concrètement, l'électrolyse de l'eau consiste à séparer le dihydrogène (H_2) de l'oxygène en appliquant un courant électrique entre deux électrodes pour créer une réaction d'oxydoréduction.

Une pile à combustible installée à bord d'un véhicule hydrogène permet de réaliser la réaction inverse de l'électrolyse en transformant de l'hydrogène en électricité par réaction avec de l'oxygène. Ainsi équipés, les véhicules à hydrogène

rejetent uniquement de l'eau, disposent d'une autonomie 2 à 3 fois supérieure aux véhicules électriques classiques et se rechargent en 5 minutes dans des stations adaptées. Si le coût de production d'1 kg d'hydrogène renouvelable permettant à un véhicule de parcourir 100 km est encore élevé, celui-ci pourrait fortement diminuer et atteindre 3€/kg dans des installations d'électrolyse à grande échelle.

Schéma de principe de l'électrolyse

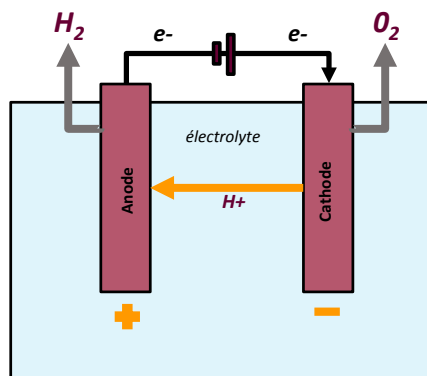
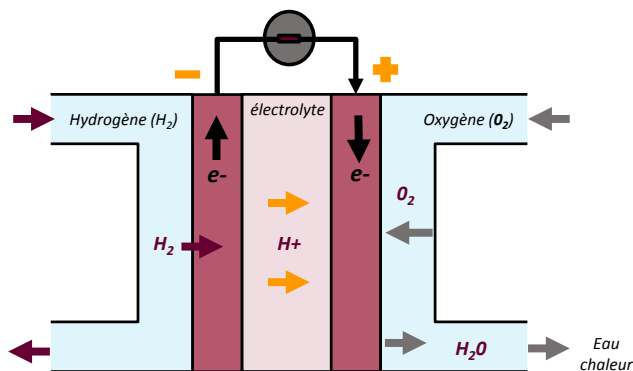


Schéma de principe de la pile à combustible



Source : Analyse Sia Partners

Des innovations récentes font apparaître l'hydrogène sur nos routes

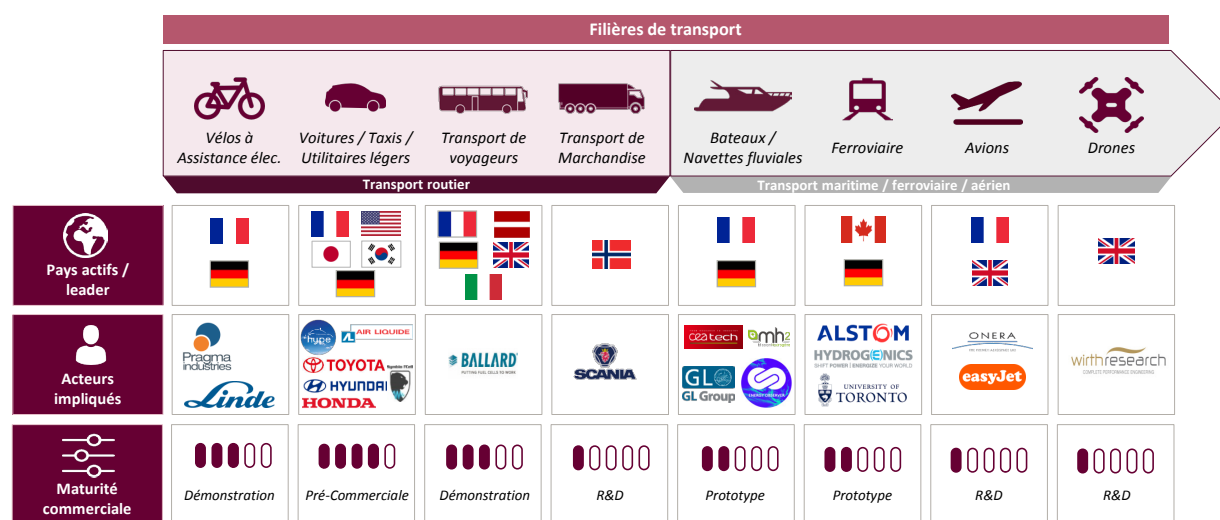
La PME Pragma Industries basée dans le Sud-Ouest a développé un vélo à assistance électrique alimenté par de l'hydrogène et baptisé « Alpha ». Ce vélo, dont les prototypes avaient été présentés à l'occasion de la COP21 en 2015, est aujourd'hui fabriqué en série et commercialisé en particulier à destination des collectivités. La pile à combustible qui se situe dans le cadre du vélo et le réservoir à hydrogène positionné sur le porte bagage permettent d'assurer une autonomie de 100 km. La recharge du vélo ne dure qu'une minute contre plusieurs heures pour un vélo électrique à batterie. Pour se démocratiser, le vélo à hydrogène devra néanmoins compter sur le développement des infrastructures de recharge et sur la baisse des coûts de production (ce modèle coûte encore aujourd'hui près de 7500 euros).

Le véhicule à pile à combustible est parfois considéré comme expérimental mais est pourtant déjà une réalité pour le transport de passagers à Paris. La STEP (Société du Taxi Electrique Parisien) exploite depuis fin 2015 une flotte de taxis à hydrogène baptisée « Hype ». Cette société financée en partie par la Caisse des Dépôts et le groupe Air Liquide devrait compter près de 70 véhicules d'ici la fin de l'année à Paris et vise un développement commercial dans d'autres villes en France et en Europe. La STEP ambitionne en effet de disposer d'une flotte de 600 véhicules à l'horizon 2020. A défaut d'une offre de véhicule française, la société s'est approvisionnée auprès de constructeurs asiatiques comme Toyota ou Hyundai. Aujourd'hui, face à l'augmentation de la demande, plusieurs constructeurs préparent des premiers prototypes. Le groupe Volkswagen travaille par exemple sur des prototypes de Passat et d'Audi A7 équipés de piles à combustibles et ca-

pables de parcourir plus de 400 km après un plein réalisé en 3 minutes.

Enfin, du côté des véhicules lourds, plusieurs transporteurs allemands, autrichiens et italiens se sont réunis au sein d'un consortium afin de lancer un appel d'offres pour l'achat d'une soixantaine de bus à hydrogène visant à remplacer des bus thermiques classiques. Cet appel d'offres est réalisé dans le cadre du projet JIVE (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe) qui vise à déployer 144 bus à hydrogène et 7 stations d'avitaillement de grande capacité en Europe entre 2017 et 2022. En Europe du nord, c'est le constructeur suédois SCANIA¹ qui teste actuellement avec un partenaire norvégien, des camions électriques alimentés en hydrogène produit à partir d'énergie solaire. Ces camions, dont les piles seront fournies par la société belge Hydrogenics, pourront parcourir près de 500 km et seront commercialisés en 2018.

L'hydrogène appliqué aux différents modes de transports



Source : Analyse Sia Partners

¹ « SCANIA et ASKO testent la propulsion à l'hydrogène » 08/2016

Les expérimentations s'étendent à d'autres modes de transport

Dans le milieu du transport ferroviaire, la province de l'Ontario au Canada a lancé une étude de faisabilité pour remplacer des locomotives Diesel par des trains électriques à pile à combustible. Un consortium est en cours de création avec l'Université de Toronto pour rassembler les différentes parties prenantes du projet. Les premiers essais pourraient avoir lieu à l'horizon 2024. Les nouveautés ne se limitent pas au transport terrestre, des premières expérimentations ont lieu dans le secteur maritime. L'Energy Observer est un bateau alimenté en hydrogène produit à bord à partir de sources d'énergies renouvelables (solaire et éolien) par électrolyse de l'eau de mer. Ce bateau de plus de 100 mètres vient d'entamer un tour du monde de 6 ans et constitue aujourd'hui le premier bateau de cette envergure complètement autonome en énergie.

L'hydrogène reprend aussi ses droits sur le ciel : le centre de recherche aérospatiale français a présenté, lors du dernier

salon du Bourget, un prototype d'avion équipé de 40 moteurs électriques alimentés par 10 piles à hydrogène pour une puissance de 400 kilowatts (l'équivalent de 8 Tesla Model 3 réunies). Lancé en 2015 puis testé dans une soufflerie en 2017, celui-ci devra s'appuyer sur un partenaire industriel pour passer au stade de la démonstration en situation réelle puis voler avec des premiers passagers. Toujours dans le domaine aérien, l'entreprise Wirth Research développe actuellement un drone équipé d'une pile à combustible fabriquée par une société Singapourienne (HES) d'une capacité de 700 Wh/kg, trois fois plus importante que les batteries lithium. Ce drone pourrait atteindre une autonomie de six heures en vol et être utilisé pour la surveillance de réseaux de transport de gaz ou d'électricité².

Depuis 2015, le nombre de véhicules à hydrogène dans le monde a été multiplié par 10 pour atteindre près de 10 000 véhicules et le nombre de stations d'avitaillement a connu une croissance de 300% sur la même période. Poussée par l'élan des zones les plus actives que sont la

Californie, le Japon et l'Allemagne, la filière pourrait atteindre la barre des 100 000 véhicules d'ici 2020. Ces efforts encourageants doivent s'accélérer pour assurer un niveau de pénétration suffisant du véhicule à hydrogène sur le marché du transport. En France, les territoires se mobilisent aux côtés des industriels et contribuent à intensifier la R&D et à multiplier les projets de démonstration. Le pays doit conforter sa légitimité aux côtés des leaders du développement de l'hydrogène-énergie en définissant une stratégie nationale qui permettra de maintenir le rythme de déploiement initié par les collectivités. La mobilisation des acteurs internationaux, industriels mais aussi des autorités régulatrices transnationales, doit faciliter la création de standards technologiques et l'harmonisation des normes et codes nécessaires au déploiement d'un usage transfrontalier de l'hydrogène. Enfin, les travaux de recherche transversaux, notamment sur les matériaux utilisés dans les piles à combustible et électrolyseurs, pourront jouer un rôle déterminant dans l'amélioration du rapport coût/performance des systèmes actuels.



² Retrouvez notre article « Les drones : un avenir prometteur dans le secteur de l'énergie » sur le blog Energies & Environnement : <http://www.energie.sia-partners.com/20161213/les-drones-un-avenir-prometteur-dans-le-secteur-de-lenergie>

La voiture autonome, utopie ou nouvelle frontière de l'automobile ?

Omniprésente à Las Vegas au CES 2017, la voiture autonome est devenue le symbole du produit le plus sophistiqué à destination du grand public que l'homme serait capable de fabriquer à grande échelle. Pour l'industrie automobile, conservatrice, établie, ancienne, c'est une revanche contre la dynamique des firmes qui organisent la société numérique et qui ont volé dans l'inconscient collectif à l'automobile son statut de plus innovante des industries grand public. C'est un enjeu d'image, pour continuer à attirer l'attention du public, notamment jeune, sur le produit automobile. C'est un enjeu de compétences pour continuer à attirer les ingénieurs les plus innovants tentés par les start-up du numérique. C'est aussi un enjeu de société car la multiplication sur la planète des « auto-mobiles » risque de conduire à l'« auto-immobilité ». Congestions urbaines, pollution sonore, toxicité des gaz d'échappement, réchauffement climatique, mais aussi niveau élevé de mortalité (1,3 millions de morts, 50 millions de blessés par an), sont autant de maux qui touchent cette industrie et la conduisent à se repenser pour délivrer un service adapté au monde nouveau. 2014 a vu soudain apparaître dans le paysage automobile une nouvelle tendance technologique : la voiture sans conducteur. Dans une surprenante surenchère, tous les constructeurs ont annoncé mettre « prochainement » sur le marché une voiture qui pourrait rouler sans que son conducteur ne se préoccupe de cette tâche désormais futile, conduire. Cette effervescence nouvelle, entretenue par de multiples annonces, répond-elle aux enjeux de marché pour l'industrie automobile ?

Rêve ancien, réalité prochaine ?

Le projet d'un véhicule capable de rouler sans conducteur n'est pas nouveau. On en trouve des prémices dans les visions futuristes des constructeurs dès la fin des années 30. Le projet AHS (Automated Highway System) a été lancé aux Etats-Unis en 1962. Mais les techniques étaient immatures. La ruée actuelle vers ce concept est apparue en sortie de la crise de 2009 comme une réponse de l'industrie au besoin ressenti de renouvellement et d'imaginaire.

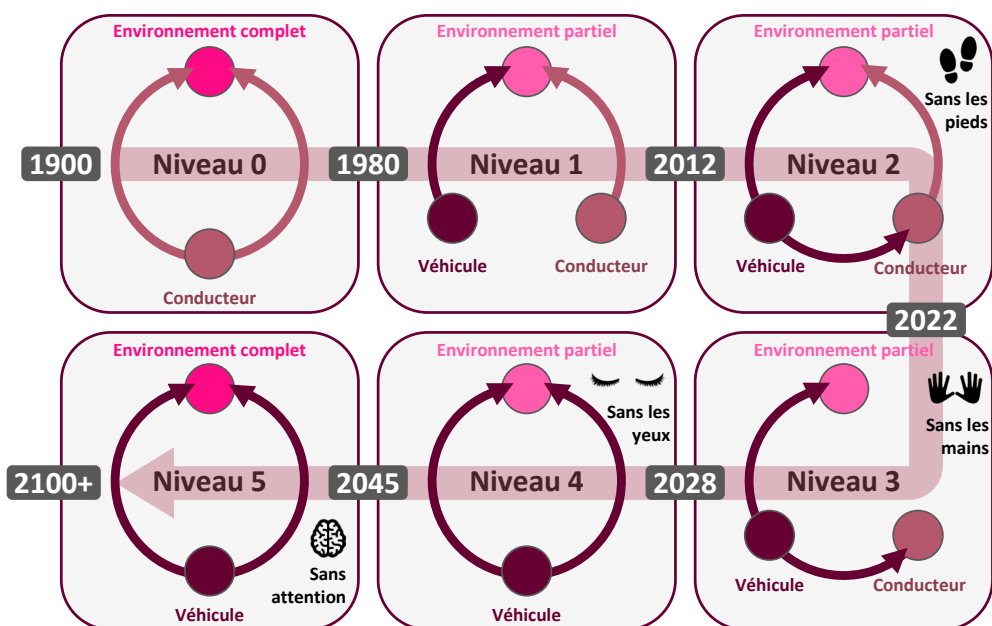
Les voitures sont désormais très bien équipées en automatismes multiples qui assistent le conducteur dans sa tâche qui, dans les conditions réelles de circulation, est à la fois complexe et fastidieuse, mais aussi fatigante et dangereuse.

Les constructeurs ont tiré depuis longtemps profit des avancées de l'électronique pour équiper leurs véhicules d'outils d'aide à la conduite, limitant d'autant la capacité du conducteur à dompter sa

machine. Capteurs et actionneurs ont été intégrés depuis l'apparition de l'antiblocage des roues au freinage, l'ABS, en 1978, pour aider à la conduite ou se substituer au conducteur en cas d'urgence. De fait, d'ores et déjà, une voiture moderne va prendre des décisions pour maintenir sa trajectoire avec l'ESP (Electronic Stability Program), assurer une vitesse constante avec le régulateur, améliorer l'adhérence en cas de pluie ou de neige, amplifier le freinage en cas d'urgence, avertir d'un franchissement de ligne ou de dépassement d'une vitesse autorisée, tout en pourvoyant le conducteur de multiples informations sur son itinéraire. Ces assistances ne se substituent pas au conducteur, même si elles corrigent, à la marge, ses décisions inappropriées.



Les différents niveaux de maturité des véhicules autonomes



Source : Analyse Sia Partners d'après Yole Développement

Pourquoi vouloir aller plus loin ?

Le débat sur la voiture sans conducteur est parti de la volonté initiale de Google de valoriser la suprématie de son système de cartographie, élément fondamental d'un système de conduite autonome qui nécessite une précision de l'ordre du centimètre. Les constructeurs ont réagi en montrant qu'en équipant une voiture de capteurs, radars, scanners laser, outils de géolocalisation et servomoteurs, ils étaient également potentiellement en mesure de se passer du conducteur.

Il est clair que le maillon faible de la conduite automobile, c'est l'homme : 90% des accidents automobiles sont dus à des facteurs humains. Plus d'un million de personnes meurent dans un accident de la route sur la planète chaque année. L'inattention, l'utilisation d'un téléphone ou surtout d'un smartphone au volant, la surestimation de ses capacités poussant à des vitesses excessives, la fatigue, comme la drogue

et l'alcool qui dégradent les réflexes sont les multiples causes humaines, souvent additives, à l'origine des accidents. Par ailleurs, les personnes âgées ou handicapées perçoivent leur impossibilité de conduire comme une aggravation de leur isolement.

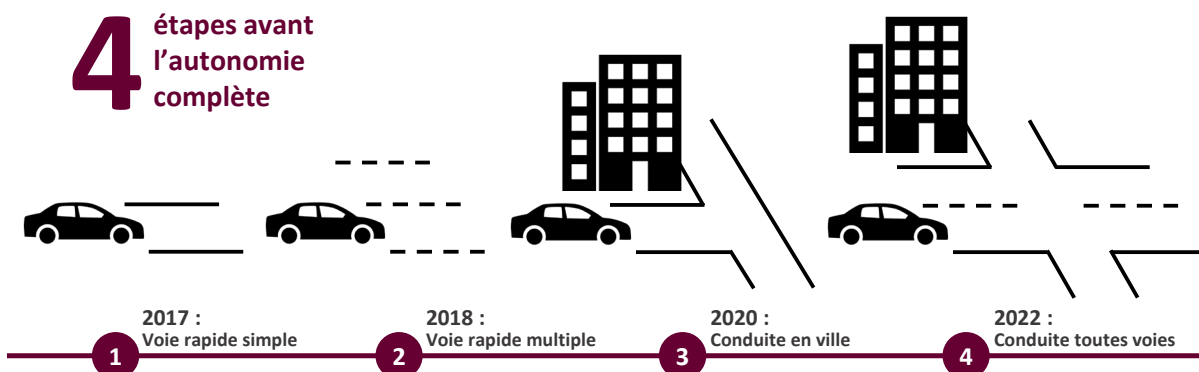
Dès lors mettre au volant un ordinateur doté de capacités sensorielles puissantes et dépourvu des limites biologiques de l'homme est tentant. La motivation est noble : tendre vers le zéro accident et le zéro mort. Mais on attend aussi de l'automatisation de la conduite des économies d'énergie, une réduction des embouteillages, un gain de temps considérable. A plus long terme, il suffira d'une flotte limitée de voitures sans conducteur, roulant en permanence, pour assurer un service personnalisé à domicile. Mais pour atteindre ces résultats il faudrait que la machine elle-même soit exempte de failles, tant dans la conception que dans la gestion des décisions. Confier sa vie à des automates et des algorithmes impose le zéro défaut.

On ne devrait pas encore parler de « voiture autonome » mais de voiture à « délégation de conduite ». Ce terme de délégation de conduite à des ordinateurs, permet en effet de couvrir une large gamme de situations.

La conduite automobile est en effet une tâche complexe. Le travail du conducteur est assisté par de multiples copilotes prévenants. Il faut infuser dans les ordinateurs de bord l'expertise du conducteur. Une voiture à conduite automatique qui se subsisterait aux véhicules actuels devrait remplir les missions polyvalentes d'un conducteur. Or les obstacles sont multiples : emprunter un itinéraire varié, sur des routes hétérogènes, en milieu urbain dense ou en rase campagne, faire face aux aléas du trafic, aux comportements imprévisibles des usagers et aux conditions météorologiques, aux changements de la configuration de la route. C'est le pari de l'intelligence artificielle qui va permettre aux véhicules d'apprendre la complexité de la conduite par l'expérience.

Evolution des voies praticables avec un véhicule autonome

4 étapes avant
l'autonomie
complète



Source : Analyse Sia Partners d'après Nissan, CE 2017

Où en est la délégation de conduite totale ?

Une expérimentation onéreuse

Pour le moment la délégation de conduite totale de niveau 4, qui fait de la voiture un véhicule réellement autonome à qui il s'agit d'indiquer la destination, n'est qu'un rêve lointain. Les voitures sont soumises à des conditions de fonctionnement bien plus difficiles que les avions, dont les conditions d'usage sont plus simples à modéliser et à programmer. Pour atteindre une telle fiabilité, condition indispensable à la prise de risque que représente la commercialisation de ces produits, il faut sécuriser l'ensemble des composants physiques et logiciels, capteurs, processeurs, programmes intégrant l'intelligence artificielle (« machine learning »), automatismes. Un tel équipement complexe ne peut qu'être très coûteux dans cette phase d'innovation et de développement. Toutefois l'industrie électronique a toujours su faire baisser le prix des composants et on attend une diminution rapide, avec la multiplication des fournisseurs, du coût de ces capteurs pour atteindre des prix compatibles avec le marché.

Il faut donc revenir à une réalité opérationnelle qui fera certainement moins rêver mais qui a plus de chances de se concrétiser rapidement. Toyota prône une

approche pragmatique et graduelle qui parle de voiture autonome, par couches successives d'avancées techniques, mais non sans conducteur. L'humain, pour Toyota, doit en effet rester en permanence en situation de contrôle. Cette piste est la plus vraisemblable. C'est d'ailleurs ce que valident les études sur l'acceptabilité du véhicule autonome. D'après une étude publiée par l'Université du Michigan en mai 2016, 46% des conducteurs interrogés souhaitent conserver le contrôle de leur véhicule et 95% veulent continuer à avoir un volant et le contrôle du freinage. Les constructeurs vont "simplement", même si le travail est déjà considérable, étendre progressivement le champ des automatismes déjà installés, en commençant par le très haut de gamme pour financer le coût de ces développements. Un tiers des conducteurs attendent d'ailleurs favorablement cette extension des outils semi-autonomes.

Un des aspects complexes de l'essor de la voiture autonome est son modèle d'affaire. Est-il pertinent de doter un véhicule de capacités techniques de pointe qui resteraient, dans le modèle actuel de possession individuelle en pleine propriété, inutilisées 97% du temps ? L'émergence du véhicule autonome repose avec acuité le problème du coût de possession et donc de la mutualisation des usages.

Il n'y a vraisemblablement que dans les usages professionnels que ces équipements pourront se justifier dans les prochaines années. On voit en 2016 se multiplier ce type d'expériences dans des environnements variés. Il s'agit généralement de navette de passagers autonome adaptée aux espaces sous contrôle comme les aéroports, les ports, les parcs d'attraction ou d'exposition. Il faut également suivre les travaux d'Uber pour valider un modèle de conduite automatique hautement sécurisée qui permettrait de fournir le service sans devoir gérer les chauffeurs. Les véhicules lourds comme les engins de manutention, en site propre, et les poids lourds profiteront également de l'avancée de ces techniques.

Le véhicule routier autonome est sorti du rêve pour engager une longue marche vers un déploiement opérationnel. Mais sur les 90 millions de véhicules commercialisés sur la planète, très peu sont éligibles pour entrer dans cette nouvelle aventure. Il faudra certainement de nombreuses années pour que le véhicule autonome de niveau 4 soit réellement visible sur les routes quand on constate la très lente vitesse de pénétration des véhicules électriques qui pose beaucoup moins de problèmes techniques. En revanche, le niveau 3 risque de se démocratiser assez rapidement au grand bénéfice de la sécurité routière et du confort des conducteurs.

Notes

A series of horizontal dotted lines for writing notes.

VOTRE CONTACT

Charlotte DE LORGERIL

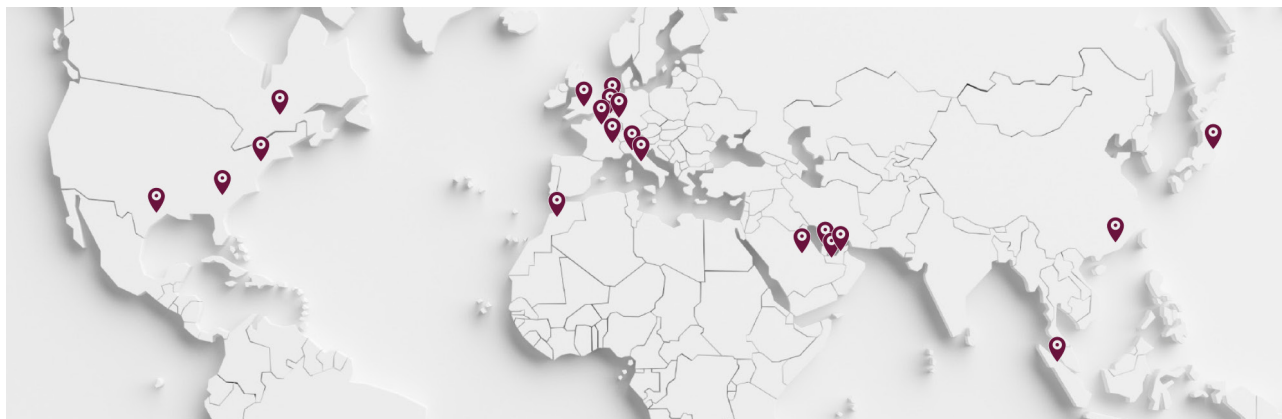
Associate Partner Energy Utilities & Environment

Tel : + 33 6 24 73 18 34

charlotte.delorgeril@sia-partners.com

À PROPOS DE SIA PARTNERS

Leader des sociétés de conseil français indépendantes et pionnier du Consulting 4.0, Sia Partners a été cofondé en 1999 par Matthieu Courtecuisse. Sia Partners compte plus de 950 consultants dont 35% basés hors de France pour un chiffre d'affaires de 155 millions d'euros dans le cadre de son exercice fiscal se terminant au 30 Juin 2017. Le Groupe est présent dans 15 pays, les Etats-Unis représentant le deuxième marché. Fidèle à son approche innovante, Sia Partners explore les possibilités offertes par l'Intelligence Artificielle, investit dans la data science et développe des consulting bots. Sia Partners est une partnership mondiale détenue à 100% par ses dirigeants.



Abou Dabi

PO Box 54605
West Tower #605
Abu Dhabi Mall - UAE
T. +971 4 443 1613

Amsterdam

Barbara Strozziilaan 101
1083 HN Amsterdam - Netherlands
T. +31 20 240 22 05

Bruxelles

Av Henri Jasparlaan, 128
1060 Brussels - Belgium
T. +32 2 213 82 85

Casablanca

14, avenue Mers Sultan
20500 Casablanca - Morocco
T. +212 522 49 24 80

Charlotte

401 N. Tryon Street, 10th Floor
Charlotte, NC 28202 - USA
T. +1 646 496 0160

Doha

PO Box 27774 Doha
Tornado Tower #2238
West Bay - Qatar
T. +974 4429 2524

Dubai

PO Box 502665
Shatha Tower office #2115
Dubai Media City
Dubai - UAE
T. +971 4 443 1613

Hong Kong

23/F, The Southland Building,
48 Connaught Road Central
Central - Hong Kong
T. +852 2157 2717

Houston

4306 Yoakum Boulevard
Suite 350
Houston TX 77066
T. +1 832 248 1041

Londres

2nd Floor, 4 Eastcheap
London EC3M 1AE - United Kingdom
T. +44 20 7933 9333

Luxembourg

7 rue Robert Stumper
L-2557 Luxembourg
T. +352 28 85 87 1

Lyon

3 rue du Président Carnot
69002 Lyon - France
T. +33 1 42 77 76 17

Milan

Via Gioberti 8
20123 Milano - Italy
T. +39 02 89 09 39 45

Montréal

2000 McGill College, Suite 600,
Montreal QC H3A 3H3 - Canada
T. +1 514 926-2626

New York

40 Rector Street, Suite 1111
New York, NY 10006 - USA
T. +1 646 496 0160

Paris

12 rue Magellan
75008 Paris - France
T. +33 1 42 77 76 17

Riyad

PO Box 502665
Shatha Tower office #2115
Dubai Media City
Dubai - UAE
T. +971 4 443 1613

Rome

Via Quattro Fontane 116
00184 Roma - Italy
T. +39 06 48 28 506

Singapour

137 Market Street #10-02
Grace Global Raffles
Singapore 048943
T. +65 6635 3433

Tokyo

Level 20 Marunouchi Trust Tower-Main
1-8-3 Marunouchi, Chiyoda-ku
Tokyo 100-0005 Japan
T. +81 3 5288 5101



Pour plus d'informations, visitez : www.sia-partners.com

Suivez nous sur [LinkedIn](#)



et [Twitter](#)



@SiaPartners