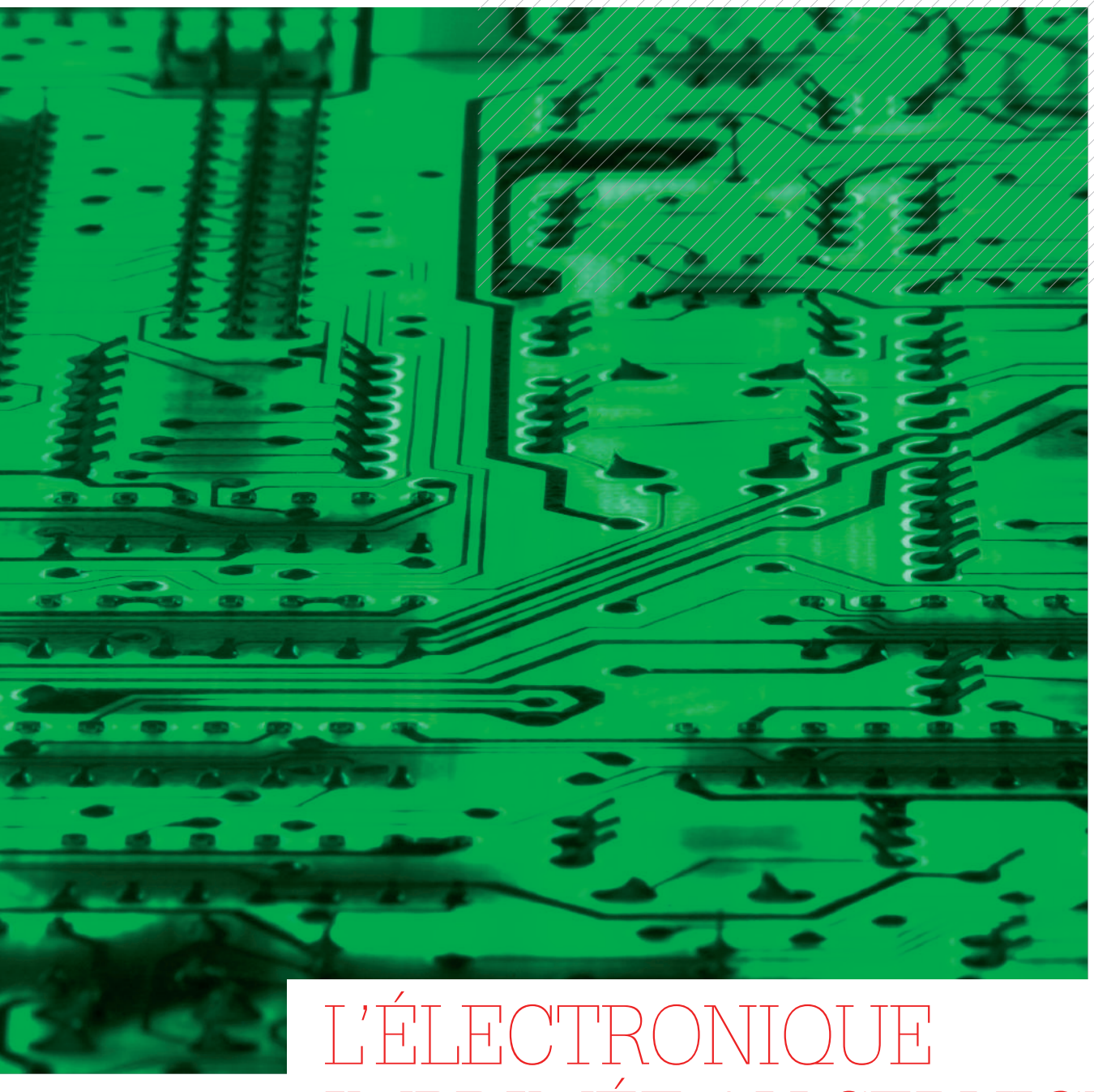
Techniques de l'Ingénieur

LES FOCUS
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



L'ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE AU SERVICE DU PHOTOVOLTAÏQUE DE 3ème GÉNÉRATION

Mars / 2014

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

Stéphane POUGHON

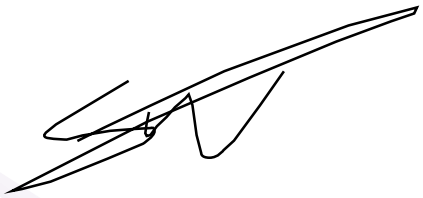
Dans le secteur français de l'énergie, le photovoltaïque dit de 3ème génération, ou photovoltaïque organique (OPV), est une filière aujourd'hui encore trop peu reconnue. Il faut une prise de conscience : celle de l'opportunité que représente cette nouvelle filière pour notre économie, d'autant plus que la France dispose, dans ce domaine, de sérieux atouts à faire valoir et d'une bonne longueur d'avance.

Le photovoltaïque organique constitue d'abord un progrès technologique décisif, puisqu'il permet avec des investissements modérés de fabriquer des panneaux solaires flexibles et sur mesure puis de les appliquer sur n'importe quel type de support, permettant ainsi des adaptations multiples. De plus, à la différence des générations précédentes, il est faible consommateur d'énergie au moment de sa fabrication et aisément recyclable en fin de vie.

Sa filière naissante constitue une perspective de création d'emplois et de richesse pour notre pays : des entreprises ont déjà décidé, à travers d'ambitieux programmes de recherche partenariale, d'engager leur savoir-faire industriel dans le développement de l'électronique imprimée.

Parmi elles, DisaSolar, une PME implantée à Limoges se prépare à devenir l'un des leaders mondiaux de cette spécialité.

DisaSolar a donc souhaité faire connaître le photovoltaïque organique et les perspectives de la filière auprès des décideurs politiques et des milieux institutionnels. C'est toute la raison d'être de ce Livre Blanc, dirigé par Michel Cruciani -que nous remercions-, économiste, chargé de mission au Centre de Géopolitique de l'Energie et des Matières premières de l'Université Paris-Dauphine et expert sur les questions d'énergies renouvelables.



Stéphane POUGHON
Président DisaSolar

www.disasolar.fr
joinus@disasolar.fr

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

SOMMAIRE

1. **Préambule** Page. 4
2. **Qu'est-ce que l'électronique imprimée ?** Page. 5
3. **Une évolution récente : le photovoltaïque organique** Page. 6
4. **Quelle R&D pour le photovoltaïque organique ?** Page. 8
   a. La recherche spécifique en vue d'une application définie Page. 8
   b. La recherche générale utile à l'ensemble des applications Page. 8
5. **Marchés et perspectives du photovoltaïque organique** Page. 10
   a. Les points forts des modules photovoltaïques organiques Page. 10
   b. Les marchés potentiels Page. 11
   c. La création d'une filière Page. 12
   d. La stratégie de déploiement Page. 15
6. **Le photovoltaïque organique : une chance pour l'industrie française ?** Page. 17

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

1. PRÉAMBULE

L'AFELIM est l'association française de l'électronique imprimée. Elle représente et soutient en France les entreprises qui exercent une activité dans le domaine de l'électronique imprimée. Son objectif est de promouvoir, collectivement et avec les autres acteurs industriels de ce secteur, le développement des applications de l'électronique imprimée. Ce livre blanc édité à l'initiative de DisaSolar, membre fondateur de l'association et PME spécialiste du photovoltaïque souple, a pour objectif de présenter cette innovation de rupture qu'est l'électronique imprimée en décrivant l'un de ses dérivés applicatifs : le photovoltaïque organique, ou photovoltaïque de "3ème génération", que DisaSolar contribue activement à mettre au point.

Après une présentation du photovoltaïque organique et de quelques acteurs majeurs, le présent livre blanc se propose de répondre aux questions concernant les travaux de recherche en cours et leur organisation, de décrire les débouchés commerciaux ouverts au photovoltaïque organique, et de fournir quelques repères économiques caractérisant ce marché en éclosion. La pénétration d'un marché neuf peut s'envisager selon diverses stratégies ; le Livre Blanc résume celle qui est privilégiée par DisaSolar. Enfin, la dernière partie aborde les perspectives ouvertes par cette nouvelle technologie pour l'industrie française.

2. QU'EST-CE QUE L'ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE ?

L'électronique imprimée marque une nouvelle étape technologique de l'électronique traditionnelle et de la microélectronique, avec l'impression de fonctions et de circuits électroniques sur des supports de toutes tailles, voire sur des structures complexes.

Cette filière récente est parfois qualifiée de révolution dans le secteur, car elle va apporter des solutions permettant de reculer considérablement les limites auxquelles se heurte l'électronique traditionnelle, grâce à l'éventail des procédés de fabrication. En effet, la production de ces circuits imprimés fait appel à différentes techniques d'impression utilisées en fonction du support qui va les recevoir. On peut citer le procédé d'enduction en continu dit "roll to roll" (semblable au principe des rotatives), le procédé "par évaporation", ou encore, le procédé d'impression par jet d'encre.

Les applications actuelles de l'électronique imprimée :

En raison des évolutions technologiques, la gamme des applications s'élargit constamment ; elles ont déjà dépassé le seul domaine de l'informatique. Comme dans tout secteur innovant, de nombreux développements ne sont pas encore imaginables et viendront des usages.

D'ores-et-déjà, on peut citer des applications sur le point d'être commercialisées comme les capteurs biomédicaux, les écrans et surfaces luminescentes OLED, les interfaces homme/machine ou machine to machine" telles que les étiquettes de radio-identification (RFID), etc.

3. UNE ÉVOLUTION DE L'ÉLECTRONIQUE IMPRIMÉE : LE PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE (OPV)

Le photovoltaïque organique, dit de 3ème génération et couramment désigné par le sigle OPV (Organic Photovoltaics), est une technologie tirée de l'électronique imprimée. Grâce au procédé d'impression, des cellules solaires organiques sont directement imprimées sur support plastique et vont alors constituer des panneaux photovoltaïques organiques. Ces cellules sont qualifiées d'organiques car leurs molécules sont dérivées du carbone, comme celles des organismes vivants.

Au regard des panneaux de 1ère et de 2ème génération, les panneaux organiques offrent des avantages majeurs :

- Ils sont souples, fins, légers et semi transparents, autorisant les applications les plus diverses, notamment des revêtements de surfaces variées, ce qui permet d'envisager une multitude d'applications ;
- Ils sont économiques et non polluants, ne nécessitant en particulier pas de métaux spéciaux comme les terres rares pour leur fabrication.

Cette nouvelle approche du photovoltaïque ouvre un champ de développement considérable, transformant potentiellement de nombreux objets de la vie courante en source d'énergie.

Les 2 premières générations de photovoltaïque :

1ère génération : des panneaux à base de silicium sous forme cristalline. Ces panneaux représentent à ce jour 80% du marché et sont ceux que l'on voit habituellement sur le toit des immeubles et des centrales au sol.

2ème génération : des panneaux en couches minces (thin films). On en distingue 4 sortes : Silicium amorphe, CIS, CIGS et CdTe. Ces panneaux sont plus légers, plus fins et éventuellement flexibles ; ce qui leur permet d'être posés sur des surfaces courbes et sur des éléments mobiles comme le toit d'un train ou d'un autobus.

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

DisaSolar, PME française spécialisée dans le domaine des panneaux et films photovoltaïques flexibles destinés à la production d'énergie électrique, fait partie des premières entreprises françaises qui ont engagé des programmes de recherche pour développer ces panneaux photovoltaïques organiques. L'atout de DisaSolar réside dans la technologie choisie pour développer ses panneaux de 3ème génération. En effet, grâce à sa technologie d'impression par jet d'encre, DisaSolar est le seul industriel à proposer des panneaux sur mesure et de différentes couleurs, capables de s'adapter aux contextes les plus variés. DisaSolar a également consacré des sommes importantes à la recherche sur l'OPV et vise la commercialisation des produits en 2016.

Au vu de ce panorama européen, des entreprises françaises comme Armor et DisaSolar demeurent bien placées, aussi bien par les échéances qu'elles se fixent que par les moyens qu'elles dédient à la recherche.

4. QUELLE R&D POUR LE PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE ?

a. La recherche spécifique en vue d'une application définie :

Exemple dans le secteur militaire : Un contrat de recherche signé entre DisaSolar et la DGA

Ce contrat porte sur le développement de panneaux solaires mimétiques souples, c'est-à-dire capables d'épouser la forme et la couleur de leur environnement, à des fins de camouflage. Ces panneaux solaires auront vocation à assurer plus d'autonomie aux équipements électroniques et de communications d'unités en opération. Ce programme associe aussi le CEA/INES et le CNRS/XLIM, laboratoires de recherche publics partenaires de DisaSolar. Parmi les applications, celles du domaine militaire apporteront une réponse au problème de l'alimentation d'équipements électroniques toujours plus nombreux et sophistiqués qui accompagnent les forces sur le terrain. Certains résultats de la recherche pourront bénéficier aux applications visant le grand public.

b. La recherche générale utile à l'ensemble des applications :

Elle vise à accroître les performances de tous les produits.

Le rendement et la durée de vie des surfaces OPV demeurent actuellement plus faibles que ceux des panneaux de 1ère ou 2ème génération. Ce sont donc sur ces points que portent principalement les efforts de recherche en cours :

- Le faible rendement est un phénomène courant dans toutes les technologies naissantes. Des progrès sont donc assurés et déjà réalisés en laboratoire (12%). Il est à noter que l'OPV offre un meilleur rendement que les 1ère et 2ème génération de photovoltaïque sous faible illumination.

- La durée de vie encore modérée (10 ans) résulte principalement de la grande sensibilité des cellules à la vapeur d'eau et à l'oxygène, une sensibilité qui s'accommode mal de contextes d'utilisation parfois extrêmes, inhérents à la fonction, par exemple pour couvrir un vêtement, un véhicule ou un avion. Pour les protéger, les travaux des chercheurs portent sur une "encapsulation" plus efficace ; de nombreuses équipes sont attelées à cette tâche dans plusieurs pays.

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

Les entreprises françaises qui ont lancé un programme de R&D ont d'emblée constitué un réseau serré.

DisaSolar se distingue par la création d'un écosystème. La majorité de la R&D de DisaSolar est réalisée en partenariat avec des laboratoires publics de recherche implantés en France (CEA/INES et le CNRS/XLIM), aux Pays-Bas (Holst Centre – Eindhoven), en Belgique (Université de Louvain – Imec) et au Canada (Université du Queens). En coordonnant et en agrégeant les travaux de ces différentes équipes au sein de son propre laboratoire à Limoges, DisaSolar s'est placée au centre d'un écosystème d'innovation qu'elle a elle-même organisé, dans lequel les transferts de technologies sont facilités. Cette approche originale de R&D en réseau apparait comme un modèle remarquable en matière de recherche partenariale public-privé et de coopération internationale dans le domaine de l'innovation. Une approche que l'on pourrait qualifier de "cloud R&D", dans lequel différents laboratoires travaillent ensemble sous l'égide d'une entreprise qui fédère leurs travaux et agrège les compétences. En complément aux travaux de recherche en laboratoire, DisaSolar, en partenariat avec l'entreprise Ceradrop également installée à Limoges, développe ses propres applicatifs d'impression par jet d'encre.

Parmi les autres acteurs français, le groupe Armor a également engagé un programme de recherche sur l'OPV, sous le nom de code OSCAR, au sein d'un consortium impliquant d'autres entreprises, le CEA-INES et le Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques de Bordeaux.

Témoignages :

Thierry Trigaud, chercheur au CNRS-XLIM, évoque les perspectives en matière de rendement :
« Aujourd'hui, les meilleurs rendements de cellules en laboratoires viennent de dépasser les 12%. Le passage à grande échelle induit une perte de rendement de l'ordre de 2 à 3%. La difficulté consiste à la mise au point de l'outil industriel grande échelle. Il y a aussi encore des pertes électriques à pallier au niveau de la collecte des charges positives et négatives. Nous y travaillons par simulation électromagnétique ou par expérimentation. »

Solenn Berson, ingénieur au CEA-INES s'exprime sur le vieillissement des cellules :
« La durée de vie des cellules est aujourd'hui de 3 à 5 ans. L'objectif est d'atteindre les 10 ans de durée de vie. Pour y arriver, nous travaillons sur les architectures des dispositifs : mise en place de multicouches suivant les matériaux, tests avec différents matériaux, dans de différentes conditions (lumière, température, humidité). C'est une des limites actuelles de l'OPV mais il existe néanmoins un marché qui s'est adapté à cette contrainte, celui des applications nomades : sacs à dos, téléphones portables, etc. »

5. MARCHÉS ET PERSPECTIVES DU PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE

a. Les points forts des modules photovoltaïques organiques :

L'OPV présente plusieurs caractéristiques qui le distinguent des modules de 1ère ou 2ème génération et qui constituent autant d'atouts majeurs :

- Intégrabilité : Les films OPV sont flexibles, légers et résistants, ce qui leur permet d'épouser des formes variées dans les trois dimensions et de s'appliquer sur une multitude de supports sans créer de surpoids. La qualité de leur finition et la gamme des couleurs disponibles pour les films, ou à l'inverse leur relative transparence, les rend compatibles avec les produits pour lesquels l'aspect esthétique est important.

- Simplicité : Le processus de production s'effectue dans des conditions banales de température, de pression atmosphérique et de confinement. Il est modulable et voit ses coûts baisser rapidement avec les volumes mis en fabrication.

- Economie : Utilisant des matières premières courantes, consommant peu d'énergie pour leur fabrication, et produits par des équipements sobres en investissements, les modules OPV pourront rapidement atteindre un prix compétitif. Leur flexibilité et leur légèreté facilite le stockage et le transport.

- Environnement : Les polymères sont formés des molécules que l'on trouve dans les matières organiques, communément recyclées. Ils ne contiennent pas de matériaux toxiques ; le seul élément métallique est l'argent, que l'on sait récupérer depuis l'origine de l'industrie photographique. Les supports pourront bientôt provenir de la biochimie, issue du monde végétal. Le "temps de retour énergétique" (durée de fonctionnement nécessaire pour produire la quantité d'électricité utilisée lors de la fabrication) se situe entre deux et quatre mois, contre deux à quatre années pour la 1ère et la 2ème génération.

- Fonctionnement : Les panneaux OPV se contentent d'une faible luminosité pour générer du courant: ils produisent de l'électricité même sous ensoleillement diffus ou lumière artificielle. Contrairement à d'autres types de panneaux, leur rendement s'élève quand la température augmente.

b. Les marchés potentiels :

Comment le photovoltaïque organique peut-il susciter l'acte d'achat ? Il y parviendra en valorisant les qualités spécifiques résumées ci-dessus.

Ainsi, à court terme, les panneaux OPV demeureront mal placés pour concurrencer les sources d'électricité raccordées aux réseaux de distribution : leur durée de vie reste encore insuffisante pour une intégration au bâti et le coût des travaux de pose amoindrit l'avantage procuré par leur prix modéré. Le marché du photovoltaïque raccordé va cependant évoluer. Il est actuellement dopé par un tarif d'achat garanti pour le courant produit, mais ce dispositif très coûteux devrait progressivement s'éteindre, comme le souhaite la Commission Européenne. Certains pays, notamment l'Allemagne, préparent déjà ce tournant, en encourageant l'autoconsommation du courant produit par les installations photovoltaïques.

Lorsque le soutien par les tarifs sera résorbé, dans quelques années, il est probable que le rendement des modules organiques se sera rapproché de celui des panneaux de première et seconde génération. On peut alors imaginer des revêtements muraux, des rideaux, des vitrages, équipés en OPV, générateurs d'électricité, en faible quantité certes, mais suffisante pour éclairer une pièce ou rendre autonome le fonctionnement des petits équipements électriques. Les qualités esthétiques du produit, sa facilité de pose et son coût abordable lui assureront un marché significatif en complément de celui dévolu aux panneaux de 1ère et 2ème génération ou aux micro-éoliennes individuelles.

À cet horizon, on peut aussi imaginer le recours à l'OPV comme source électrique d'appoint pour les voitures et les autocars, tout particulièrement pour fournir une partie de l'énergie nécessaire à la climatisation (dont on se sert surtout quand le soleil brille !). Maintenir en service le rafraîchissement (ou le préchauffage) du véhicule lorsqu'il est à l'arrêt, sans consommer de carburant, représenterait certainement une option appréciée. Elle serait extrêmement précieuse pour les avions, qui consomment aujourd'hui pour la fonction climatisation au sol une part non négligeable du kérosène embarqué. Le faible poids de l'OPV lui assurera sur ce marché un avantage déterminant.

Afin de franchir l'intervalle qui nous sépare de cette période, le photovoltaïque organique peut se développer en répondant aux besoins en autonomie électrique manifestés par divers types de clients:

- Il s'agit en premier lieu des professionnels. Certains seront soucieux de disposer d'une alimentation complémentaire pour renforcer la sécurité de fonctionnement de leur matériel électronique. Ils apprécieront de prolonger la durée de vie de leurs batteries en réduisant la fréquence des cycles de charge et décharge. D'autres seront désireux d'installer rapidement des sources de courant faciles à transporter et adaptées à des configurations variées. On trouvera ainsi, à côté des forces armées déjà citées, les responsables chargés de la signalisation des chantiers ou des événements temporaires ainsi que les fournisseurs de structures urbaines qui ne justifient pas un raccordement au réseau (abribus, totem signalétique, etc.).

- Il s'agit en second lieu des possesseurs d'appareils électroniques nomades. Une étude de marché a montré que les consommateurs occidentaux sont prêts à payer pour garder leurs outils numériques chargés en permanence, et qu'ils préfèreront les systèmes légers, agréables d'aspect et respectueux de l'environnement. De nombreux objets individuels pourront bientôt comporter une surface OPV pour alimenter ou recharger un éclairage ou un petit appareil électrique : vêtement, sac à dos, étuis, toile de tente, parasol, etc.

c. La création d'une filière :

Le photovoltaïque de 3ème génération se situera aux côtés de la 1ère et de la 2ème, qui continueront à connaître des progrès technologiques confortant leur position. Il se situera également en marge de la production d'électricité de grande puissance, d'origine renouvelable (éolienne, hydraulique…) ou conventionnelle (gaz, nucléaire…), apte à satisfaire les fortes consommations. Le marché de l'OPV repose principalement sur des nouveaux usages, eux-mêmes générateurs de nouveaux produits. En ce sens, on peut parler véritablement d'une filière spécifique, trouvant des débouchés dans des domaines que l'on commence seulement à discerner aujourd'hui, de la même façon que le téléphone portable de 3ème génération a ouvert le champ à des applications que ses concepteurs n'avaient pas imaginées.

Pour donner corps à cette filière et lui donner une dimension industrielle, créatrice de valeur et d'emplois, il convient de coordonner les acteurs susceptibles d'y jouer un rôle et de les préparer à prendre pied sur les marchés en devenir. DisaSolar contribue à animer le réseau des entreprises qui se forme progressivement en France autour du photovoltaïque organique. Ce réseau comporte l'ensemble des fournisseurs intéressés : imprimantes, films, encres, polymères, consommables d'impression, interfaces numériques, contrôle de qualité… Chacun bénéficie des avancées réalisées dans les domaines connexes à son activité, mais chacun reste libre de développer ses ventes auprès d'autres clients, sur le sol national ou à l'exportation. Les liens entre ces acteurs peuvent être de nature contractuelle, par exemple entre clients et fournisseurs associés à la définition d'un produit, ou de nature partenariale, comme pour le lancement du projet INKJET OPV.

Des données chiffrées pour guider les orientations stratégiques

Les panneaux de 1ère génération, basés sur les technologies du silicium monocristallin ou polycristallin, atteignent un rendement commercial compris entre 15 et 19%, pour un coût du module qui peut descendre à un prix inférieur à 1 €/Wc [(a)]. Ce marché est soumis à une forte compétition, qui comprime les marges des opérateurs.

Les panneaux sur substrats flexibles de 1ère et 2ème génération offrent un rendement commercial compris entre 7 et 12% ; le coût d'un module varie en fonction de la technologie mise en œuvre (silicium amorphe, CIS ou CIGS). Ce coût tend vers 1.5 €/Wc [(b)]. De gros efforts sont déployés pour élever les rendements et réduire les prix. Dans certaines méthodes, la couche sensible est appliquée par impression, avec des rotatives ou par sérigraphie.

Pour la 3ème génération, on vise actuellement un rendement commercial de 8%. Cet objectif parait en retrait des performances des deux autres générations, mais dans les conditions réelles d'exploitation il en est proche, car l'OPV capte beaucoup mieux la lumière diffuse que toutes les autres technologies. Il n'existe pas encore de production suffisante pour estimer un coût significatif du module ; l'étude théorique de référence l'évalue entre 4,09 et 1,35 €/Wc [(b)].

Malgré la grande imprécision régnant autour de ces chiffres, l'écart entre le photovoltaïque organique et les technologies antérieures montre qu'il serait présomptueux de s'attaquer d'emblée au même marché, en l'occurrence celui des installations raccordées au réseau. Les prix baissent cependant rapidement avec les quantités produites. Pour la 1ère et la 2ème génération, le ratio observé est une diminution de 22 % des coûts pour chaque doublement de la capacité installée [(a)]. En conservant le même ratio, si le marché de l'OPV est multiplié par 130 d'ici 2022, comme le prévoit l'étude la plus optimiste [(c)], les coûts seront divisés par 5,7 à cet horizon. Le rythme de baisse des

coûts déterminera le moment où la 3ème génération sera en mesure d'affronter les deux premières sur leur cœur de marché. Il est en effet probable que les gains liés aux effets d'échelle vont ralentir pour la 1ère génération et que le prix des matières premières entrant dans la composition des panneaux de 2ème génération subira une phase de hausse. Ces deux phénomènes pénaliseront les premières générations dans la recherche de coûts toujours plus bas [(d)].

Enfin, les analystes sont partagés sur la place de l'OPV face à une autre technologie récente, DSC (diodes solaires à colorant), à laquelle certains observateurs attribuent une avance dans la compétition sur le marché des panneaux photovoltaïques raccordés au réseau, dans les bâtiments [(e)]. Les produits DSC ne détiennent pas les mêmes atouts que l'OPV ; ils concurrenceront surtout les panneaux de 2ème génération. Mais leur éventuelle percée leur livrerait une partie du terrain envisagé aujourd'hui pour le photovoltaïque organique, et retarderait en conséquence le déploiement à grande échelle de ce dernier. On peut néanmoins s'interroger sur l'engagement d'investissements industriels dans cette technologie, qui voit ses meilleurs rendements en laboratoire stagner depuis plusieurs semestres consécutifs.

Les incertitudes affectant ces études sont considérables et les résultats chiffrés demeurent approximatifs. Cependant, leur prise en compte incite à une stratégie prudente : réserver l'OPV aux marchés assurant une forte différenciation au regard des produits concurrents ; cibler en premier lieu les applications pour lesquelles on perçoit une propension à payer pour un service spécifique ; éviter enfin des investissements massifs, qui grèveraient le budget par les coûts fixes et réduiraient les marges d'adaptation.

Sources :

[(a)] IRENA - RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES
Volume 1: Power Sector- Issue 4/5 - Solar Photovoltaics, June 2012

[(b)] Energy & Environmental Science - Economic assessment of solar electricity production from organi-based photovoltaic modules in a domestic environment- Brian Azzopardi, Christopher J. M. Emmott, Antonio Urbina, Frederik C. Krebs, Joseph Mutale and Jenny Nelson, June 2011

[(c)] Organic Photovoltaics Technologies, Players and Forecasts 2012-2022, IDTechEx, July 2012

[(d)] Les deux phénomènes ont été décrits dans l'étude "Unravelling the photovoltaic technology learning curve by incorporation of input price changes and scale effects", de C.F. Yu, W.G.J.H.M. van Sark et E.A. Alsema, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, January 2012

[(e)] Cette thèse est en particulier défendue dans les rapports édités par les consultants travaillant pour le site NanoMarkets (DSC PV Market to Expand Greatly, April 2012, et Analysis of OPV Market, May 2012)

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

d. La stratégie de déploiement :

La difficulté consiste à tenir compte du facteur temps, pour permettre à l'offre d'intégrer en continu les progrès technologiques (notamment l'amélioration des rendements et l'allongement de la durée de vie) et pour permettre à la demande de prendre de l'ampleur au vu des possibilités offertes. On répond à cette difficulté en adoptant une démarche dynamique, au sens propre du terme, c'est-à-dire une démarche qui évolue en permanence en fonction des acquis et des opportunités.

Le premier point d'appui tient à la situation de départ : le développement du photovoltaïque de 3ème génération s'effectuera aux frontières des marchés actuellement conquis par la 2ème génération. Cette dernière propose en effet déjà des films relativement fins et souples ; toutefois ils demeurent insuffisamment flexibles pour être apposés sur des surfaces complexes, difficilement fabricables sur mesure et trop lourds pour certains objets nomades. Ces secteurs inaccessibles aux panneaux de la 2ème génération apparaissent comme les points de pénétration naturels de l'OPV. Pour garder l'exemple d'une source photovoltaïque d'appoint sur les véhicules, citée plus haut, les panneaux de 2ème génération peuvent épouser la forme du toit, mais pas celle du capot, des vitres ou des portières : leur souplesse, leur transparence et leur production en éclairage indirect restent insuffisantes.

Mais les panneaux en couches minces de la 2ème génération bénéficieront aussi de progrès amenant une réduction des coûts et une amélioration des performances : le marché de l'OPV devra donc trouver des applications spécifiques. Celles-ci supposent une conception fine des produits, une valorisation des qualités esthétiques de l'électronique imprimée, une utilisation judicieuse de la facilité d'adaptation de l'OPV aux supports et aux exigences électriques demandées par le client. Toute la phase d'étude, de suivi des réalisations et éventuellement de maintenance après-vente pour le remplacement régulier de certains composants constitue un service générateur de valeur ajoutée.

L'ensemble du raisonnement ci-dessus guide la stratégie de DisaSolar. L'entreprise s'est structurée en partant d'une offre en photovoltaïque de 2ème génération. Elle a privilégié les contrats impliquant des études préliminaires, une capacité d'innovation et une relation de proximité avec les clients (TER, autobus, voitures en auto partage, véhicules blindés…), donc une part importante de services.

Ces panneaux de 2ème génération sont achetés à divers fournisseurs européens ou américains. DisaSolar investit aujourd'hui en France dans le projet INKJET OPV pour réaliser une ligne de fabrication de modules photovoltaïques organiques par impression jet d'encre. Toujours avec l'objectif de favoriser les synergies, le projet réunit autour de DisaSolar un centre de recherche et quatre entreprises apportant des expertises complémentaires. Le savoir-faire acquis par DisaSolar auprès des clients qu'il équipe en 2ème génération servira de support pour prendre pied sur les marchés de la 3ème génération, puisqu'on vise pour cette dernière le même type de services, donc les mêmes compétences. La maîtrise des deux technologies demeure essentielle, car pour certaines applications, l'arbitrage entre l'une ou l'autre restera ouvert.

La préférence en faveur de la technologie jet d'encre est cohérente avec cette démarche. Elle satisfait en particulier l'exigence de produits "sur-mesure" par les tailles, formes, couleurs, tensions électriques qu'elle permet. Elle exploite au mieux les compétences internes des partenaires du projet, centrées sur des productions de haute qualité, mettant en œuvre une étape de conception originale. La technologie jet d'encre (mise en œuvre en feuille à feuille ou "sheet to sheet") facilite en outre un développement progressif, car l'investissement de départ est plus modeste que pour d'autres technologies d'électronique imprimée (par exemple en ruban continu, technologie dite "roll to roll", ou en dépôt sous vide ou encore par utilisation d'électrolyte à colorants, procédé "Grätzel" ou DSC). Grâce à ce caractère modulable de l'investissement, la production augmentera au rythme de la demande par additions successives de nouvelles imprimantes, que l'on peut coupler entre elles. On évite ainsi un risque financier trop lourd.

6. LE PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE : UNE CHANCE POUR L'INDUSTRIE FRANÇAISE ?

La France est bien placée dans les métiers de l'électronique imprimée, aussi bien avec des groupes de taille mondiale (Air Liquide, Arkéma, etc.), qu'avec des entreprises d'envergure européenne ou française, occupant parfois une position de leader dans leur spécialité (Cedadrop, In-Core Systems, etc.). La France fait également partie du petit nombre des pays ayant lancé des programmes de recherche sur le photovoltaïque organique, à la fois dans des laboratoires publics de haut niveau (CEA-LITEN, INES, plusieurs universités) et dans des unités professionnelles (Armor, DisaSolar…). Les acquis de ces travaux et l'évolution des besoins en électricité amènent à la conclusion que le passage à l'étape industrielle est désormais possible, fut-ce de manière prudente.

Un développement industriel serait véritablement générateur de croissance économique, car les nouveaux produits ne se substituent pas à d'autres ; ils susciteront une demande nouvelle, jouant un rôle catalyseur pour de multiples innovations. Les entreprises françaises sont bien placées pour capter une partie du marché potentiel à l'échelle mondiale, car elles disposent à la fois d'un savoir faire adéquat et de leurs propres brevets pour commercialiser leurs produits. Le fort contenu en services associés de ces produits permettrait par ailleurs de limiter la portée de la concurrence venant de pays à bas coûts de main d'œuvre.

Comment encourager ce décollage industriel ?

Le dispositif français de soutien à la production d'électricité de sources renouvelables est à ce jour entièrement réservé aux installations raccordées au réseau. Il est de ce fait inadapté à la phase initiale du développement de l'OPV. D'autres dispositifs de soutien seraient bienvenus :

- Stimuler l'effort de recherche, en renforçant les moyens des structures publiques en place sur ce secteur et en favorisant le partage des connaissances ainsi que le transfert des résultats de la R&D vers l'industrie ;

- Fournir une aide à l'investissement dans les premières unités de production, en orientant une partie des fonds dégagés par les initiatives telles que les investissements d'avenir vers des prises de participation dans les projets de photovoltaïque organique ;

- Lancer des appels d'offres pour des produits innovants, par exemple dans l'esprit qui a présidé à la commande groupée de véhicules électriques annoncée en avril 2010, au terme d'une étude associant acteurs publics et privés ;

- Participer aux travaux internationaux sur la normalisation des produits et la définition des performances, afin de mieux caractériser les qualités du photovoltaïque de 3ème génération, aujourd'hui mal reflétées par des critères conçus pour la 1ère génération.

L'OPV, une dynamique mondiale

A l'échelle mondiale, le mouvement est en route et le développement du photovoltaïque de 3ème génération est déjà porté par plusieurs industriels qui ont rapidement cerné le potentiel économique de cette technologie, les bénéfices qu'elle représente, et qui s'activent désormais pour faire émerger un marché.
Dans ce mouvement, la France est assez bien représentée puisque deux entreprises françaises se sont déjà engagées dans un ambitieux programme de développement industriel en partenariat avec des laboratoires publics et le soutien d'investisseurs publics et privés.
Ces acteurs français sont :

DisaSolar (Limoges), créé en 2008, qui commercialise des panneaux solaires souples de 2ème génération et s'apprête à produire des modules OPV par impression jet d'encre.
Armor (Nantes), entreprise spécialisée dans le transfert thermique et qui s'est orienté vers l'OPV en 2012.

En Europe et dans le monde, les autres acteurs du marché sont :

En Allemagne :
Heliatek (Dresde), créé en 2006, qui a inauguré en 2012 sa première ligne de production selon le processus « roll-to-roll » par vaporisation sous vide en rouleau avec le soutien de plusieurs grands groupes comme BASF, Bosch ou RWE.
Belectric (Kolitzheim), qui a repris les actifs européens du groupe américain Konarka.
Poly-IC (Fuerth), créé en novembre 2003 et membre du groupe Kurz, qui utilise également le procédé d'électronique imprimée.

En Angleterre :
SolarPress (Londres), créé en 2009 et Eight19 (Cambridge), créé en 2008, dont la production est destinée, dans un premier temps, à produire de l'énergie dans les pays en développement.

MolecularSolar (Warwick), créé en 2011, qui participe à un consortium spécialisé dans le développement de l'OPV réunissant 4 entreprises et deux universités.

En Irlande :
SolarPrint (Dublin) qui se prépare à investir dans la technologie DSC.

Aux Etats-Unis :
Solarmer (Los Angeles), crée en 2006 et partenaire de plusieurs universités américaines, qui cible la construction durable et les équipements nomades.
One The Move Systems (Floride).

En Russie :
Cryscade Solar (Moscou), créé en 2007.

Au Japon :
Mitsubishi Chemicals Holdings Corporation (Japon), créé en 2005 qui a prévu de commercialiser de l'OPV à partir de 2015, et qui a déjà mis en œuvre des moyens humains et financiers à l'échelle du groupe.

En conclusion, le photovoltaïque organique est une technologie de rupture, susceptible de modifier profondément l'éventail des sources d'électricité, d'abord pour les usages autonomes, puis pour les installations raccordées au réseau. Le moment semble venu de passer à l'étape industrielle, en adoptant une stratégie de transition technologique et en conservant des marges d'ajustement. La France possède les équipes en mesure d'accomplir cette percée industrielle. Parmi les opérations en préparation, le projet INKJET OPV porté par DisaSolar, comporte de nombreux atouts pour réussir.

Michel Cruciani

Michel Cruciani est Chargé de Mission au Centre de Géopolitique de l'Energie et des Matières Premières de l'Université Paris-Dauphine depuis Février 2007 ; il assure un enseignement sur les énergies renouvelables en Master. Titulaire d'un diplôme d'ingénieur, il a auparavant exercé des activités notamment à Gaz de France (Service des Etudes Economiques), la CFDT (Administrateur de Gaz de France), et enfin Electricité de France (Direction des Affaires Européennes). Actif par ailleurs comme consultant indépendant, ses dernières études ont concerné l'évolution des prix de l'électricité en Europe (2011) et le tournant énergétique allemand (2012), toutes deux publiées par l'Institut Français des Relations Internationales (IFRI). Il est désormais attaché à la Chaire "Marchés Européens de l'Electricité", créée à l'Université Paris-Dauphine en 2012.

Disa Solar
Flexible Innovative Solution

TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR

QUI SOMMES-NOUS ?

Fondées en 1946 et membres du groupe Weka depuis 1996, les Éditions T.I. sont un leader incontesté de l'information scientifique et technique. Intégrées depuis leur création au paysage mondial de la documentation francophone, elles se déclinent aujourd'hui en deux grandes activités :

- La publication de ressources documentaires de référence (Dossiers fondamentaux, Fiches et outils pratiques », Services associés, articles de Veille & Actualités, etc.)
- Un service de conseil en ingénierie technologique : « Conseil et Formation »

TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR C'EST :

- La plus importante collection documentaire technique et scientifique en langue française,
- Un département dédié à la formation, externe et interne,
- Un acteur majeur du conseil pour l'industrie française et la recherche,
- Le partenaire de référence qui accompagne les industriels français dans leurs projets depuis 60 ans.

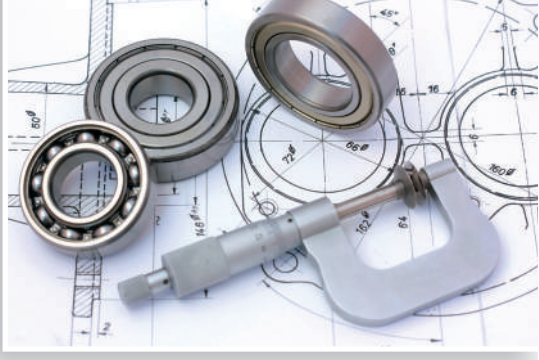
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR EN QUELQUES CHIFFRES :

- Une référence pour les ingénieurs depuis plus de 60 ans,
- Plus de 400 bases documentaires,
- Un réseau de 3 500 experts,
- Plus de 8 000 articles de base documentaire (ou scientifiques), dont 3 000 articles d'archives,
- Près de 2 000 articles d'actualité,
- Plus de 700 fiches de mise en application pratique,
- Un bouquet de 9 services,
- Plus de 300 000 utilisateurs,
- Plus d'un million de pages vues chaque mois sur www.techniques-ingenieur.fr.

LES THÉMATIQUES COUVERTES :

Sciences fondamentales | Génie industriel | Procédés Chimie Agro Bio | Mesures Analyse Matériaux | Mécanique | Énergies | Électronique Photonique | Technologies de l'information Construction | Innovation | Environnement

EDITIONS TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR (E.T.I.)
249 RUE DE CRIMÉE, 75019 PARIS, FRANCE
TÉLÉPHONE : 01 53 35 20 00
MAIL : ACTUS@TECHING.COM
WWW.TECHNIQUES-INGENIEUR.FR



ÉDITIONS TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR :

1 – RESSOURCES DOCUMENTAIRES

La plus importante collection documentaire scientifique et technique en langue française. Une information fiable, précise et actualisée en permanence.

Les Éditions Techniques de l'Ingénieur vous apportent une **information précise et fiable** pour l'étude et la réalisation de vos projets. **Actualisées en permanence**, nos ressources documentaires profitent aujourd'hui à plus de **300 000 utilisateurs** et sont la référence pour tout ingénieur, bureau d'études, direction technique et centre de documentation.

Depuis plus de 60 ans, **3 500 experts reconnus** pour leur rigueur scientifique et technique contribuent quotidiennement à développer, enrichir et mettre à jour cette documentation professionnelle de qualité.

Découvrez l'ensemble de la collection « Les Sélections Techniques de l'Ingénieur », **disponible en formule WEB ou DUO (web + papier)**, et accessible en téléchargement PDF, sur internet ainsi que sur l'application iPad.

Nos univers documentaires

Plus de 400 bases documentaires et plus de 8 000 articles en 12 univers :

- **Sciences fondamentales**
- **Environnement - Sécurité**
- **Énergies**
- **Technologies de l'information**
- **Mécanique**
- **Innovation**
- **Génie industriel**
- **Procédés Chimie -Bio - Agro**
- **Matériaux**
- **Mesures - Analyses**
- **Électronique - Photonique**
- **Construction**

Services

De nouveaux services **sont inclus dans chaque abonnement** : le dictionnaire technique multilingue, l'accès à l'annuaire des laboratoires et centres de recherche, les articles « Découverte » et un espace Réseau & Emploi.

Veille & actualité

Avis d'experts, revues du Web, cahiers thématiques… Suivez l'actualité scientifique et technique, retrouvez toutes les **dernières innovations** ainsi que **des dossiers complets** sur **les grands enjeux de l'ingénierie** sur le site de Techniques de l'Ingénieur.

ÉDITIONS TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR :

2 – CONSEIL EN INNOVATION, INGÉNIERIE & TECHNOLOGIES

Techniques de l'Ingénieur vous accompagne tout au long de vos projets par des missions sur-mesure en ingénierie et conseil en innovation. À chaque besoin, sa mission correspondante...

Vous cherchez à **réaliser une étude scientifique**, technique ou réglementaire ?

Vous souhaitez **bénéficier de conseils stratégiques**, d'une aide à la décision ou de soutien opérationnel ?

Vous voulez **être accompagné dans vos démarches d'optimisation** ou dans vos projets d'innovation ?

Vous souhaitez **compléter votre capacité R&D** interne ?

Notre méthode en 6 étapes

Toutes les missions sur-mesure que nous mettons en place sont co-construites avec vous.

- **Recueillir** et analyser votre besoin
- **Élaborer** votre mission sur-mesure : clarifier les objectifs, méthodes et indicateurs de performance
- **Préparer** la mission et rencontrer votre équipe projet
- **Réaliser** la mission avec les experts et les équipes associées
- **Évaluer** la mission et ajuster le dispositif si besoin
- **Assurer** le suivi de la mission : bilans intermédiaires et actions complémentaires

Nos domaines d'intervention

Gardez une longueur d'avance dans tous les domaines couverts par Techniques de l'Ingénieur.

- **Expertise technique :** traitement de surface, chimie durable, mécanique, composite, agro-alimentaire.
- **Qualité, environnement et prévention santé sécurité :** ICPE, HACCP, ISO 18001.
- **Gestion du risque chimique :** toxicologie, FDS, classification et étiquetage SGH/CLP.
- **« Être ingénieur aujourd'hui » :** management et efficacité professionnelle des équipes techniques.

Nos experts à votre service

Nous mettons à votre disposition **« l'ADN » des Techniques de l'Ingénieur :** son réseau d'experts, ses connaissances scientifiques et techniques les plus récentes et sa capacité à transmettre les bonnes pratiques industrielles.

- Des experts à la pointe de leur spécialité
- Des praticiens à l'expérience éprouvée
- Des pédagogues reconnus

ÉDITIONS TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR :

3 - FORMATION & MISSION SUR-MESURE

Une sélection de formations pratiques et exigeantes pour monter en compétence.

Retrouvez ce qui fait le succès de Techniques de l'Ingénieur dans nos programmes de formation :

- les meilleures technologies disponibles
- l'état des lieux scientifique et technique par spécialité
- les dernières obligations HSE
- les clés en management et efficacité professionnelle incontournables aujourd'hui à l'exercice de vos responsabilités

Nos domaines d'intervention

- **Journées Techniques :** toutes les évolutions scientifiques et techniques : Critères d'innovation, risques associés et comparaison des meilleures pratiques.
- **Conception Innovation :** les clés de l"innovation, les outils de conception et de simulation pour accélérer et le développement : Matlab.
- **Efficacité Professionnelle :** les fondamentaux du management de la communication et du business plan.
- **Risque Chimique :** REACH, FDS étendues, SGH/CLP, ATEX.
- **Santé Sécurité :** prévenir les risques et mobiliser les équipes.
- **Environnement :** couvrir les exigences réglementaires et choisir les solutions techniques les plus adaptées.
- **Construction :** pathologies, référentiels et solutions techniques pour améliorer l'efficacité énergétique et environnementale.

Formation sur-mesure & coaching

Pour accompagner votre politique de développement des compétences, nous mettons en place des actions de formation personnalisées et de coaching individuel ou collectif.

3 avantages d'une formation effectuée dans votre entreprise :

- **Sur-mesure :** un programme adapté à vos besoins et aux spécificités de votre activité
- **Flexibilité :** une mission de formation ou de conseil aux dates et lieu de votre choix
- **Coûts maîtrisés :** un budget optimisé aux spécificités de chaque entreprise pour déployer la mission au sein des équipes, en toute confidentialité

Rendez-vous sur www.techniques-ingenieur.fr et sur vos tablettes

Un site indispensable pour accompagner l'ingénieur au jour le jour.

Depuis le portail des Editions Techniques de l'Ingénieur, accédez immédiatement à l'intégralité des contenus et des services.

Vous y retrouverez :

- L'intégralité des bases documentaires actualisées en permanence, ainsi que les services en ligne associés aux contenus
- Les différents domaines d'intervention liés au Conseil et à la Formation
- Votre espace en ligne personnalisé
- Un moteur de recherche performant

En savoir plus ? Bénéficier d'un essai gratuit ou d'une démonstration ?

Notre équipe de conseillers régionaux est à votre écoute pour vous proposer des solutions sur mesure

Pour recevoir, sans engagement de votre part, toute l'information sur les produits des Techniques de l'Ingénieur, complétez cette demande d'information.

A retourner à :
Techniques de l'Ingénieur
249 rue de Crimée
75925 Paris cedex 19
Tél. : 01 53 35 20 20
Fax : 01 53 26 79 18
email : infos.clients@teching.com

❑ M. ❑ Mme ❑ Mlle

Nom : ..... Prénom : .....

Société / Organisme : .....

Adresse : .....

CP : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_|_|_|_|_|_|_|_| Fax : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Email : .....

Effectif : .....

NAF : .....

72/WQ-TDK4902