

La revue technique des Travaux Publics

# Travaux

n°854  
Juillet/Août 2008

# Énergie Environnement

## ÉNERGIE ENVIRONNEMENT

- **Éclairage public et développement durable**
- **Opération pilote dans le domaine du curage des collecteurs d'assainissement**
- **Réparation et renforcement des structures de grande hauteur au moyen des matériaux composites**
- **Trenchmix :** une technique d'amélioration de sol qui contribue au développement durable
- **Des ressorts amortisseurs précontraints Jarret dans les confortements parasismiques**
- **L'unité mobile de traitement des eaux (UMTE)**
- **Ultrafiltration et « préchargement » pour la station d'épuration d'Ollainville**

# éditorial

## Le plan Énergie-Climat pour l'après 2012 : une opportunité pour les Travaux Publics

L'un des grands enjeux de la Présidence française de l'Union européenne (UE) qui a débuté le 1<sup>er</sup> juillet dernier est la lutte contre le changement climatique, ce que l'on nomme le « paquet Énergie-Climat ».

« Nous sommes la dernière génération qui peut éviter la catastrophe » a déclaré Nicolas Sarkozy, lors de son premier discours de président de l'UE le 10 juillet dernier. Il a insisté sur la nécessité « d'adopter ce "paquet Energie-Climat" qu'il a qualifié de priorité absolue ».

L'UE doit réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 20 % d'ici à 2020 par rapport aux niveaux de 1990. Autre objectif, porter à 20 % la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique de l'UE à l'horizon 2020, dont 10 % de biocarburants.

Parmi les mesures annoncées dans le cadre de ce plan, la proposition de directive destinée à promouvoir les sources d'énergies renouvelables afin de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre concerne plus particulièrement les Travaux Publics.



Patrick Bernasconi  
Président de la FNTP

Ainsi, l'annonce du gestionnaire français du réseau de transport d'électricité, RTE, porte à réflexion. Il vient d'indiquer dans une étude que la production d'électricité d'origine éolienne devrait quasiment tripler d'ici à 2012 pour atteindre 7 000 MW, puis 20 000 MW en 2020.

Parallèlement, le Président français vient d'annoncer la construction d'un deuxième réacteur nucléaire de troisième génération EPR. « L'ère du pétrole bon marché est terminée. Le nucléaire est plus que jamais une industrie d'avenir et une énergie indispensable. Nous voulons que l'énergie nucléaire soit une des réponses principales à la crise du pétrole que l'on connaît ».

La Profession entend accompagner efficacement cette politique énergétique portée au plus haut niveau, dont les retombées en matière d'infrastructures énergétiques et d'activité pour les entreprises de TP représentent des enjeux majeurs.

Les entreprises françaises ont d'ores et déjà démontré un savoir-faire remarquable pour contribuer à la construction de ces infrastructures spécifiques.

Le groupe de travail « Énergie » mis en place par la FNTP s'intéresse particulièrement aux infrastructures de production d'électricité et à leur évolution à l'horizon 2020. Des scénarios prospectifs sont en cours de validation et un chiffrage des retombées pour les Travaux Publics sera effectué avant la fin de l'année.

Le groupe de travail a également identifié d'autres axes de réflexion (infrastructures gazières, stockage du CO<sub>2</sub>, approche régionale...) qui viendront prendre le relais des travaux en cours.





Philippe de Ladoucette  
Président  
de la Commission  
de régulation  
de l'énergie

## Pour un marché européen de l'énergie libre et concurrentiel

INTERVIEW

**Le « 3<sup>e</sup> paquet énergie » proposé par la Commission européenne en septembre 2007, après ceux de 1996-1998 et de 2003, a pour ambition d'accélérer la construction du marché intérieur de l'énergie, conjuguant sécurité d'approvisionnement, compétitivité économique et lutte contre le changement climatique.**

**L'ouverture à la concurrence du marché français de l'électricité et du gaz au 1<sup>er</sup> juillet 2007 est une étape importante dans la construction de ce marché européen.**

**Quels sont aujourd'hui les enjeux de cette ouverture ? Comment sont régulés les marchés énergétiques dans les pays européens ? Comment sont fixés les tarifs de l'électricité et du gaz ? Ce secteur en pleine évolution suscite de nombreuses interrogations.**

**Entretien avec Philippe de Ladoucette, président de la Commission de régulation de l'énergie (CRE).**

***Pourquoi l'ouverture du marché de l'énergie aux particuliers ?  
Quel est l'état actuel de ce marché un an après son ouverture ?***

En France, l'ouverture des marchés du gaz et de l'électricité aux particuliers au 1<sup>er</sup> juillet 2007 fait suite à l'ouverture des marchés aux grands consommateurs industriels et aux grandes entreprises en 1999, puis à l'ensemble des consommateurs professionnels en 2004, y compris les professions libérales, les commerçants et les artisans.

Elle permet aujourd'hui à chaque consommateur français, où qu'il soit, de choisir n'importe quel fournisseur d'électricité ou de gaz opérationnel sur ce marché devenu concurrentiel. Néanmoins, l'apprentissage par le particulier de la concurrence en France est, et sera, très progressif. Plusieurs études ont montré que seuls 40 % des foyers français savent qu'ils peuvent désormais choisir



Pylône de lignes haute tension

© Travaux



leur fournisseur d'électricité. Il faut donc davantage de pédagogie sur l'ouverture à la concurrence. De ce fait, le marché de l'électricité et du gaz pour les particuliers s'ouvre lentement à la concurrence depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2007, alors que l'ouverture du marché des professionnels, depuis 2004, ralentit.

Concernant le bilan à proprement parler de l'ouverture de ces marchés, il est évident que les opérateurs en France ne sont pas tous sur un pied d'égalité. Le marché français de l'énergie reste en effet dominé par les fournisseurs historiques, EDF et GDF, qui peuvent proposer des tarifs réglementés, souvent inférieurs aux offres de marché.

Il est important de souligner que l'ouverture totale de ces marchés à la concurrence s'inscrit dans un projet plus large, celui de la construction d'un marché unique européen de l'énergie.

### **Quels sont les enjeux de la construction d'un marché européen unique de l'énergie ?**

L'objectif est de réaliser un marché européen qui conjugue sécurité d'approvisionnement, compétitivité et lutte contre le changement climatique, dans lequel les flux d'électricité et de gaz puissent s'effectuer sur l'ensemble du territoire européen et où tout consommateur final puisse opter librement pour le fournisseur européen de son choix. Plus largement, il s'agit d'unir 27 marchés libéralisés en un ensemble cohérent, une Europe de l'énergie capable de répondre aux nouvelles contraintes qui se font jour.

### **Qu'en est-il aujourd'hui de ce marché européen ?**

Au niveau européen, nous nous trouvons dans un système où 27 pays ont certes libéralisé leur marché national, mais nous n'avons pas encore atteint le degré de développement d'un marché unique. Il est certain aujourd'hui que nous pourrions bientôt prétendre à un marché européen de l'énergie en termes de marché de gros, qui ne concernera pas directement le consommateur individuel. Ce marché de gros est en train de se



© DF

Poste d'interconnexion  
Installations extérieures

construire, grâce notamment au développement des interconnexions, à leur optimisation et aux couplages des marchés nationaux. Un couplage est déjà réalisé depuis plus d'un an entre la France, la Belgique et les Pays-Bas. La prochaine étape en 2009 sera d'agglomérer à ce premier groupe l'Allemagne et le Luxembourg, qui envisagent eux-mêmes de se coupler avec le Nord de l'Europe. Restera à coupler par la suite la péninsule ibérique. Une fois ces couplages mis en œuvre, une très grande partie du



Canalisateurs de France

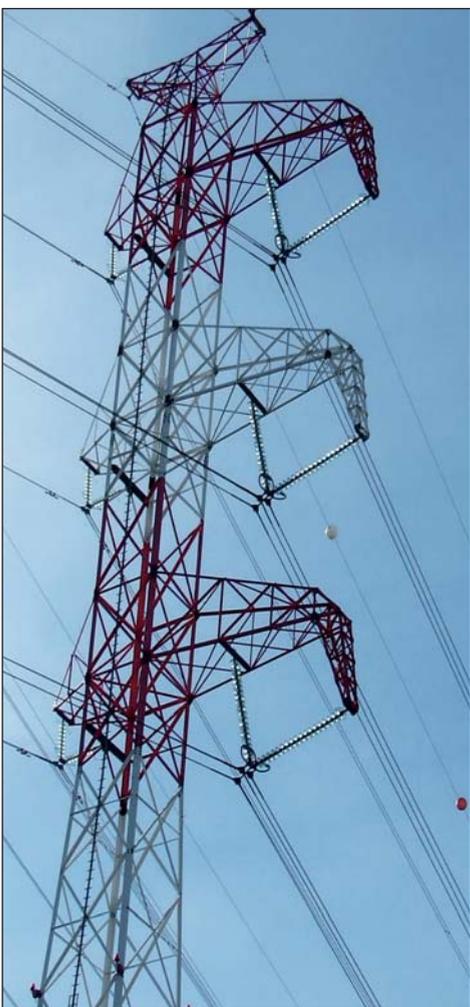
Enfouissement de gazoduc dans une tranchée  
afin de le protéger



© Olivier Sébart - Ademe



Parc éolien du Cap Corse



© DF

Pylône de lignes haute tension

ces dernières réside dans une régulation des marchés de l'électricité et du gaz à la fois forte, efficace et indépendante. Telle est l'ambition de la CRE, tant au plan national qu'europpéen.

**Comment la CRE intervient-elle dans la régulation de ces marchés énergétiques ?**

La CRE, autorité de régulation, est chargée du bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz. Son rôle premier consiste en la régulation de ces réseaux. Elle doit s'assurer, dans le cadre de l'ouverture de ces marchés, qu'il n'y a pas de distorsion aux règles de la concurrence pratiquées dans l'UE, afin que l'ensemble des opérateurs puissent avoir libre accès aux réseaux de transport et de distribution, en toute transparence, sans aucune entrave discriminatoire de quelque nature que ce soit.

RTE pour le transport et ERDF pour la distribution, sont des filiales du groupe EDF. Dans le secteur du gaz, TIGF, pour le transport dans le Sud-ouest, est une filiale du groupe Total, tandis que GRTgaz, pour le transport dans le reste de la France, et GrDF, pour la distribution, sont des filiales du groupe Gaz de France. Il s'agit donc d'entreprises verticalement intégrées, et à ce titre il est particulièrement important que les filiales de transport et de distribution fassent preuve d'une réelle indépendance. Ce à quoi la CRE veille attentivement.

C'est par ailleurs la CRE qui élabore les tarifs d'utilisation de ces différents réseaux. Ces tarifs s'appliquent aux fournisseurs et producteurs d'énergie qui utilisent les réseaux de transport de distribution d'électricité ou de gaz. Ils reflètent les investissements de développement, d'amélioration et de sécurisation des installations entrepris par les gestionnaires de réseaux. Pour le gaz, il s'agit de canalisations, pour l'électricité, des lignes de haute, moyenne et basse tension. Ces tarifs contribuent d'une part au droit d'accès aux tiers en permettant aux utilisateurs d'accéder à ces réseaux dans des conditions équitables, transparentes et non discriminatoires et, d'autre part, ils contribuent à l'autonomie comptable des gestionnaires de réseaux en

marché européen de gros aura été constituée, du moins sur la plaque continentale. Pour être précis, cette approche graduelle se réalise grâce aux initiatives régionales : 7 en électricité et 3 en gaz. Pour des raisons géographiques, la France participe à 4 initiatives en électricité et à 2 en gaz. Ces marchés régionaux sont des avancées concrètes vers la construction, à terme, d'un marché unique européen du gaz et de l'électricité.

**Quel est le cadre communautaire de la gestion des réseaux ?**

Plusieurs directives communautaires ont fixé le cadre de l'ouverture des marchés de l'électricité et du gaz, et ont donc remodelé le secteur de l'énergie. Ces directives obligent les États membres à effectuer un dégroupage juridique et comptable entre les activités régulées (les réseaux de transport et de distribution d'électricité et de gaz, monopoles naturels ne pouvant être mis en concurrence ni dupliqués), et celles en concurrence (la production et la fourniture).

L'Union européenne (UE) a fait le choix d'un marché libre et concurrentiel pour répondre aux défis énergétiques du XXI<sup>e</sup> siècle. La mise en œuvre de cette politique passe nécessairement par des phases de transition, qui peuvent susciter des interrogations. L'une des réponses à



leur fournissant une recette autonome et contrôlée.

L'année 2008 est une année particulièrement importante de ce point de vue, avec le renouvellement de l'ensemble de ces tarifs tant dans le gaz que dans l'électricité.

Enfin, la CRE a la responsabilité d'approuver les plans d'investissement des gestionnaires des réseaux de transport en gaz et en électricité.

**Quels sont les mécanismes introduits par la CRE incitant les gestionnaires de réseaux à améliorer leur efficacité ?**

L'ouverture des marchés de l'électricité et du gaz menée depuis une dizaine d'années dans l'UE nécessite la construction, sur le long terme, d'une nouvelle architecture et de nouveaux modes de régulation.

Le passage à la régulation incitative, déjà mise en place par certains régulateurs européens, est une étape incontournable de ce processus. Elle repose sur un principe : les gestionnaires de réseaux et d'infrastructures améliorent d'autant mieux leur productivité qu'ils en retirent un bénéfice. Le mécanisme est le suivant : le régulateur fixe des objectifs de performance à atteindre ainsi qu'un tarif pour plusieurs années afin de permettre à l'opérateur d'atteindre ces objectifs. Si la productivité réalisée est supérieure aux objectifs fixés, l'opérateur conserve tout ou partie du bénéfice pour optimiser le service rendu.

En donnant une visibilité accrue aux gestionnaires de réseaux et en les encourageant à offrir aux consommateurs



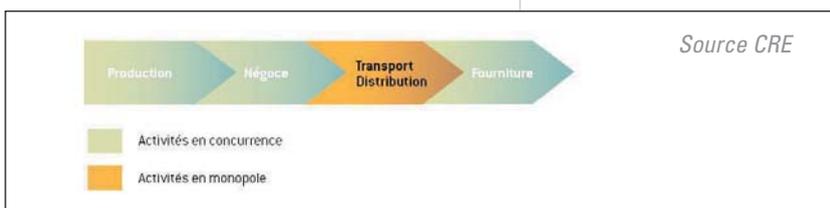
© GDF Suez - Pierre-François Grosjean

**Extension du réseau de distribution de gaz à Lège-Cap Ferret (33)  
Préparation du tirage du PE 63**

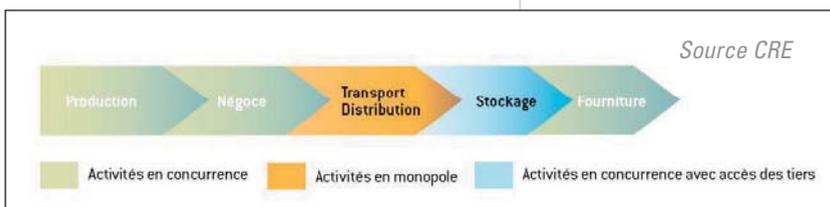
le service le plus performant au meilleur prix, la CRE contribue à faire converger les intérêts des opérateurs avec ceux des utilisateurs de réseaux.

**Pourquoi un nouveau tarif d'utilisation des réseaux de distribution de gaz ?**

Avec le nouveau tarif d'utilisation des réseaux de distribution de gaz qui vient d'entrer en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2008, en hausse de 5,6 % par rapport au précédent tarif, la CRE enclenche le renouvellement de l'ensemble des tarifs d'utilisation des réseaux de gaz et d'électricité. En fixant pour 4 ans ce nouveau tarif, la CRE s'est assurée de sa conformité avec les investissements entrepris par le gestionnaire de réseau de distribution de gaz GrDF.



**La chaîne de valeur commerciale de l'électricité**



**La chaîne de valeur commerciale du gaz**



La CRE vérifie la légitimité des augmentations tarifaires demandées par les gestionnaires de réseaux au regard des coûts effectivement engagés, dans la mesure où ils correspondent à ceux d'un gestionnaire de réseaux efficace, comme l'exige les règles européennes. C'est pourquoi elle a proposé une hausse du tarif d'utilisation des réseaux de distribution de gaz limitée à 5,6 % alors que GrDF demandait 11,7 %.

***Nous avons récemment enregistré en France des accidents dramatiques d'explosion de conduites de gaz liés notamment à la méconnaissance de la situation de certains réseaux enterrés. Quelle est votre latitude d'action par rapport à ce constat ?***

Les tarifs d'utilisation des réseaux de distribution, proposés par la CRE, couvrent l'ensemble des coûts d'investissement des opérateurs de réseaux, ainsi que les coûts liés à la sécurité. Mais le suivi des aspects liés à la sécurité physique des réseaux est du ressort de la Direction de l'Énergie du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, qui travaille actuellement avec les opérateurs de réseaux pour renforcer les actions dans ce sens.

**Plate-forme de forage (L10-A)  
en mer du Nord**



© GDF Suez - Mpa Corporate - Dominique Charriau

***Dans un paysage législatif et concurrentiel devenu complexe, quelles sont les mesures de simplification pour les consommateurs du dispositif de souscription contractuelle ?***

Dans le souci de faciliter l'ouverture à la concurrence, le législateur a souhaité simplifier le dispositif de souscription des contrats pour les consommateurs. A ainsi été mis en place le « contrat unique » : il dispense le consommateur qui souhaite souscrire une offre de marché de conclure directement un contrat d'accès au réseau de distribution, parallèlement à son contrat de fourniture. Le contrat unique lui donne la possibilité de ne conclure qu'un seul contrat, portant à la fois sur la fourniture et la distribution d'électricité ou de gaz naturel.

Afin de pouvoir proposer ce contrat unique, les fournisseurs doivent avoir conclu avec le gestionnaire du réseau public de distribution un contrat permettant l'acheminement effectif de l'énergie.

***Quelles sont les principales mesures proposées par la Commission européenne dans le « 3<sup>e</sup> paquet énergie » ?***

Elles concernent trois points importants :

- l'amélioration du fonctionnement des réseaux de transport en Europe, tant en électricité qu'en gaz ;
- l'harmonisation et le renforcement des pouvoirs des régulateurs nationaux, tant sur le plan de leurs compétences que sur celui de leur indépendance ;
- la mise en place d'une agence de coopération des régulateurs de l'énergie.

Ces mesures, une fois adoptées, contribueront à accélérer le processus de construction du marché européen de l'énergie.

***S'agissant de la sécurité d'approvisionnement du réseau européen, qu'en est-il de la coopération entre les gestionnaires de réseaux de transport européens, et de la création d'une Agence de coopération des régulateurs de l'énergie (ACER) ?***

C'est un débat un peu technique. Pour faire simple, le « 3<sup>e</sup> paquet énergie » discuté à Bruxelles vise à permettre que tous les gestionnaires de réseaux puissent coordonner efficacement leurs



© Philippe Martelly - Ademe

Usine de distillation de biocarburant

efforts pour que les flux d'énergie s'effectuent sans problème à travers l'Europe.

A côté de cette instance de coopération, le 3<sup>e</sup> paquet vise à instaurer également une agence de coopération des régulateurs de l'énergie (ACER). Cette agence regrouperait l'ensemble des régulateurs de chaque État membre et permettrait de dessiner les contours d'une régulation plus européenne. Concrètement, cette agence serait compétente pour résoudre les problèmes des échanges transfrontaliers qui doivent être fluidifiés et optimisés si l'on veut construire un vrai marché unique.

### **Votre vision du marché européen de l'énergie ?**

La situation du marché énergétique dans laquelle a été créée la CRE en 2000 a totalement évolué depuis. À l'époque, c'était l'offre qui conditionnait la politique énergétique. Aujourd'hui, le prix du baril « flambe » et c'est la demande qui commande. Néanmoins l'action de tout régulateur, dans quelque pays européen que ce soit, s'inscrit dans la durée, celle de la construction du marché unique.

Le prix des matières premières en général et des combustibles fossiles en

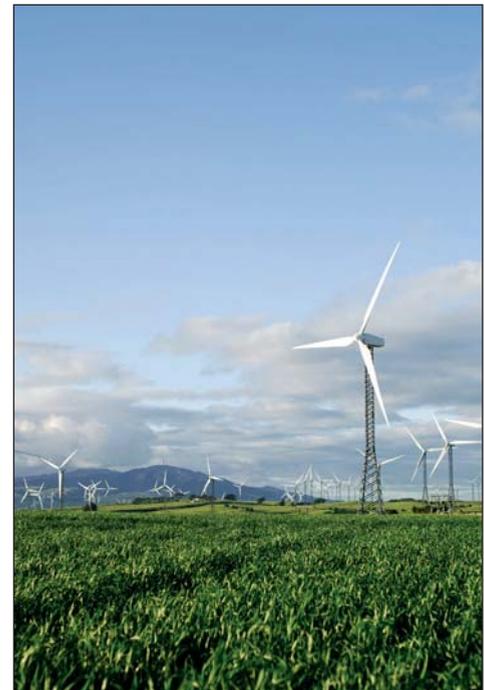
particulier rend particulièrement sensible les différences de mix énergétique entre pays européens. De ce point de vue, deux grandes questions se posent pour les années futures : la part de la production des énergies renouvelables, et le rôle du nucléaire.

Les ambitions reflétées par le paquet Énergie-climat actuellement en cours de discussion, laissent présager une convergence dans le mix énergétique de chaque pays européen dans le secteur du renouvelable.

Quant à la question du nucléaire, plusieurs pays qui en avaient abandonné le développement s'y intéressent à nouveau.

L'évolution de ces deux facteurs jouera certainement un rôle important dans le développement et la perception par le consommateur, du marché européen unique de l'énergie qui est, comme l'a souligné Claude Mandil dans son rapport remis au Premier Ministre sur la Sécurité énergétique, « l'outil essentiel de la solidarité à l'intérieur de l'Union ».

*Propos recueillis par Mona Mottot*



© DR

© DR



## L'Union européenne en matière



© DR



© Travaux

L'une des priorités de la présidence française de l'Union européenne (UE) qui a débuté le 1<sup>er</sup> juillet 2008 est le « paquet Énergie-Climat » auquel les chefs d'État et de gouvernement de l'UE apportent un large soutien.

Il s'agit d'un plan d'action visant à mettre en place une politique commune de l'énergie et à lutter contre le changement climatique. Les principaux enjeux sont la réduction de 20 % d'ici 2020 des gaz à effet de serre, la question des énergies renouvelables et la révision des systèmes d'allocation des quotas d'émissions.

Le point avec les experts Environnement et Énergie de la Commission européenne.

# est la référence mondiale d'environnement

■ **Lors du Conseil européen de mars 2007, les Chefs d'État se sont engagés à faire respecter des mesures concrètes concernant le plan Énergie - Climat. Pouvez-vous nous en rappeler les principaux objectifs ?**

La Commission a présenté le 10 janvier 2007 une Communication proposant une feuille de route pour l'horizon 2020 et au-delà, dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Afin de limiter la hausse des températures de la planète à 2 °C par rapport aux niveaux de l'ère préindustrielle, la Commission proposait en particulier que, dans le cadre d'un accord international à venir, le groupe des pays développés réduise, d'ici 2020, ses émissions de gaz à effet de serre, de 30 % par rapport à leurs niveaux de 1990. En même temps, l'Union européenne s'engageait de façon unilatérale à réduire ses émissions d'au moins 20 % d'ici 2020, réduction qui serait portée à 30 % lorsqu'un accord international satisfaisant aura été conclu.

Les propositions de la Commission ont été examinées et confirmées par le Conseil européen des 9 et 10 mars 2007, lequel a demandé à la Commission de développer une série de mesures permettant de les réaliser. Le 23 janvier 2008 la Commission a mis sur la table une série de propositions sous le titre de « paquet Énergie-Climat », qui inclut une proposition de directive sur les sources d'énergies renouvelables, traduisant de façon opérationnelle ces objectifs politiques.

Cette proposition de directive vise à établir des objectifs nationaux en matière d'énergies renouvelables, qui se conjugueront pour atteindre un objectif global contraignant de 20 % de sources d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie en 2020, et un objectif contraignant minimum de 10 % de

biocarburants dans les transports, à réaliser par chaque État membre. Ce dernier objectif est fortement contesté, notamment en raison du bilan environnemental des filières de production des biocarburants : il faut tenir compte de l'énergie investie pour la production des engrais, du carburant utilisé par les engins agricoles pour la culture et la récolte, aux transports des produits obtenus, et enfin à la consommation énergétique au niveau de toutes les étapes du processus de fabrication du carburant.

Le Conseil européen a revu le paquet le 14 mars 2008. Ceci constitue un bon point de départ et une base pour un accord politique. Un accord entre le Conseil des Ministres et le Parlement européen sur le paquet devrait être atteint d'ici la fin de l'année.

■ **Le train de mesures arrêté comprend plusieurs propositions. Quelles sont-elles au regard de leur implication pour le secteur de la construction ?**

Le paquet Énergie-Climat se compose de plusieurs parties formant un ensemble intégré de mesures pour atteindre ses objectifs.

Tout d'abord, la Commission a préparé une proposition de révision du système communautaire d'échange de quotas d'émissions (SCEQE). Ce système soumet depuis 2005 les grands producteurs d'électricité et certaines industries à des quotas d'émissions tout en permettant leur échange entre opérateurs. La révision de la directive prévoit l'amélioration de son fonctionnement notamment en harmonisant sa mise en œuvre dans les différents États membres. L'objectif de réduction dans la proposition de la Commission pour le SCEQE est de 21 % en 2020 par rapport à 2005, ou

## L'UNION EUROPÉENNE EST LA RÉFÉRENCE MONDIALE EN MATIÈRE D'ENVIRONNEMENT

une réduction chaque année de 1,74 % par an pendant la période 2013-2020.

Si le secteur de la construction n'est pas directement concerné par cette directive SCEQE, il y aura cependant des effets indirects importants à travers les impacts sur le prix des produits pétroliers, des matières premières et des matériaux utilisés.

Le paquet Énergie-Climat comprend également une proposition pour la répartition des efforts de réduction d'émissions entre les États membres dans les secteurs non soumis au SCEQE, comme les secteurs de la construction, du transport, de l'agriculture et des déchets. La proposition détermine que les émissions dans ces secteurs doivent être réduites de 10 % par rapport à 2005. Ainsi les États membres avec leurs limites d'émissions individuelles devront développer et mettre en œuvre des politiques et mesures appropriées. Des réductions importantes de consommation d'énergie et par conséquent d'émissions pourront ainsi être réalisées, grâce à des mesures communautaires comme la directive sur la performance énergétique des bâtiments ou celle sur l'écoconception des produits consommateurs d'énergie.

Par ailleurs, l'article 12 de la proposition de directive sur les énergies renouvelables concerne directement le secteur de la construction. Il stipule que, dans leurs réglementations ou leurs codes en matière de construction, les États membres imposent l'application de niveaux minimums d'énergie provenant de sources renouvelables dans les bâtiments neufs ou rénovés (sauf dérogation justifiée). L'information des consommateurs et des acteurs du secteur de la construction, et la formation des professionnels du secteur en matière d'utilisation de sources d'énergie renouvelables est également visée par la proposition de directive.

Le secteur de la construction joue un rôle important dans la réalisation des objectifs stratégiques en matière d'énergie et de climat. Il est responsable pour une partie importante de la consommation finale d'énergie (environ

40 %) et des émissions de CO<sub>2</sub> (environ 36 %) de l'Union européenne. Le secteur bénéficiera de façon importante du paquet puisque les objectifs de réductions par État membres peuvent mener à des investissements additionnels dans l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments. Le secteur de la construction contribue d'une façon significative à la valeur ajoutée et à l'emploi dans l'Union européenne, et le paquet avec ses objectifs comporte une nouvelle opportunité pour cette branche.

### ■ Quelles sont les mesures incitatives pour développer les infrastructures pour énergies renouvelables ainsi que celles en faveur des réseaux d'électricité issue de ces énergies ?

Parmi ces mesures, il y a l'exigence de renforcer le réseau d'électricité, d'établir une priorité pour les énergies renouvelables, et de passer en revue le système de la tarification. Ces mesures, en combinaison avec nos politiques de réseaux transeuropéens, permettront à nos réseaux d'énergie de se développer d'une manière claire afin d'augmenter le rôle des énergies renouvelables en Europe.

### ■ On entend beaucoup parler de piégeage et de stockage du carbone. Quelles sont les techniques les plus efficaces mises au point dans ce domaine, et dans quel cadre juridique seront-elles appliquées ?

Plusieurs techniques ont été mises au point pour le captage et le stockage géologique du dioxyde de carbone. Pour les centrales thermoélectriques brûlant des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon), trois techniques de captage du CO<sub>2</sub> sont proposées :

- le captage post-combustion du CO<sub>2</sub>, qui vient après la combustion et le traitement des gaz de combustion de la centrale ;
- le captage pré-combustion du CO<sub>2</sub>, qui suppose

que l'on sépare le CO<sub>2</sub> du flux gazeux produit lors de la gazéification du charbon, donc avant la combustion dans la turbine à gaz de la centrale ;

- le captage par oxy-combustion, qui suppose que l'on sépare au préalable l'oxygène de l'azote présent dans l'air et que l'on réalise la combustion dans la centrale avec un flux d'oxygène et de CO<sub>2</sub> recyclé.

Le transport du CO<sub>2</sub> pourra se faire par des gazoducs - ou le cas échéant par bateau - comme c'est déjà le cas pour le gaz naturel.

Pour ce qui est du stockage permanent du CO<sub>2</sub>, il peut être réalisé dans diverses formations géologiques profondes (au-delà de 800 à 1 000 mètres de profondeur, à savoir :

- des réservoirs d'hydrocarbures épuisés ou en fin de cycle (ceux qui ont fait la preuve de leur capacité de confinement à long terme) ;
- dans des aquifères salins profonds de morphologie appropriée (les eaux contenues dans ces aquifères étant trop salées pour pouvoir être utilisées comme eau potable ou pour l'agriculture) ;
- ou encore dans des gisements extrêmement profonds de charbon, qu'il n'est pas pensable d'exploiter selon les techniques minières conventionnelles.

La plupart de ces techniques de captage et de stockage du CO<sub>2</sub> ont déjà été utilisées par l'industrie, mais séparément ou à petite échelle. Il est maintenant prévu que ces techniques fassent l'objet de démonstrations à grande échelle (sur des centrales de 300 MW ou plus) et testant la chaîne complète des technologies (cas du site pilote de Lacq - voir page suivante).

Pour ce qui est du cadre juridique, la Commission a soumis dans le paquet « Énergie-Climat » de janvier 2008 une proposition de directive sur le stockage géologique du dioxyde de carbone. Le CO<sub>2</sub> capté, transporté et stocké ne sera pas considéré comme émis dans l'atmosphère. L'adoption (envisagée pour le début de 2009) de la directive par le législateur européen ouvrira la voie à une transposition rapide de ce texte dans les législations des États membres et apportera la sécurité juridique pour les projets de captage et stockage de CO<sub>2</sub> prévus.

## ■ A quelle date ce train de mesures devra-t-il entrer en vigueur ? Quelles en sont les retombées attendues et à quelle échéance ?

Dans ses conclusions, le Conseil européen de juin 2008 se félicite des progrès réalisés jusqu'à présent, réitère son souhait de coopérer avec le Parlement afin de parvenir à un accord politique d'ici la fin de l'année, sous Présidence française, et rappelle l'importance pour l'UE de conserver son leadership international et sa crédibilité.

À partir de son adoption, la directive sur les énergies renouvelables entrera en vigueur et les États membres disposeront d'une année afin de la transposer dans leur loi nationale. D'ici la fin 2010, chaque État membre devra avoir proposé un plan d'action national pour la mise en place de mesures visant à augmenter le niveau des énergies renouvelables afin d'atteindre l'objectif national prévu pour 2020.

Il est clair qu'un accord au sein du Parlement et du Conseil sur la mise en œuvre du paquet Énergie-Climat augmentera fortement les chances d'aboutir à un accord international satisfaisant. Avec ce paquet, l'UE peut démontrer au reste du monde que des réductions considérables des émissions de gaz à effet de serre peuvent aller de pair avec une croissance économique forte.

Panneaux photovoltaïques



### Stockage géologique du CO<sub>2</sub>

**Le stockage du CO<sub>2</sub> est un moyen de lutter contre le changement climatique.**

**Il répond à des enjeux techniques et réglementaires.**

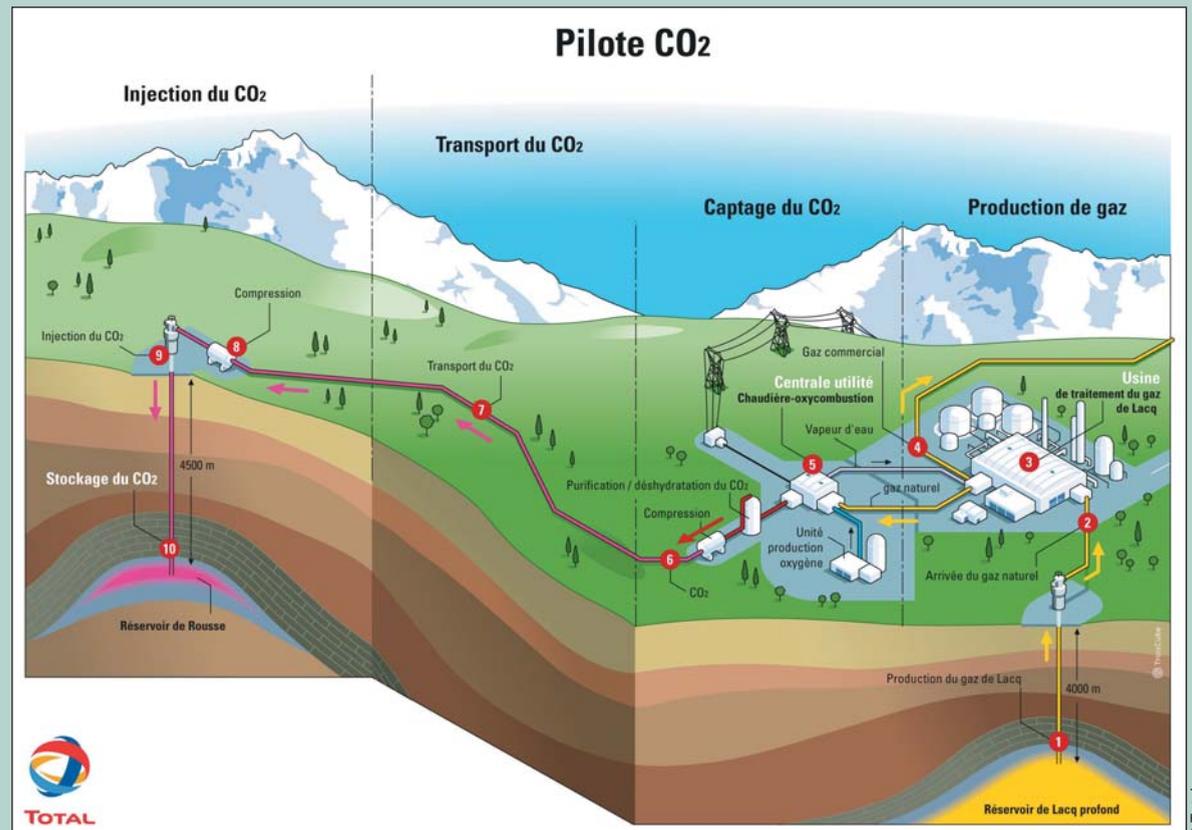
**Sa fiabilité et son innocuité sur le long terme vis-à-vis de l'environnement local doivent être démontrées.**

Trois solutions de stockage sont envisagées pour assurer le confinement du CO<sub>2</sub> sur le long terme :

- les anciens réservoirs d'hydrocarbures liquides ou gazeux,
- les aquifères salins profonds,
- les veines de charbon non exploitées.

#### Un pilote de démonstration à Lacq<sup>1</sup>

Pour la première fois, un programme va tester en France la chaîne complète du processus de captage et stockage du CO<sub>2</sub>, depuis l'installation émettrice de CO<sub>2</sub> (la chaudière à combustion du gaz naturel de Lacq), jusqu'au stockage souterrain.



Il s'agit de convertir en oxy-combustion l'une des cinq chaudières de vapeur existantes de la centrale du site de Lacq, de capturer et de comprimer les émissions de CO<sub>2</sub>, pour ensuite les transporter par gazoduc, sur 27 km, et les injecter dans un réservoir en fin de vie du gisement de gaz de Rouse, à une profondeur de 4 500 m.

Le pilote, qui produira environ 40 tonnes par heure de vapeur utilisée par les industries du site, émettra jusqu'à 150 000 tonnes de CO<sub>2</sub> sur deux ans qui seront captées et stockées. Le site du puits de Rouse fera l'objet d'une surveillance particulière, avec des capteurs répartis à la surface et en fond de puits pour mesurer l'injection, la pression, la température et la concentration de CO<sub>2</sub>.

Ce pilote, qui devrait démarrer à la fin 2008, après deux ans d'études et de préparation, vise trois objectifs principaux :

- améliorer la maîtrise de la filière oxy-combustion, notamment en vue de son utilisation pour la production des huiles extra-lourdes ;
- réduire de 50 % le coût de captage par rapport aux procédés existants ;
- développer une méthodologie et des outils de surveillance, afin de démontrer à plus large échelle, la fiabilité et la pérennité du stockage à long terme du CO<sub>2</sub>.

1 - Ce projet mené par Total, rassemble les autorités publiques et les experts français parmi les plus éminents du BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), de l'IFP (Institut français du pétrole), du CNRS Centre national de la recherche scientifique)... et non directement engagés dans le projet.

Source Total

## Éclairage public et développement durable

**Aux collectivités locales, soucieuses d'un environnement protégé et d'un cadre de vie agréable, ETDE propose des actions concrètes pour répondre à leurs enjeux de développement durable : minimiser les nuisances sonores et environnementales pour les riverains, maîtriser et économiser l'énergie et intégrer les activités à la vie locale.**

**Trois exemples concrets illustrent ces actions : le contrat de gestion globale d'éclairage public à Lille – qui allie innovation technique et économie d'énergie –, le développement des ampoules à LEDs, et l'usage de véhicules propres pour les interventions de maintenance d'éclairage public dans les villes. Trois occasions pour l'entreprise d'associer innovation technique et développement durable.**

### ■ Lille : un contrat de gestion global

En 2004, ETDE a remporté la gestion globale de l'éclairage public de la ville de Lille et de ses communes associées, Hellemmes et Lomme. Ce contrat de 35,2 millions d'euros TTC sur une durée de 8 ans porte sur la gestion de l'énergie, l'exploitation et la maintenance de 22 500 points lumineux, ainsi que la reconstruction du patrimoine vétuste et obsolète en fin de contrat.

Des solutions innovantes répondant aux exigences de la capitale du Nord-Pas-de-Calais en termes de développement durable ont été mises en œuvre, comme la réduction de la consommation d'électricité, l'utilisation d'énergies renouvelables, la suppression de la pollution lumineuse, le remplacement du matériel vétuste par des équipements plus économes en énergie et recyclables.

Outre la diminution de la consommation, ces actions ont permis à Lille de dépasser les préconisations des accords de Kyoto, fixant le seuil d'énergie renouvelable à 21 % pour 2010. En effet, en partenariat avec Électricité de France, ETDE s'est engagée à fournir 25,7 % d'énergie renouvelable au début du marché. Le taux est passé à 30 % à partir du 1<sup>er</sup> octobre 2007.

### Amélioration de la qualité de vie

Les habitants de l'agglomération lilloise peuvent aujourd'hui bénéficier de meilleures conditions d'éclairage grâce à la suppression des sur-éclairagements (mise en place de réducteurs de puissance et de ballasts électroniques...) et à la suppression de la pollution lumineuse par le remplacement des « lampadaires-boules »

(80 % des boules, qui éclairent davantage le ciel que les trottoirs, ont été remplacées par de nouveaux luminaires performants). Les matériaux (lampes, appareils, mâts, consoles...) ont été retraités.

Une lumière de qualité pour tous passe par un traitement égalitaire des quartiers, un programme de reconstruction et une synchronisation des allumages-extinctions sur tout le territoire.

Un bon éclairage apporte la sécurité, améliore la qualité de la vie, mais il doit aussi pouvoir fournir une quantité de lumière adaptée aux besoins et un bon rendu des couleurs, avec une utilisation minimale des ressources. Pour économiser l'énergie, il faut éclairer intelligemment.



Photos 1 et 2

ETDE réalise la gestion globale de l'éclairage public de Lille. (Au-dessus) 80 % des mâts-boules ont été remplacés par des luminaires plus performants  
*ETDE performs overall management of the Lille public lighting system.*  
(Above) 80 % of the pole-mounted lighting bowls have been replaced with more efficient lighting fixtures

Spécialiste en France dans le domaine de la gestion globale de l'éclairage public, ETDE intervient aujourd'hui pour le compte de plus de 50 villes en France (Lille, Nîmes, Dijon, Fougères, Sevran, Libourne, Contres...) et à l'international (Londres, Libreville...), pour des contrats d'une durée de 8 à 30 ans et sur des prestations larges allant de la fourniture de l'énergie à la maintenance des équipements et aux services associés (astreintes 24 heures sur 24, télémaintenance de réseaux à distance, interventions d'urgence ou de dépannage...).

Éclairage public et développement durable

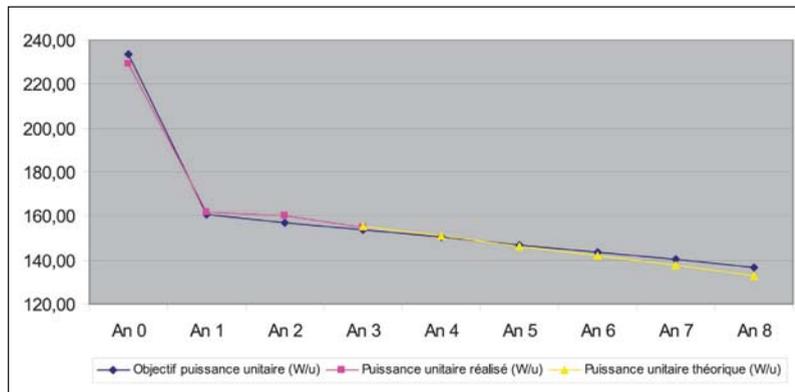


Figure 1

Optimisation des durées annuelles de fonctionnement  
Optimisation of annual periods of operation

TECHNOLOGIE		RENDEMENT lm/W Flux lumineux / Puissance consommée	TEMPERATURE DE COULEUR	RENDU DES COULEURS	DUREE DE VIE économique
LED blanche		90	Froide > 5 000 K	75	60 000 h
LAMPES A DECHARGES Éclairage public	SHP	110	Jaune orange 2 000 K	25	16 000 h
	Iodures métalliques	90	Chaud 3 000 K Neutre 4 200 K	85	6 000 h
	Cosmo	120	Neutre 3 800K	70	8 000 h
LAMPES grand public	Tube Fluo T5	90	Chaud 3 000 K à Froid 6 500 K	85	20 000 h
	Halogène	20	Chaud 3 000 K	100	2 000 h
	Incandescente et tungstène	20	Chaud 2 500 K	100	800 h

Tableau I

Comparatif des technologies de lampes  
Comparison of lamp technologies

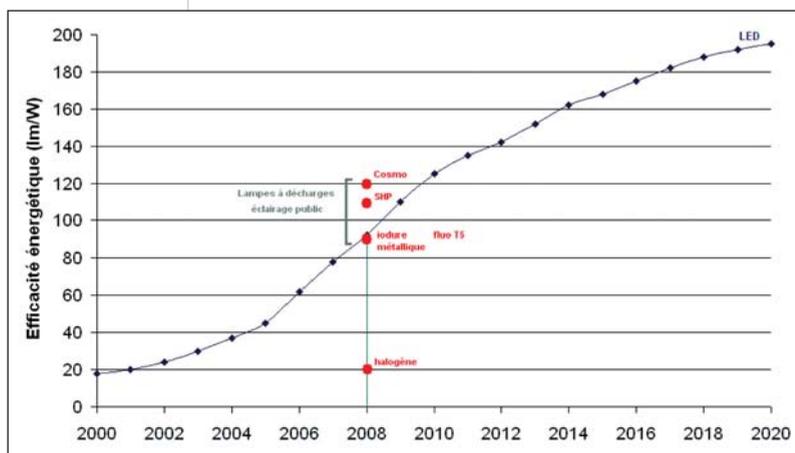


Figure 2

Extrapolation de l'efficacité des LEDs  
LED efficiency extrapolation



Des « villes-lumières »  
pour un éclairage durable

Éclairer mieux en économisant plus : c'est le mot d'ordre de nombreuses municipalités qui ont opté pour une rénovation de leur éclairage public. Une manière de lutter contre la pollution lumineuse, mais aussi de réaliser de conséquentes économies d'énergie. À Lille, la quasi-suppression des « lampes-boules », fortes consommatrices en énergie, permet d'économiser à la collectivité plus de 1,3 million d'euros par an. Les fonds sont ensuite réinvestis dans le remplacement du parc.

Préserver la qualité des ambiances  
urbaines nocturnes, en économisant  
l'énergie

Deux approches se distinguent pour parvenir à un éclairage optimisé : la modernisation des installations et la baisse du niveau d'éclairage. Dépollution lumineuse, diminution des consommations, recyclage des matériels... De plus en plus de collectivités locales inscrivent les économies d'énergie dans les orientations de leurs politiques d'aménagement lumière. Aujourd'hui, il ne s'agit plus de multiplier les points lumineux, mais de les équilibrer de façon pertinente. Le remplacement des sources lumineuses, l'abaissement des hauteurs de feux, le rabattement des flux lumineux vers le sol limitent les déperditions et diminuent les puissances installées.

L'innovation technique pour une  
meilleure gestion de l'énergie

L'économie énergétique passe par la suppression des sur-éclairages (>30 lux), la suppression de la pollution lumineuse (boules), l'utilisation de luminaires haute performance (reconstruction) et de lampes basse consommation (relamping), des réducteurs de puissance ou ballasts électroniques. De plus, une optimisation des durées annuelles de fonctionnement a été trouvée : 4 300 heures en 2004, 4 100 heures en 2007 (figure 1).

L'agglomération lilloise a pu bénéficier de la veille technologique de l'entreprise ETDE : mise en place de réducteurs de puissance sur les 150 W, installation de ballasts électroniques en 250 W, essai de nouveaux luminaires haute performance apparus sur le marché depuis la signature du contrat, installation de lampes de nouvelle génération (Cosmowhite) et essai de luminaires à LEDs.

Les avancées techniques permettent également à l'entreprise d'offrir à ses clients un ensemble de services :

suivre les consommations en temps réel par Internet, meilleure prévention des pannes, expérimentation de télégestion à l'armoire ou au luminaire, information sur l'avancement des réparations en temps réel, une communication « partagée » ville-entreprise-citoyen.

## ■ Les LEDs en éclairage public

L'exemple lillois le démontre : la consommation d'énergie est au cœur des opérations d'éclairage public. L'objectif est de lutter contre le « sur-éclairage », cause de gaspillage énergétique, et le « sous-éclairage », risque d'insécurité.

Le développement des LEDs au cours de ces dernières années a rapidement fait apparaître l'intérêt qu'elles représentent pour l'éclairage, propre à leur durée de vie et à leur rendement énergétique.

La technologie des LEDs est très différente des sources incandescentes et des lampes à décharges classiques. Elles ont des caractéristiques qui leur sont propres, aussi bien au niveau photométrique qu'électrique. C'est pourquoi la problématique propre à l'éclairage public présente encore quelques difficultés techniques pour les fabricants :

- éclairer suffisamment et de manière uniforme une grande surface au sol;
- émettre une lumière blanche de bonne qualité (couleur chaude et bon rendu des couleurs);
- rester fiable face aux variations de la température extérieure.

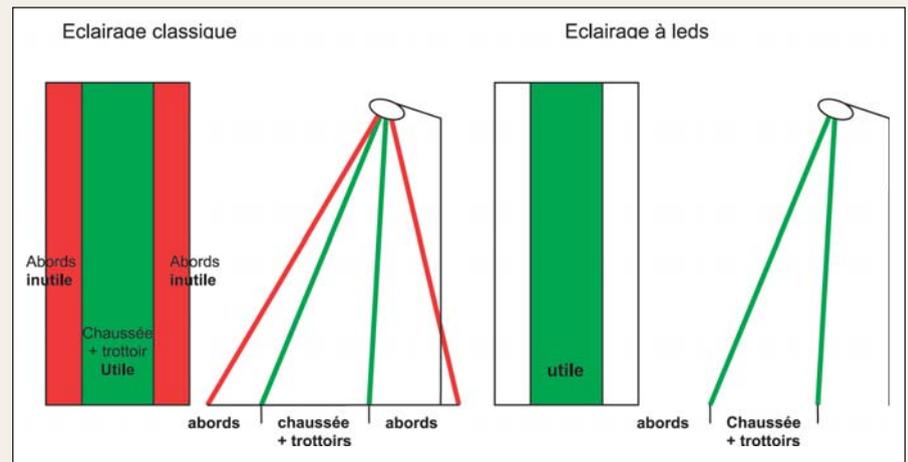
Les LEDs commerciales « dernière génération » viennent d'atteindre un rendement énergétique de 90 lm/W, ce qui n'est pas encore à la hauteur des meilleures lampes à décharges, supérieures à 120 lm/W. Leurs performances augmentent cependant très rapidement, et l'on peut s'attendre à ce qu'elles dépassent dans les prochaines années toutes les autres technologies. C'est certainement le temps qu'il faudra par ailleurs aux industriels pour intégrer cette technologie aux luminaires d'éclairage public, tout en présentant une bonne rentabilité économique (tableau I et figures 2 et 3).

## LEDs : les premières applications

Pour répondre aux besoins et aux demandes de ses clients, ETDE a déjà mis en œuvre des LEDs, notamment à Issy-les-Moulineaux, où elle a installé un candélabre Windela à énergies renouvelables (éolien et cellule photovoltaïque), premier candélabre autonome en énergie.

Le luminaire à LEDs est alimenté par des batteries

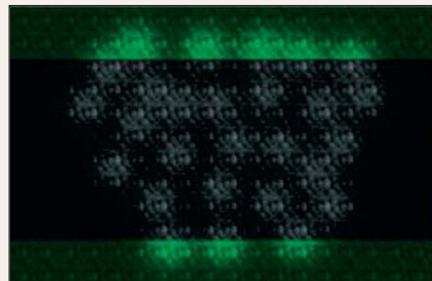
### La forte directivité des LEDs, un avantage et un inconvénient



Éclairer uniquement la surface utile.

Potentiellement, une diminution de l'énergie utilisée ainsi qu'une baisse des nuisances aux habitations.

### Trop de directivité



Difficulté d'éclairer uniformément.

La faible puissance des LEDs implique d'en utiliser un grand nombre pour obtenir un éclairage équivalent à une lampe classique. Leur grande directivité pose des problèmes pour l'uniformité de l'éclairage au sol.

Les LEDs d'un même luminaire résistent plus ou moins bien au temps. Cette « inhomogénéité » risque d'accentuer les inégalités dans l'éclairage.

Figure 3



Éclairage public et développement durable



Photo 4

Illuminations de Saint-Lô en période de Noël  
*The lights of Saint-Lô at Christmas time*

Figure 4

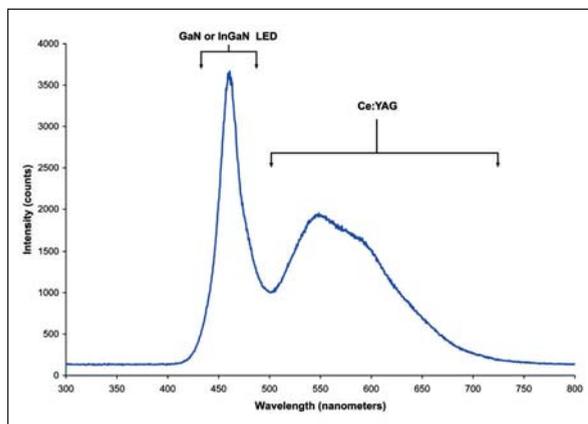


Tableau II

Les lm/W (lumen/Watt) mesurent l'efficacité lumineuse  
*Lumen/watts (lm/w) are a measure of lighting efficiency*

CGT	CRI	70-79	80-89	90+
2600-3500 K		23-43 lm/W		25 lm/W
3500-5000 K		36-73 lm/W	36-54 lm/W	
> 5000 K		54-87 lm/W	38 lm/W	



Photo 3

Candélabre autonome Windela  
*Windela autonomous lighting column*



reliées à un panneau photovoltaïque placé sur le luminaire et à une éolienne en haut du mât (photo 3). Cette opération a été menée par Gallet Delage, filiale d'ETDE à Créteil. L'intérêt pour les LEDs réside à long terme dans leurs consommations et leurs durées de vie.

Dans la Manche, pour les illuminations de Noël à Saint-Lô, en décembre 2007, ETDE a réalisé un projet « 100 % LEDs », réduisant la consommation d'énergie de la commune de 40 % (photo 4).

Si les LEDs ne fonctionnent pas encore pour l'éclairage routier, elles peuvent être désormais utilisées dans le cadre :

- d'éclairage architectural ;
- d'illuminations festives ;
- de signalisation ;
- d'éclairage piétonnier et résidentiel.

**Efficacité énergétique et températures de couleurs**

Les deux paramètres à considérer sont la température de couleur et l'indice de rendu des couleurs. Ces deux paramètres sont tous deux directement et entièrement fonction du spectre de sortie. Il y a deux moyens pour obtenir de la lumière blanche. Soit en utilisant une LED bleue sur laquelle on superpose une couche de phosphore, soit en utilisant trois LEDs RGB.

La méthode RGB, bien que très utilisée en éclairage architectural ou festif, en raison de sa grande flexibilité et évolutivité, n'est pas du tout employée en éclairage urbain général. Cela est dû au fait que le spectre de sortie, constitué de trois longueurs d'ondes uniquement, a un très mauvais IRC.

Par ailleurs, chacune des trois LEDs est différente et possède son comportement propre face aux variations de courant, de température et au vieillissement (figure 4). Les LEDs blanches au phosphore ont quant à elles un spectre continu et donc un rendu des couleurs bien meilleur. C'est ce type de LEDs qui est développé dans le cadre de l'éclairage public. Il est plus facile d'obtenir des produits performants avec des températures de couleurs élevées (> 5 000 Kelvin), blanc froid, qu'avec des températures de couleur basses, blanc chaud (tableau II).

Les températures de couleur basses, correspondant au blanc chaud, étant plus appropriées à l'éclairage urbain que les couleurs froides, ceci constitue aussi un axe de développement pour les industriels et les laboratoires.

### ■ Opérations de maintenance : adaptation des véhicules pour limiter les nuisances

Dans le cadre des contrats d'entretien d'éclairage public, les véhicules à moteur électrique, non polluants et silencieux, remplacent progressivement les véhicules à moteur thermique.

En effet, pour limiter son empreinte carbone dans les villes où elle travaille, ETDE développe l'utilisation de véhicules propres :

- le camion-nacelle « écologique » dans le cadre des contrats de maintenance d'éclairage public ;
- le véhicule 100 % électrique, pour les « tournées de nuit ».

#### Le camion nacelle « écologique »

Ce véhicule est équipé d'un Pack Environnement qui concerne les batteries, le convertisseur de tension (remplaçant le groupe électrogène bruyant et polluant), les bacs de tri et le système d'accrochage sur panier. La nacelle électrique est propre et silencieuse, ce qui facilite les interventions de nuit (photos 5 et 6). Ce camion « écologique » est doté de plusieurs options.

#### Le tri sélectif

À l'arrière du camion nacelle, des bacs de déchets amovibles permettent aux collaborateurs de trier directement les lampes qu'ils changent pendant les



Photos 5 et 6

Maintenance propre de l'éclairage public : moins de bruit, moins de pollution en CO<sub>2</sub>, tri sur place des déchets

Clean maintenance of public lighting : less noise, less CO<sub>2</sub> pollution, waste sorting on the spot



tournées d'entretien de l'éclairage public, ainsi que les divers déchets sensibles utilisés (chiffons gras, emballage de produits DIS, etc.).

Ces bacs amovibles sont équipés de deux bacs plus petits, à demeure sur le panier de la nacelle. Les utilisateurs y placent directement les ampoules usagées avant de les descendre dans les plus grands bacs.

Les avantages sont doubles – gain de temps et sécurité accrue :

- réduction des risques liés à la manipulation des lampes (une seule manipulation) dans le véhicule et au retour en entreprise par échange des bacs pleins contre des bacs vides ;
- plus de manipulation de lampes pour les transvaser dans les containers de recyclage ;
- augmentation du volume à recycler, plus de casse entre les différentes phases de manipulation.

## Éclairage public et développement durable

### ► Limitation de la pollution sonore

Le véhicule est équipé d'un convertisseur de tension de puissance de 3 kVA, destiné à fournir l'énergie nécessaire pour l'alimentation des outils électroportatifs. Ce camion présente de nombreux avantages :

- suppression des nuisances sonore et énergétique grâce à la disparition du traditionnel groupe électrogène ;
- amélioration de la sécurité : suppression du transport, du stockage de carburant et de lubrifiant dans le véhicule ;
- gain de temps : suppression des problèmes de démarrage du groupe, des entretiens réguliers, et de la contrainte d'approvisionnement en carburant.

### Système d'accrochage sur panier

Ce dispositif couplé au système de sécurité de la machine (limite de charge à 40 kg), permet de soulever du petit matériel (motif festif, guirlandes, etc.) en offrant plus de confort de manipulation à l'opérateur de la nacelle. La sécurité est renforcée car l'opérateur reste libre de ses mouvements pour les commandes de fonctionnement d'élévation et de direction.

La charge du matériel reste limitée à 40 kg, la sécurité est couplée au système de la machine.

Les véhicules de maintenance électrique évitent le rejet dans l'atmosphère de 11 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Par ailleurs, les économies réalisées sur le gasoil permettent d'équiper les véhicules de Packs Environnement, amortis sur un an.

En effet, la consommation en statique du véhicule, au régime moteur de 1000 tr/min, est de 10 litres/heure. Le temps d'utilisation moyen d'une nacelle à l'année étant de 840 heures (base 210 jours/an et 4 h/jour), la consommation de gasoil est de 8400 litres (840 heures x 10 litres). Soit 12000 euros par an d'économie réalisée servant à financer le Pack Environnement.

L'autonomie de la nacelle électrique est d'une semaine en comptant une utilisation de 4 h/jour. Les batteries disposent d'une garantie de 4 ans et d'une durée de vie de 7 à 8 ans, permettant ainsi d'être assurés de l'efficacité de cet investissement.

Par son attitude responsable à l'égard de l'environnement, l'entreprise ETDE participe à son propre développement tout en contribuant au bien-être de tous. ■

### ABSTRACT *Public lighting and sustainable development*

L. Henry, L. Demerliac,  
L. de Beaulaincourt

*For local governments concerned to protect the environment and ensure a pleasant living environment, ETDE proposes pragmatic initiatives in response to their sustainable development goals : minimize noise and environmental pollution for the local residents, control and save energy and integrate the operations with local life. These initiatives are illustrated by three concrete examples : the contract for overall management of public lighting in Lille – combining technical innovation with energy savings, the development of LED light bulbs, and the use of clean vehicles for public lighting maintenance operations in towns. Three opportunities for the company to link technical innovation with sustainable development.*

### RESUMEN ESPAÑOL *Alumbrado público y desarrollo sostenible*

L. Henry, L. Demerliac,  
L. de Beaulaincourt

*Para los entes y colectividades locales, preocupadas por la protección del medio ambiente y un marco de vida agradable, ETDE propone diversas acciones concretas para responder a sus retos de desarrollo sostenible : minimizar las contaminaciones acústicas y medioambientales para el vecindario, controlar y ahorrar la energía e integrar las actividades en la vida local.*

*Tres ejemplos concretos permiten ilustrar estas acciones : el contrato de gestión global de alumbrado público en Lille – que combina innovación técnica y ahorro de energía –, el desarrollo de lámparas de bajo consumo, y el uso de vehículos limpios para las intervenciones de mantenimiento del alumbrado público en las ciudades. Tres ocasiones para la empresa de asociar innovación técnica y desarrollo sostenible.*

# Opération pilote dans le domaine du curage des collecteurs d'assainissement

**L'opération de curage du collecteur SAR Amont, lancée par le SIAAP (Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne) a conduit au développement de deux solutions innovantes : une station d'épuration éphémère et une machine pour le curage de collecteurs d'assainissement.**

**Mises au point par Sol Environment et CSM Bessac, ces technologies sont de nouveaux atouts pour l'entretien des réseaux d'assainissement de nos espaces urbains.**

## ■ Un défi à relever

Avec plus de 500 km d'émissaires et collecteurs transportant chaque jour les eaux usées de 8 millions de Franciliens, le SIAAP est le principal donneur d'ordre en matière de travaux d'assainissement en France.

La construction de ces ouvrages a fait appel au cours de ces trente dernières années, aux techniques de construction les plus performantes. Solétanche Bachy et sa filiale CSM Bessac, grâce à leur maîtrise technologique dans les domaines des fondations spéciales et des tunneliers, ont été appelés à intervenir à plusieurs reprises sur ces opérations.

Aujourd'hui, les gros programmes de construction de nouveaux émissaires s'amenuisent pour laisser place à un besoin d'entretien et de maintenance de ces réseaux de plus en plus d'actualité.

On sait que ces ouvrages peuvent transporter quotidiennement jusqu'à 100 000 m<sup>3</sup> d'effluents et que ceci se traduit par un encrassement, notamment au niveau du radier du collecteur sur lequel se déposent des sables mais aussi des « encombrants » divers tels que des bastinges, des enchevêtrements de plastiques, des blocs de béton, etc.

Le SIAAP lance donc des appels d'offres de curage de ces collecteurs depuis quelques années, et ce type d'activité, contrairement aux travaux de construction, avait peu fait l'objet de développements techniques innovants.

Pourtant, ces travaux rencontrent de vraies problématiques, en matière de sécurité des travailleurs, qui sont exposés à des risques importants (présence de gaz toxiques, insalubrité du milieu, etc.), en matière de rendements (il faut limiter la durée des périodes de mise en chômage des collecteurs), et en matière de gestion des effluents.

À l'occasion du lancement d'un appel d'offres par le SIAAP concernant le curage du collecteur Sèvres-

Achères branche de Rueil (6,5 km de long, diamètre 3,10 m à 3,75 m, évoluant entre 10 et 60 m de profondeur), Solétanche Bachy s'est associé à ses filiales techniques Sol Environment et CSM Bessac pour étudier et proposer des solutions innovantes permettant de répondre à ces enjeux.

Concrètement, il y avait pour ce chantier, deux principaux challenges :

- il fallait tout d'abord, installer en bord de Seine une station d'épuration éphémère permettant de traiter les effluents d'un collecteur qui ne pouvait être dévié pendant la période de chômage de l'émissaire à nettoyer;
- il fallait aussi concevoir et fabriquer un équipement de curage et de transfert des sables qui permettrait, dans un délai de 2 mois, de charger et d'évacuer par deux puits de taille réduite les 4 500 t de produits attendus sur les 6,5 km de collecteur. Avec une contrainte absolue : la protection des opérateurs et la prise en compte de l'environnement hostile qu'est celui d'un égout jamais curé depuis 20 ans.

On comprend mieux le rapprochement de Sol Environment, pour sa maîtrise des outils de traitement et de dépollution et ses capacités d'intervention en milieu pollué et de CSM Bessac pour sa connaissance des travaux souterrains et sa forte aptitude à concevoir et fabriquer des matériels novateurs.

L'aspect innovant des solutions proposées, allié à la compétitivité de l'offre économique a assuré au groupe le gain de cette affaire.

## ■ Le curage du collecteur

L'opération de curage comprend le creusement des dépôts en radier, sur une épaisseur qui peut atteindre

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

#### Curage

- 6,5 km à curer
- diamètre 3,10 à 3,75 m
- profondeur : entre 10 et 60 m sous le niveau du sol
- épaisseur de sable allant jusqu'à 80 cm par endroits
- 4 500 t de sables à extraire
- Durée du curage : 2 mois

#### Station de traitement

- Capacité de traitement : 1200 m<sup>3</sup>/jour, 150 m<sup>3</sup>/h en pointe
- Nombre de jours de fonctionnement (24 heures sur 24) : 145 jours

#### Sécurité

- 0 accident



**Pierre-Yves Klein**  
Directeur  
Sol Environment



**Jean-Noël Lasfargue**  
Directeur commercial  
CSM Bessac



**Jean-Pierre Gadret**  
Chef de projet  
Solétanche Bachy

## Opération pilote dans le domaine du curage des collecteurs d'assainissement

Photo 1

La cureuse Évelyne en cours d'opération  
*The Évelyne cleaner during operation*



© Emmanuel Geiffard

Photo 2

Essais de la machine de curage sur le parc de CSM Bessac  
*Testing the cleaning machine in the CSM Bessac yard*



80 cm, leur chargement dans des bennes, leur transfert jusqu'au puits d'accès, l'extraction et le transfert jusqu'aux lieux de traitement et de mise en décharge. Il a donc fallu concevoir et fabriquer deux matériels spécifiques :

- une machine de curage qui assure le creusement et le chargement des déblais;
- un engin de transport pour le transfert des déblais depuis la cureuse jusqu'au puits d'accès.

Deux notions importantes ont guidé la conception de ces matériels : la sécurité des opérateurs et les rendements.

### Sécurité et protection des opérateurs, ventilation

Le pilote de l'engin de curage est placé dans une cabine protectrice ventilée avec une légère surpression. Cette ventilation forcée permet à l'opérateur de travailler à l'abri d'éventuels dégagements gazeux et des odeurs. L'air de ventilation de la cabine est amené par une conduite depuis la surface.

De plus, une ventilation collective est réalisée par le biais d'un ventilateur de forte puissance (18 m<sup>3</sup>/s en admission) qui assure une circulation d'air dans le collecteur. Ainsi les émanations de gaz H<sub>2</sub>S (présent dans les sables), CH<sub>4</sub> et CO sont repoussées au-delà de la zone de travail des opérateurs.

### Rendements

La nécessité de réaliser ce chantier dans un délai très court a conduit les concepteurs à proposer un dispositif qui permette le creusement en continu. Ainsi, la cureuse déverse les déblais dans une trémie de stockage, pendant que l'engin de marinage va vidanger sa benne. Au retour du marinier, la trémie est vidangée en quelques minutes dans la benne du marinier, ceci sans que l'avancement de la cureuse ne soit affecté.

### La machine de curage

L'engin spécifique au curage est composé d'un châssis porteur automoteur, monté sur roues pneumatiques radiantes et directionnelles. Ce châssis est prolongé à l'avant d'un convoyeur blindé, équipé à son extrémité d'une lame de curage et d'une vis de chargement (photo 1).

Sous l'effort de la poussée, généré par la motorisation des roues avant de l'engin, la lame de curage pénètre dans les déblais à extraire qui sont ramenés vers le convoyeur blindé par une vis transversale. Les matériaux sont convoyés vers l'arrière, puis déchargés dans la trémie de stockage tractée par l'engin de curage. Cette



© Emmanuel Gaffard

Photo 3

Le marineur

*The mucking train*

trémie est équipée d'un convoyeur qui permet le transfert des déblais vers la benne du marineur (photo 2).

Si des « encombrants » ne sont pas compatibles avec les capacités d'évacuation du convoyeur, une intervention manuelle est nécessaire pour les extraire. Cette opération est facilitée par l'intégration d'un chemin de roulement équipé d'un treuil qui permet l'évacuation vers l'engin de marinage.

L'engin de curage fonctionne avec un moteur diesel dont l'échappement est catalysé avec un passage des gaz dans un bac de barbotage. L'installation électrique est traitée « anti-déflagrant ».

### L'engin de marinage

L'engin de marinage est conçu, comme la cureuse, pour pouvoir circuler dans des tunnels de diamètres différents (3,15 m à 3,75 m) (photo 3). Le châssis, équipé de huit roues, porte une benne amovible de 5 m<sup>3</sup> de capacité. La motorisation est assurée par un

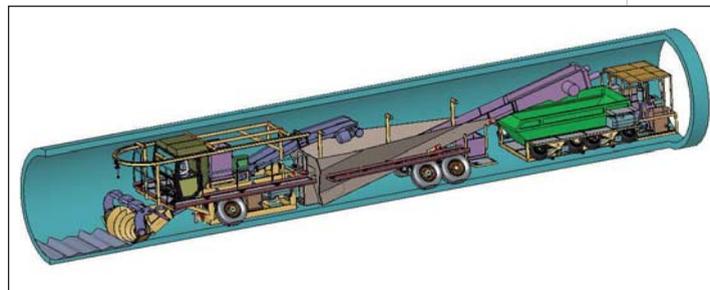


Figure 1

Fonctionnement général de la machine

*General operation of the machine*

moteur diesel identique à celui qui équipe l'engin de curage. Une transmission hydraulique assure l'entraînement des roues motrices. Le poste de pilotage est positionné perpendiculairement au déplacement du marineur pour faciliter la visibilité dans les deux sens de roulage. Le marineur est équipé de détecteur de gaz et des protections individuelles respiratoires sont à disposition de l'opérateur au poste de pilotage.

### Déroulement de la phase de marinage

Le marineur se présente à l'arrière de la trémie de stockage avec sa benne vide. Le convoyeur de transfert assure le déchargement de la trémie de stockage. Une fois chargé, le marineur roule vers le puits où l'on transfère la benne vers la surface grâce à la grue de chantier.

Les boues récupérées sont ensuite acheminées vers des usines agréées pour la prise en charge et le traitement de ces matériaux (figure 1).

## ■ Une station d'épuration provisoire pour une ville de 5000 habitants

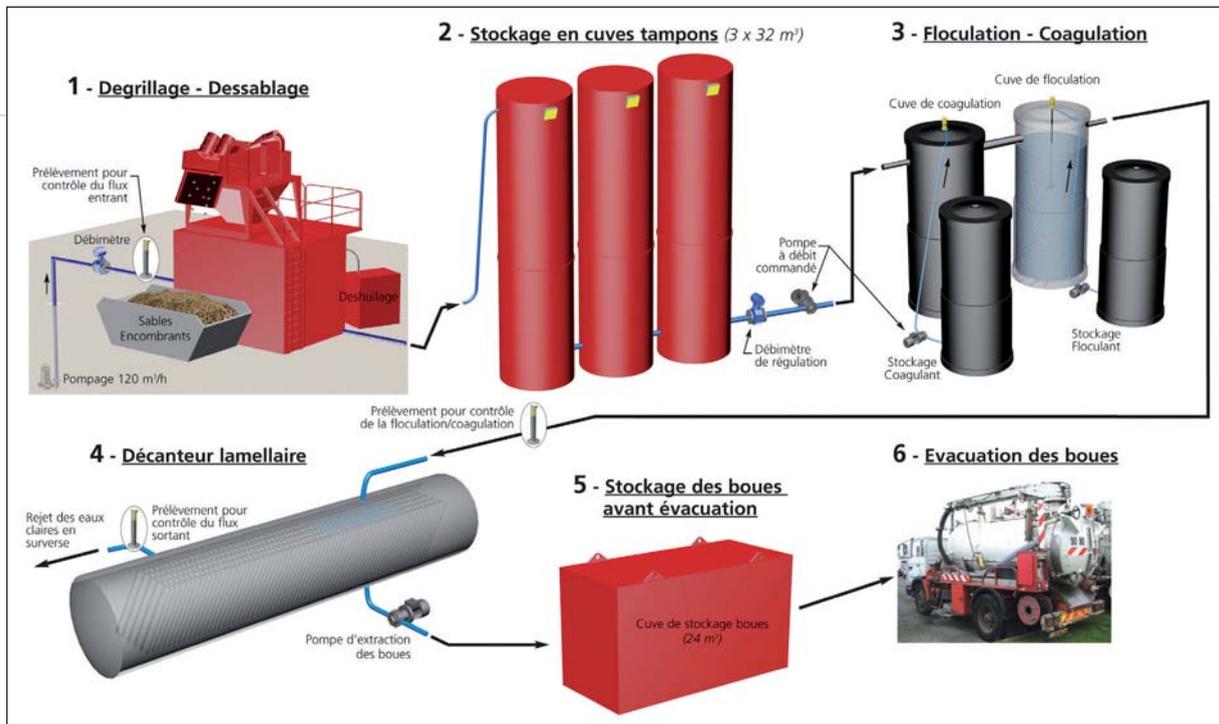
Pour permettre la mise en chômage de la portion de collecteur à curer, le SIAAP a organisé le détournement des apports qu'il pouvait réorienter vers d'autres parties de son réseau.

L'apport du rû de Marivel qui représente environ 1200 m<sup>3</sup> par jour, soit l'équivalent de la production d'une ville de 5000 habitants, ne pouvait être détourné pendant le chantier. C'est pourquoi le SIAAP a décidé, pour la première fois dans le cadre de ce type d'opérations, de mettre en place une station de traitement des eaux « éphémère » permettant d'éviter de rejeter directement à la Seine des eaux non traitées.

Cette station a été conçue par les équipes de Sol Environment de manière à être conforme aux objectifs de rejets fixés par le SIAAP et le Service de Navigation de la Seine portant sur la matière en suspension (abattement de 70 %), la teneur en matière organique (abattement de 50 %) et en phosphore (abattement de 50 %).

Opération pilote dans le domaine du curage des collecteurs d'assainissement

Figure 2  
Fonctionnement schématique de la station éphémère  
Schematic operation of the temporary station



Les principales étapes de traitement installées dans cette station ont été les suivantes (figure 2) :

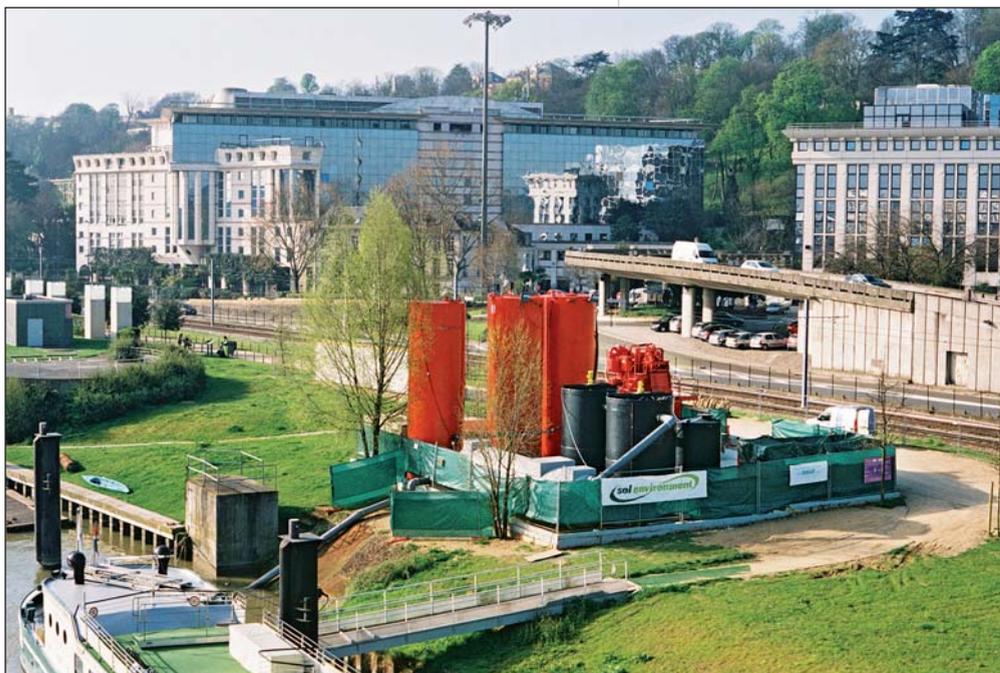
- prédégrillage et pompage dans le réseau à une capacité maximale de 150 m³/h;
- dégrilleur en entrée permettant d'éliminer les encombrants;
- déshuileur;
- dessablage par hydrocyclone à la capacité de 150 m³/h;
- stockage tampon des eaux chargées en fines dans trois cuves de 32 m³ de capacité unitaire, de façon à assurer un lissage des eaux entrantes;
- puis traitement physico-chimique des fines particu-

les par coagulation, floculation et passage dans un décanteur lamellaire permettant de produire des boues évacuées en filières réglementaires.

L'ensemble de ce matériel a été conçu pour être installé rapidement, sur une surface réduite et en limitant au maximum les nuisances en terme d'odeur, de bruit et d'impact visuel.

Implantée en bord de Seine à proximité du pont de Sèvres, la station a été bien acceptée par les promeneurs et les péniches avoisinantes. Le chantier n'a occasionné aucune plainte (photo 4).

Photo 4  
La station éphémère  
The temporary station



© Emmanuel Gaffard

Fonctionnant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, cette station a été conçue de manière à assurer fiabilité et sécurité. Les procédés ont été automatisés, les organes clés ont été doublés (pompes, groupes électrogènes...), les paramètres de fonctionnement ont été enregistrés et il a été mis en place une communication constante avec une astreinte pour la transmission GSM des alarmes éventuelles.

### ■ Mener l'innovation à son terme

Dans nos domaines d'activité, il est souvent difficile de mener une innovation jusqu'à son terme : le chantier. En faisant confiance aux solutions proposées, le maître d'ouvrage de cette opération, le SIAAP, a permis que cette innovation soit mise en œuvre.

Cette réussite est aussi le fruit du croisement de plusieurs cultures au sein d'un groupe qui favorise les synergies :

- la culture des travaux en réseaux d'assainissement de Solétanche Bachy;
- la culture des travaux environnementaux de Sol Environment;
- la culture de constructeur de matériel et d'entrepreneur de travaux souterrains de CSM Bessac. ■

#### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

##### **Maître d'ouvrage**

SIAAP

##### **Maître d'œuvre**

SIAAP, direction des Exploitations, service Seine et Réseaux Ouest

##### **Groupement d'entreprises**

Solétanche Bachy, CSM Bessac, Sol Environment, Segex

### **ABSTRACT** *Pilot project in the field of drainage sewer cleaning*

*P.-Y. Klein, J.-N. Lasfargue, J.-P. Gadret*

*For the cleaning project on the upstream SAR sewer, launched by Paris region drainage board SIAAP, two innovative solutions were developed : a temporary treatment plant and a machine for cleaning drainage sewers.*

*Developed by Sol Environment and CSM Bessac, these technologies are new aids for maintenance of urban sewerage networks.*

### **RESUMEN ESPAÑOL** *Operación piloto en el ámbito de la limpieza de los colectores de saneamiento*

*P.-Y. Klein, J.-N. Lasfargue y J.-P. Gadret*

*La operación de limpieza del colector SAR Amont, iniciada por el SIAAP (Sindicato interdepartamental para el saneamiento de la aglomeración parisina) ha llevado a desarrollar dos soluciones innovadoras : una estación depuradora temporal y una maquinaria para la limpieza de colectores de saneamiento. Elaboradas por Sol Environment y CSM Bessac, estas tecnologías constituyen nuevas bazas para la conservación de las redes de saneamiento de nuestras zonas urbanas.*

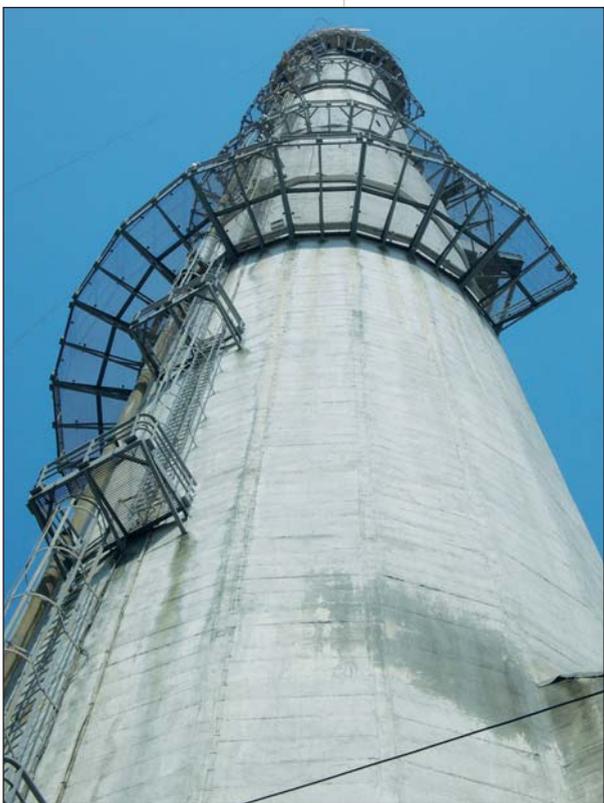
# Réparation et renforcement au moyen des matériaux

**Le choix des matériaux composites pour des opérations de renforcement de structures de grande hauteur prend tout son sens, au regard notamment de deux aspects : d'une part ils ne nécessitent pas de recourir à des moyens de levage importants, et d'autre part ils permettent une bonne souplesse d'adaptation aux contraintes spécifiques des projets (surfaces disponibles, forme du support, conditions d'accès...).**

**Ces avantages ont été mis à profit sur deux opérations : l'une pour une tour TDF de 88 m de haut et l'autre pour deux cheminées EDF de 110 m. L'utilisation de lamelles composites à base de fibres de carbone a permis dans les deux cas de réaliser le renforcement dans des délais très courts, avec des équipes réduites et sans même interrompre l'exploitation du site pour le cas de TDF (photo 3).**

Photo 1

Cheminée en béton armé de 110 m de hauteur  
*Reinforced concrete fume stack 110 m high*



**A** ce jour les principales techniques de renforcement des structures sont le coulage ou la projection de béton, la précontrainte additionnelle ou le collage de plats métalliques. Depuis environ 40 ans, cette dernière technique appelée « procédé l'Hermitte » constitue une méthode couramment utilisée mais plutôt délicate, longue et coûteuse à mettre en œuvre.

S'inspirant de ces plats collés, l'idée d'employer des matériaux composites à base de fibres de carbone constitua dès le milieu des années 1990 une innovation dans le BTP. Le principe est d'augmenter la capacité résistante d'un élément de structure dont les armatures ne sont pas suffisamment dimensionnées (section et bras de levier).

En France, le secteur du bâtiment a fréquemment recours à cette solution pour des renforcements de dalles, de poutres, pour des créations de trémies... Elle est également utilisée dans le domaine des ouvrages d'art. On peut citer l'augmentation de capacité en flexion transversale du tablier du pont sur



Photo 2

Renfort composite transversal en intrados du tablier du pont sur l'Huisne

*Transverse composite reinforcement on the intrados of the deck on the bridge over the Huisne*

l'Huisne dans la ville du Mans (photo 2) ou encore la prolongation de la durée de vie telle que souhaitée par EDF sur des poutres en béton armé dans la centrale électrique du Bugey.

Dans cet article nous présentons deux applications originales en génie civil pour lesquelles les composites facilitent l'intervention en grande hauteur.

## ■ Tour TDF du mont Gex

Située dans l'Ain (01) sur la commune de Mijoux, à 1534 m d'altitude, la tour TDF du mont Gex est un émetteur relais pour les chaînes de télévision, les radios ainsi que certains opérateurs de téléphonie mobile. D'une hauteur totale de 88 m, elle est constituée d'une partie inférieure en béton armé de section carrée, entre les niveaux + 0,0 m et + 55,5 m, surmontée d'un pylône métallique (photo 3).

Compte tenu de l'évolution des règles de dimensionnement (la construction de la structure principale en béton armé datant des années 60) et de l'augmentation de la prise au vent de l'ouvrage engendrée par des équipements nouveaux en façade, le maître d'ouvrage a engagé une expertise de la tour : essais de qualification des matériaux constitutifs de la structure par le CEBTP et contre-calculs par des bureaux d'études. Le diagnostic d'un besoin de renforcement vertical fut alors établi.

À l'issue d'un appel d'offres, la société Résirep, située à Sorbiers (42), a été retenue par TDF pour mettre en

# des structures de grande hauteur composites

**Bassam Dib**  
 Direction de l'ingénierie  
 et des infrastructures  
 TDF

**Philippe Point**  
 Centre d'ingénierie  
 thermique  
 EDF

**Christian Ribeiro**  
 Résirep

**Michel Pyot**  
**Nicolas Kieffer**  
 Département GCN  
 Eiffage TP

**Yvon Gicquel**  
 Sika France SA  
 BU Entreprises  
 Spécialisées

**Alain Simon**  
 Direction technique  
 Eiffage TP



**Photo 3**  
 Vue d'ensemble de la tour  
 General view of the tower

œuvre les renforts nécessaires. La solution proposée consistait à utiliser le procédé composite de Sika (cf. encadré « Caractéristiques des matériaux »).

Les études d'exécution ont rapidement conduit à s'orienter vers le choix de lamelles carbone plutôt que des solutions à base de tissus, compte tenu des sections à mettre en œuvre et de la place disponible (photo 4). En effet, les équipements nouveaux fixés sur les différentes façades ont nécessité une optimisation du calepinage des renforts verticaux (figures 1 et 2). C'est à cette fin que des superpositions de lamelles ont été appliquées : jusqu'à trois épaisseurs de 1,2 mm. L'ensemble des dispositions envisagées et des justifications apportées ont fait l'objet d'un contrôle extérieur assuré par Socotec.

## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

### Lamelle Sika® CarboDur®

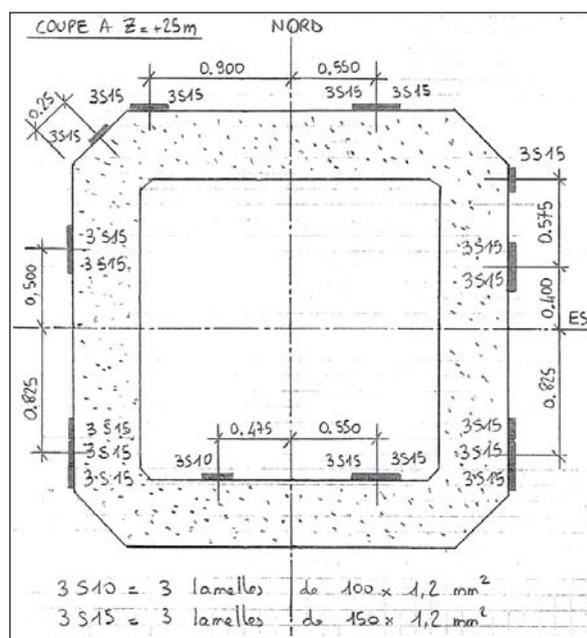
- Résistance garantie en traction : > 2800 MPa
- Module d'élasticité : 165000 MPa
- Élongation à rupture : > 1,7 %

### Colle époxydique Sikadur®-30

- Résistance en compression, à 28 jours : ≈ 80 MPa
- Résistance au cisaillement, à 28 jours : ≈ 18 MPa
- Résistance en traction, à 28 jours : ≈ 30 MPa



**Photo 4**  
 Enchevêtrement des équipements en façade  
 Overlapping of equipment on the facade



**Figure 1**  
 Coupe transversale en zone renforcée  
 Cross section in strengthened area

Réparation et renforcement des structures de grande hauteur au moyen des matériaux composites

Figure 2  
Élévation de la zone renforcée  
Elevation view of the strengthened area

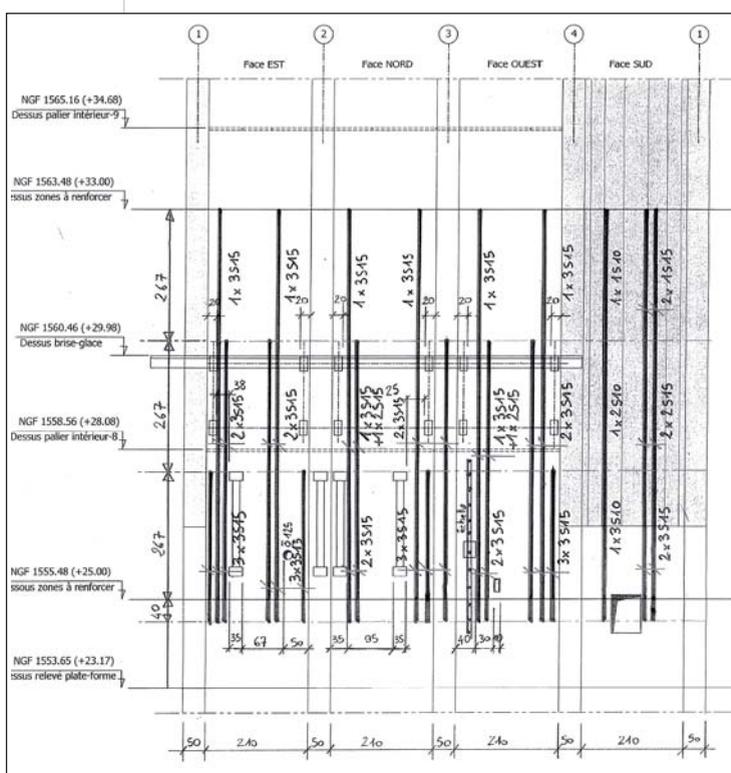


Photo 5  
Travaux en cours  
Work in progress



Photo 6  
Site de la centrale EDF de Champagne-sur-Oise  
Site of the EDF power station of Champagne-sur-Oise

L'opération complète a mobilisé quatre personnes (dont un chef de chantier) pendant 7 semaines, respectant le délai imparti. Les principales étapes furent chronologiquement les suivantes :

- montage de l'échafaudage (photo 5);
- préparation du support par ponçage avec aspiration des poussières;
- collage des lamelles (deux largeurs ont été utilisées, 100 et 150 mm, en fonction de la place disponible);
- application d'un revêtement souple de finition (Sikagard 550W). Ce dernier remplit une double fonction : imperméabilisation de la structure et protection du composite vis-à-vis des rayons UV;
- démontage de l'échafaudage et repli de chantier.

Le chantier a ainsi pu être réalisé sur l'ouvrage en exploitation, sans aucun démontage d'équipement même temporaire : la continuité des transmissions n'a pas été affectée par les travaux.

■ Cheminées EDF de Champagne-sur-Oise

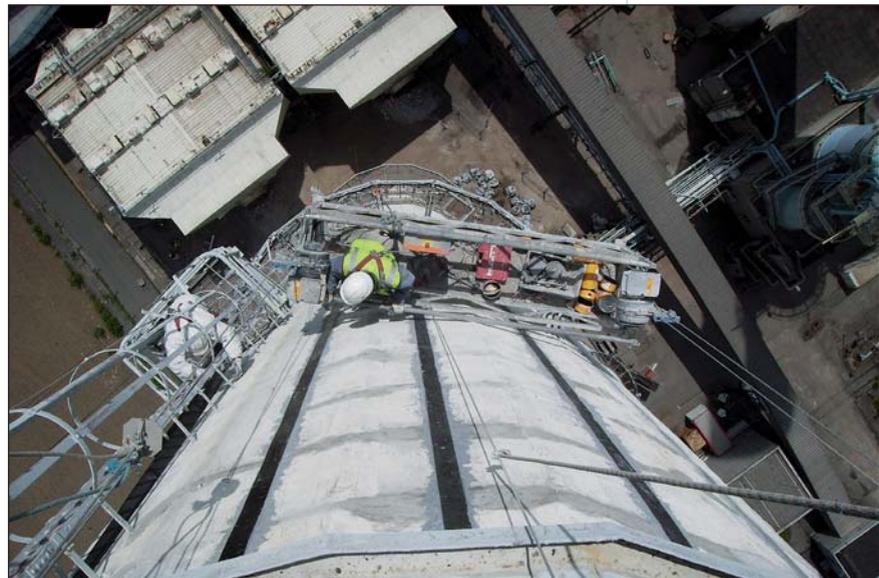
Située sur la rive de l'Oise, la centrale EDF de Champagne-sur-Oise (95), comporte deux cheminées

en béton armé de 110 m de haut (photo 6), construites au début des années 60 et désormais hors-service. Dans le but de définir un projet de déconstruction, EDF a engagé une expertise préliminaire des ouvrages. Une inspection détaillée a révélé la présence d'amiante dans le vide situé entre le fût béton des cheminées et leur revêtement intérieur en briques réfractaires. Cette découverte a conduit à phaser les opérations de déconstruction et notamment à recourir à des techniques d'intervention télé-opérées de désamiantage à l'intérieur de l'ouvrage. Pour ce faire et compte tenu de l'état de fissuration du béton en partie haute des cheminées, les zones d'implantation des matériels de chantier devaient être localement renforcées. Pour chaque cheminée, le projet de renforcement a été adapté à l'état réel du support. Ainsi la cheminée tranche 1 n'a été renforcée que très ponctuellement par couture des fissures traversantes localisées sous le sommet (figure 3).

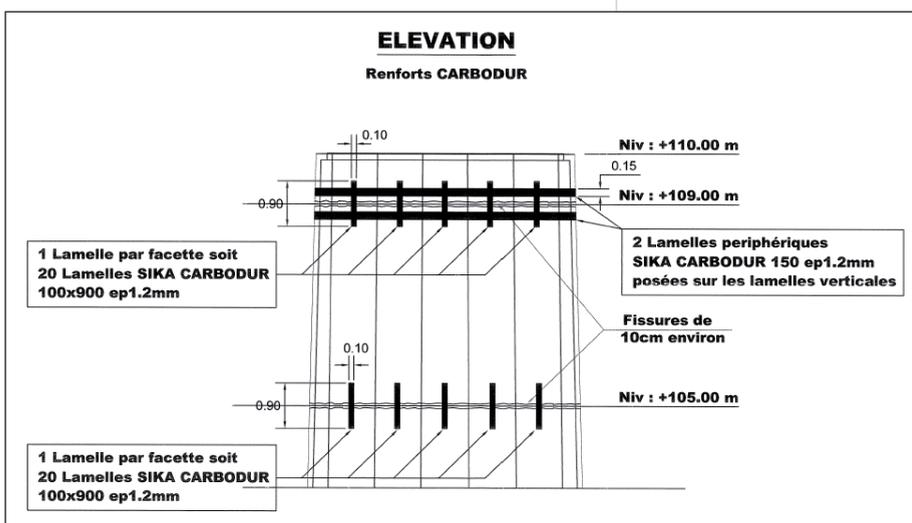
La cheminée tranche 2 présentait quant à elle une fissuration horizontale périphérique plus étendue mais moins ouverte, marquée principalement au niveau des reprises de bétonnage. Un renforcement vertical réparti sur la zone a été entrepris (photo 7). Pour intervenir sur la tranche 1, une passerelle de travail a été installée en tête de la cheminée, tandis qu'une nacelle volante a été utilisée pour parcourir l'étendue de la zone en tranche 2 (photo 8). La phase de renforcement a mobilisé cinq personnes (y compris le chef de chantier), dont une en pied d'ouvrage pour les approvisionnements réalisés au moyen d'un treuil placé au sol (une poulie étant installée sur l'ouvrage). La légèreté des matériaux employés a permis leur amenée rapide depuis le sol jusqu'aux postes de travail.



**Photo 7**  
 Vue d'ensemble de la zone renforcée (tranche 2)  
*General view of the strengthened area (work phase 2)*



**Photo 8**  
 Tranche 2 : mise en place des lamelles composites depuis les nacelles  
*Work phase 2 : placing the thin composite plates from work platforms*



**Figure 3**  
 Principe de renforcement en tranche 1  
*Schematic of strengthening in work phase 1*

## Réparation et renforcement des structures de grande hauteur au moyen des matériaux composites

- Sur ces postes le mode opératoire était ainsi décomposé :
- repiquage des bétons altérés et élimination des supports non adhérents;
  - bourrage des fissures au mortier de réparation;
  - ponçage des zones de collage;
  - encollage du support et des lamelles (largeur 100 mm);
  - collage des lamelles et marouflage (pour chasser l'air emprisonné et l'excès de colle).

Une fois terminées ces interventions de renforcement, les opérations de désamiantage à l'intérieur des cheminées purent débuter, avant l'opération finale de déconstruction.

### ■ Conclusion et perspectives

Les deux expériences présentées témoignent de la pertinence de la technique de renforcement au moyen des matériaux composites sur ouvrages de grande hauteur, pour lesquels les conditions d'accès et de travail dans les zones d'intervention sont les deux points clés.

Une nouvelle étape sera bientôt franchie puisqu'une opération concernant le renforcement de deux tours de refroidissement (hauteur 165 m - diamètre à la base 149 m - diamètre au sommet 84 m) d'une centrale électrique est en cours préparation avec EDF pour une mise en application programmée en 2009. ■

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Tour TDF de Gex

- Maître d'ouvrage : TDF
- Maître d'œuvre : TDF – Direction de l'ingénierie et des Infrastructures
- Bureau de contrôle : Socotec – Direction opérationnelle centrale
- Bureau d'études : Eiffage TP – STOA
- Entreprise : Résirep (groupe Eiffage)
- Fournisseur matériaux composites : Sika France SA – BU Entreprises Spécialisées

#### Cheminées EDF de Champagne-sur-Oise

- Maître d'ouvrage délégué : EDF – Centre de post-exploitation
- Assistant maître d'ouvrage : EDF – Centre d'ingénierie thermique
- Maître d'œuvre : Arnaud Démolition
- Bureau de contrôle : Socotec – Direction opérationnelle centrale
- Bureau d'études : Eiffage TP – STOA
- Entreprise : Eiffage TP – Département GCN
- Fournisseur matériaux composites : Sika France SA – BU Entreprises Spécialisées

### ABSTRACT

#### *Repair and strengthening of high-rise structures using composite materials*

*Various authors*

*The choice of composite materials for strengthening projects on high-rise structures is justified by two factors in particular. On the one hand, they do not require the use of major lifting equipment, and on the other hand they offer good flexibility for adapting to specific project constraints (available area, form of support, access conditions, etc.).*

*These advantages were exploited on two projects : a TDF tower 88 m high and two EDF fume stacks 110 m high. By using thin composite plates with a carbon fibre base, it was possible in both cases to perform strengthening in a very short time, with small teams and without even halting site operations in the case of the TDF project.*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *Reparación y refuerzo de las estructuras de gran altura por medio de materiales compuestos*

*Autores diversos*

*La selección de materiales compuestos para diversas operaciones de refuerzo de estructuras de gran altura adquiere toda su dimensión, fundamentalmente respecto a dos aspectos : en primer lugar, no precisan recurrir a importantes equipos de elevación, y en segundo lugar, permiten una correcta flexibilidad de adaptación a los imperativos específicos de los proyectos (superficies disponibles, forma del soporte, condiciones de acceso, etc.). Se aprovecharon estas ventajas en dos operaciones : la primera para una torre TDF de 88 m de altura y otra para dos chimeneas EDF de 110 m. En ambos casos, el empleo de láminas compuestas a base de fibras de carbono permitió ejecutar el refuerzo según plazos sumamente cortos, disponiendo de equipos reducidos e incluso sin interrumpir la explotación de las instalaciones, como así ocurrió para TDF.*

# Trenchmix : une technique d'amélioration de sol qui contribue au développement durable



**Sébastien Corneille**  
Ingénieur Projets  
Solétanche Bachy



**Anthony Ré**  
Directeur  
Solétanche Bachy  
Amélioration de Sol

**Le Trenchmix est une technique de soil-mixing encore peu utilisée en France mais promise à un bel avenir. Cette innovation développée par Solétanche Bachy est en effet moins coûteuse et plus respectueuse de l'environnement que d'autres techniques d'amélioration de sol. Voici un exemple de mise en œuvre du Trenchmix sur le chantier d'une plate-forme de stockage dans le port de Montereau.**

Le procédé Trenchmix, qui consiste à réaliser des panneaux continus de sol traité au liant hydraulique d'épaisseur variable (0,4 m minimum) et jusqu'à 10 m de profondeur, permet d'améliorer les sols par la mise en place d'un réseau de tranchées, de réaliser des écrans étanches, des soutènements, de l'inertage des terrains pollués...

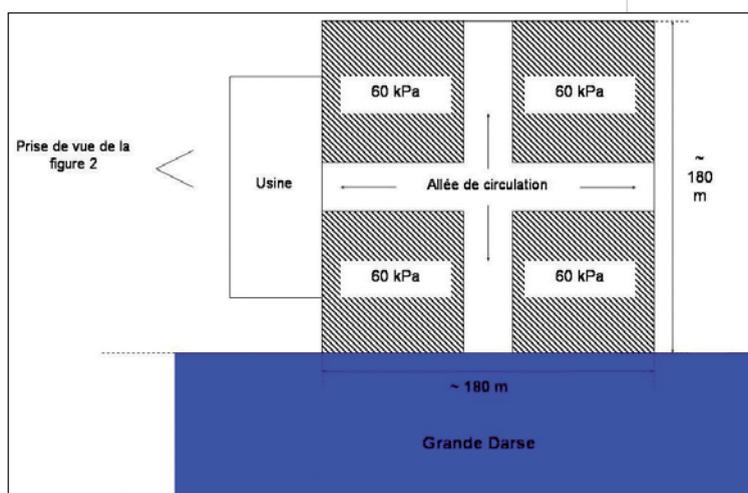
Sur le chantier de la construction d'une plate-forme de stockage dans le port de Montereau (77), le maître d'ouvrage (Port Autonome de Paris – Agence portuaire Seine Amont) par le biais de son maître d'œuvre (Port Autonome de Paris – Département Équipement et Ingénierie) a élaboré un cahier des charges stipulant que l'objet des travaux de renforcement de sol devait répondre aux exigences suivantes :

- rendre les tassements différentiels compatibles avec l'ouvrage soit une limitation des tassements différentiels à 2 cm pour 2 m, notamment entre les zones chargées jusqu'à 6 t/m<sup>2</sup> et les allées de circulation;
- ne pas déstabiliser les palettes empilées;
- maintenir un critère de pente du sol à 2 % (pour assurer l'écoulement des eaux pluviales).

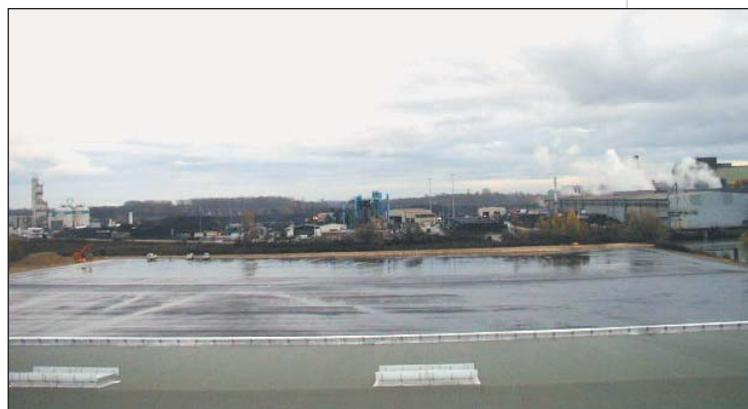
La reconnaissance des sols a montré une très forte hétérogénéité du sous-sol dans son extension latérale, avec un toit des alluvions anciennes (sables et graviers de  $q_c > 8$  MPa) variant entre 2,6 et 5,2 m de profondeur par rapport au terrain naturel, la nappe se situant à environ 3 m de profondeur par rapport au terrain naturel. Cette hétérogénéité est flagrante à l'analyse des résultats de calculs de tassement variant de 2 à 10 cm pour une surcharge d'exploitation uniformément répartie de 6 t/m<sup>2</sup>, le sol à améliorer étant constitué d'alluvions modernes (sables limono-argileux de  $q_c$  variant de 0,1 à 2 MPa).

Afin de respecter les critères de tassement différentiel, d'écoulement des eaux pluviales et de stabilité des palettes, deux possibilités de renforcement des sols ont été proposées : colonnes ballastées en solution de base et le Trenchmix en solution variante. Outre les objectifs définis dans le CCTP de ce projet, le renforcement

de sol par Trenchmix devait permettre d'homogénéiser les tassements à 25 mm. Le maître d'ouvrage a retenu la solution variante en Trenchmix, compte tenu de sa compétitivité technique et financière par rapport aux colonnes ballastées et même aux inclusions rigides.



**Figure 1**  
Vue en plan schématique de la plate-forme  
Schematic plan view of the platform



**Photo 1**  
Vue partielle de la plate-forme de stockage achevée (recouverte par la chaussée)  
Partial view of the completed storage platform (covered by pavement)

## ■ Le projet – Une plate-forme logistique chargée aléatoirement jusqu'à 6 t/m<sup>2</sup>

Le projet consistait en la réalisation d'une plate-forme logistique (stockage de palettes) d'environ 32 400 m<sup>2</sup>, avec quatre zones principales chargées à un maximum de 6 t/m<sup>2</sup>, séparées par des allées réservées à la circulation des poids lourds et des engins de manutention des palettes (figure 1 et photo 1).

## ■ Réalisation des travaux d'amélioration des sols

Les travaux d'amélioration des sols ont consisté en la réalisation de tranchées de Trenchmix (tranchées de

## Trenchmix : une technique d'amélioration de sol qui contribue au développement durable

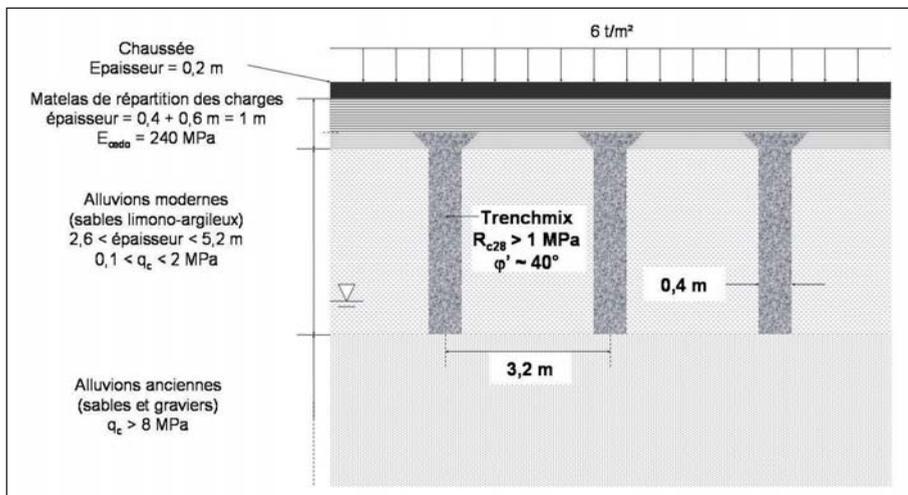


Figure 2

Coupe de principe du renforcement de sol par Trenchmix  
Schematic section of ground reinforcement by Trenchmix

Photo 2

Réalisation de la prétranchée  
Preliminary trenching



sol traité au liant hydraulique) et d'un matelas de répartition des charges (figure 2).

Après décapage du terrain naturel, une plate-forme de travail de 0,4 m d'épaisseur en terrain traité à la chaux a été réalisée afin de permettre le passage des divers engins de chantier et de mettre en œuvre le procédé dit « par voie sèche ». Il s'agit de réaliser les étapes suivantes :

- création d'une prétranchée peu profonde dans laquelle sera déposé le liant hydraulique (ici du ciment) à l'état pulvérulent (photo 2) ;

Photo 3

Mise en place contrôlée  
du liant hydraulique (ciment)  
dans la prétranchée  
Controlled placing  
of hydraulic binder (cement)  
in the preliminary trench



- épandage, en plusieurs passages, du liant hydraulique à l'état pulvérulent à l'aide d'un tracteur et d'une remorque (photo 3) ;
- Trenchmix proprement dit : découpe du sol et mélange au droit de la tranchée du sol avec le liant préalablement déposé (photo 4). Si nécessaire, un apport d'eau (contrôlé) au mélange sol-ciment était réalisé par l'opérateur directement au droit de la tranchée.

La partie supérieure du matelas de répartition des charges, consistant en une couche d'environ 0,6 m d'épaisseur en matériau traité au liant (chaux + ciment), a ensuite été réalisée. Les 0,4 m de plateforme de travail font partie du matelas de répartition des charges, assurant ainsi une couche de répartition de 1 m d'épaisseur.

Lors de la réalisation des tranchées, un volume excédentaire/déficitaire de sol traité peut être observé en fonction du foisonnement plus ou moins important des sols en présence. Tout volume excédentaire était alors étalé à proximité de la tranchée, permettant ainsi d'améliorer encore plus les caractéristiques de la future couche de répartition des charges.

La machine, spécialement conçue pour le procédé Trenchmix, a permis de réaliser jusqu'à 500 m linéaires par jour, avec une moyenne de 330 m linéaires (soit en moyenne 80 t de ciment par jour). Ainsi, ce sont entre 50 et 60 tranchées d'environ 170 m de long qui ont été réalisées sur ce site, avec une profondeur moyenne de 4,5 m. La mise en œuvre a donc été réalisée en moins de 6 semaines, alors que ce délai aurait été d'au moins 7 semaines dans le cas d'inclusions rigides (maille générale 2,8 x 2,8 m et cadence moyenne de 500 ml par jour avec un atelier).

### ■ Dimensionnement

Le prédimensionnement de ce type d'amélioration de sol est consigné dans le cahier des charges et se base sur la méthode de Terzhagi (1943). En effet, il est tenu compte des effets de voûtes créés entre les tranchées, permettant de transférer l'excédent des contraintes sur les tranchées jusqu'au point neutre. Ces calculs, couplés avec les résultats des essais de laboratoires de compression simple préliminaires sur des mélanges de sol-ciment, permettent de définir la quantité de ciment qu'il conviendra de mettre en œuvre. Par ailleurs, en phase de dimensionnement, une modélisation en 2 ou 3D permet de s'assurer que les tassements resteront acceptables pour la structure à construire. Lors du dimensionnement, les éléments suivants sont ainsi déterminés et validés :

- l'entre-axes des tranchées;
- leur profondeur;
- leur résistance à la compression simple;
- le type et la quantité de liant à mettre en œuvre;
- les contraintes reprises par le sol et par les tranchées;
- ainsi que le tassement après amélioration.

On vérifie alors que la solution proposée respecte un facteur de sécurité prédéfini.

Comme pour chaque chantier de soil-mixing, le dimensionnement s'appuie sur les résultats d'essais de mélanges sol-liant effectués au laboratoire sur des échantillons de sols prélevés sur le site.

Ces essais permettent d'obtenir une valeur de résistance à la compression simple ( $R_c$ ) qu'il conviendra d'atteindre sur chantier. Bien évidemment, un facteur de correction permet de tenir compte de la différence qui existe entre les résultats issus des essais de laboratoire et ceux qui devront être impérativement respectés sur site.

## ■ Contrôles – Assurance qualité

Plusieurs types de contrôles ont été réalisés afin de s'assurer de la conformité des travaux avec les prescriptions du cahier des charges. À savoir :

- **Enregistrement des paramètres de la machine.**  
En effet, pendant les travaux, les différents paramètres d'exécution de la machine sont enregistrés afin de contrôler en temps réel la profondeur de traitement, le coefficient de malaxage, le taux d'incorporation du liant par mètre cube de terrain...
- **Prélèvements d'échantillons de sol-ciment pour essais de compression simple.**  
Des prélèvements d'échantillons de mélange sol-ciment ont été effectués *in situ* et les éprouvettes ont ensuite été soumises à des essais de compression simple au laboratoire. Les résultats indiquent qu'une valeur caractéristique de  $R_{c28}$  d'environ 1 MPa a été obtenue alors que les calculs de dimensionnement ne nécessitaient qu'une valeur de 0,6 MPa.
- **Sondages de pénétration statique de contrôle.**  
Des sondages de pénétration statique ont été réalisés dans les Trenchmix et ont montré que la cohésion non drainée atteignait des valeurs de 0,53 MPa, ce qui confirme les résultats des essais de compression simple mentionnés ci-dessus ( $R_c \sim 2c_u$ ).
- **Essais en grandeur réelle de chargement d'une zone améliorée par Trenchmix et d'une zone témoin non améliorée.**  
Un plot d'essai en grandeur réelle a été réalisé afin de vérifier les valeurs de tassement et de contraintes. Une zone de sol non amélioré d'environ 144 m<sup>2</sup> (12 x 12 m) a été chargée par la mise en place d'un remblai (afin d'assurer une contrainte uniformément répartie de 6 t/m<sup>2</sup>). Une autre zone de mêmes dimen-



Photo 4  
Trenchmix en cours de réalisation  
*Trenchmix during production*

sions renforcée par quatre Trenchmix de 0,4 m de large en partie courante et de 3,2 m d'entre-axes (comme pour le chantier) a aussi été chargée dans les mêmes conditions.

La photo 5 présente le remblai sur les quatre tranchées. L'instrumentation mise en place était composée :

- de piges tassométriques pour le suivi du tassement du sol et des tranchées;
- d'un extensomètre de forage pour l'enregistrement du tassement du sol au droit du remblai sur sol amélioré par Trenchmix, à 2, 3 et 4 m de profondeur;
- de capteurs de pression totale verticale pour le suivi de la contrainte reprise par les tranchées et par le sol entre les tranchées.

L'essai de chargement sur les deux zones s'est déroulé pendant 6 mois. L'analyse de l'ensemble des résultats indique que :

- la distribution des contraintes totales verticales n'est pas exploitable;
- les tassements de la zone améliorée par Trenchmix sont inférieurs à ceux estimés lors du dimensionnement et qu'ils sont 2,4 fois inférieurs à ceux de la zone non améliorée;
- les tassements de la zone améliorée par Trenchmix sont nettement moins dispersés que ceux de la zone non améliorée : ceci tend à prouver que les tranchées de Trenchmix « encagent » le sol et permettent une réelle homogénéisation du tassement, ce qui n'est pas



Photo 5  
Remblai de chargement de la zone améliorée par quatre Trenchmix (tête des piges tassométriques visibles au sommet)  
*Zone loading backfill improved by four Trenchmix plants (heads of the settlement gauges visible at the top)*

**LES PRINCIPAUX INTERVENANTS**

**Maître d'ouvrage**  
Port Autonome de Paris – Agence portuaire Seine Amont

**Maître d'œuvre**  
Port Autonome de Paris – Département Équipement et Ingénierie

**Entreprise**  
Solétanche Bachy

## Trenchmix : une technique d'amélioration de sol qui contribue au développement durable



Photo 6

Tête de Trenchmix dégagée (zone gris-vert), plate-forme de travail (zone blanche) et tassomètre de forage (en bas à droite)

Uncovered Trenchmix head (grey-green area), work platform (white area) and drilling settlement gauge (bottom right-hand)

► nécessairement le cas des procédés d'amélioration des sols de type ponctuels.  
La photo 6 présente une tranchée dégagée au sommet de la plate-forme de travail.

### ■ Trenchmix et développement durable

Cette technique d'amélioration de sol contribue indéniablement au développement durable :

- elle ne produit pas ou peu de déblais; ce qui évite donc les transports pour mise en décharge, générateurs d'émission de CO<sub>2</sub>;
- elle utilise les terrains en place, ce qui évite de puiser dans les ressources naturelles et évite en même temps les transports de matériaux;
- les seuls transports associés à ce type de technique sont donc les amenées et replis de matériel (limités compte tenu d'un matériel compact et réduit) et le transport du ciment (optimisé en fonction des essais de laboratoire qui permettent d'adapter le taux d'incorporation de ciment aux caractéristiques des matériaux en place). ■

### ABSTRACT

*Trenchmix : a soil improvement technique which contributes to sustainable development*

S. Corneille, A. Ré

*Trenchmix is a soil mixing technique not yet widely used in France but destined to a bright future. This innovation developed by Solétanche Bachy is less costly and more environmentally friendly than other soil improvement techniques. Here is an example of the use of Trenchmix on the site of a storage platform in the port of Montereau.*

### RESUMEN ESPAÑOL

*Trenchmix : técnica de mejora de suelo que contribuye al desarrollo sostenible*

S. Corneille y A. Ré

*El Trenchmix es una técnica de suelo-mixing todavía poca utilizada en Francia pero cuyo futuro es prometedor. Efectivamente, esta innovación desarrollada por Solétanche Bachy presenta un coste reducido y es más respetuosa del medio ambiente que otras técnicas de mejora de suelo. Este artículo propone un ejemplo de implementación del Trenchmix en la obra de una plataforma de almacenamiento en el puerto marítimo de Montereau.*

# Utilisation de ressorts amortisseurs précontraints Jarret dans les confortements parasismiques

**Jean-Marie Dolo**  
Responsable technique  
pôle GCN  
Eiffage TP GCN

**Pierre Wyniecki**  
Gérant et directeur technique  
Géonumeric

**Alfred Krief**  
Responsable technique  
Jarret

**François Martin**  
Responsable d'agence  
Iosis Industrie  
Méditerranée

**Cet article décrit une méthode alternative au renforcement structurel parasismique, à l'aide de ressort amortisseur précontraint. C'est une méthode mathématique numérique développée sous les logiciels ANSYS et HERCULE. Le résultat permet un fonctionnement parasismique sans renforcement de la structure pour un coût sensiblement plus faible.**

## ■ Origine de notre réflexion

Dans le cadre d'appels d'offres pour la maintenance de site nucléaire et leur conformité sismique (dans le cadre des visites décennales), nous avons été confrontés à des travaux de renforcement de structure en site difficile. Ceux-ci conduisent à un nombre important d'heures travaillées et par conséquent à un coût élevé de ces opérations. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes lancés dans la recherche de solutions alternatives, inspirées des solutions utilisées dans les zones très fortement sismiques des États-Unis et du Japon. Ces solutions alternatives font appel à l'utilisation d'amortisseurs sismiques que nous allons décrire ci-après.

## ■ Qu'est-ce qu'un ressort amortisseur précontraint ?

Ces technologies se décomposent en trois familles : les amortisseurs purs, les amortisseurs ressorts et les ressorts amortisseurs précontraints.

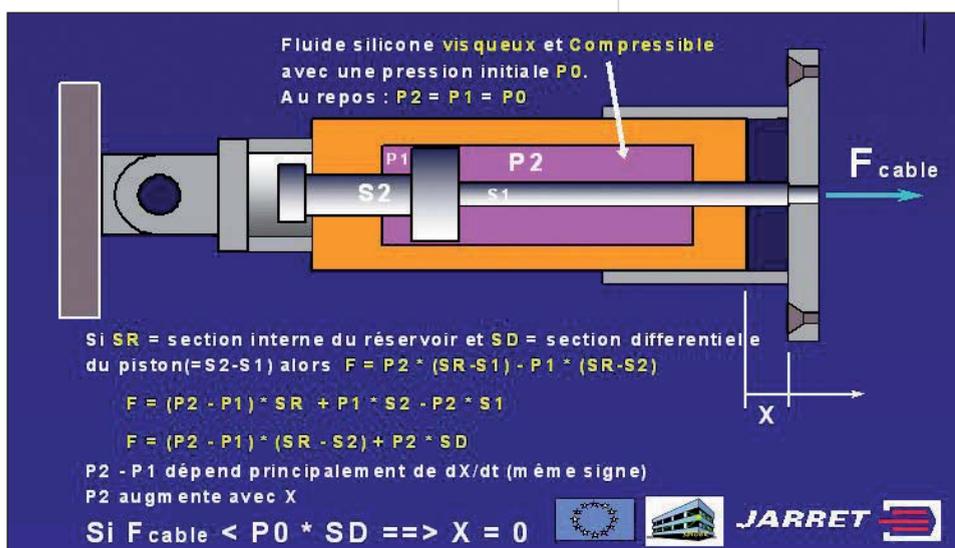
- les amortisseurs « purs » ont pour fonction unique, de dissiper l'énergie du séisme. Cependant l'amortissement ne se produit qu'après une déformation importante de la structure. Le retour à la position initiale de celle-ci se fait uniquement grâce à sa propre élasticité ;
- les amortisseurs ressorts ont un fonctionnement identique aux amortisseurs purs. L'adjonction de la fonction ressort permet seulement une aide au retour à la position d'équilibre de la structure ;
- les ressorts amortisseurs précontraints RAP, brevetés par la société Jarret, sont des amortisseurs sismiques de nouvelle génération, travaillant sous petits déplacements de la structure autour de sa position d'équilibre. Ils permettent de dissiper 90 % de l'énergie dès la première oscillation (figure 1).

## ■ Notre approche du dimensionnement

Nous avons travaillé avec la société Jarret, spécialisée dans le domaine parasismique afin d'obtenir une méthode de dimensionnement et de validation des RAP (ressorts amortisseurs précontraints) par le calcul et leur adaptation à la structure à protéger.

*Nota : Des essais grandeur nature ont été menés sur les RAP et sur leur extension le « système spider », par un groupe de travail européen. Les résultats de ces essais seront confrontés à notre approche mathématique (cf. infra « Les calculs effectués »).*

La société Jarret possède un logiciel « maison » permettant la détermination des caractéristiques des RAP



**Figure 1**  
Schéma de principe d'un RAP  
Schematic diagram of a preloaded spring shock absorber

Utilisation de ressorts amortisseurs précontraints Jarret dans les confortements parasismiques

Figure 2

Schéma de principe cas 1  
Schematic diagram case 1

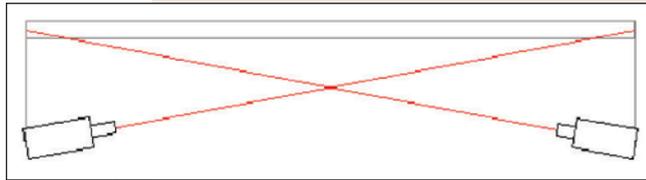


Figure 3

Résultat d'amortissement cas 1  
Damping result case 1

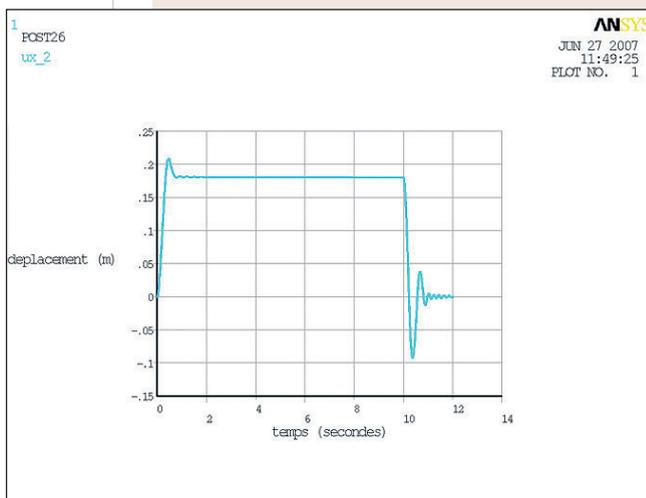


Figure 4

Schéma de principe cas 2  
Schematic diagram case 2

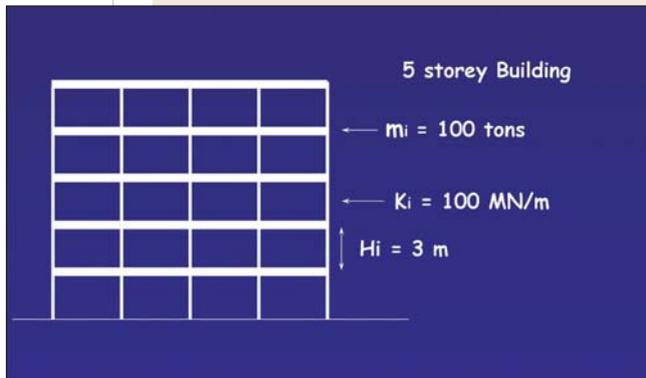


Figure 5

Résultat d'amortissement cas 2  
Damping result case 2

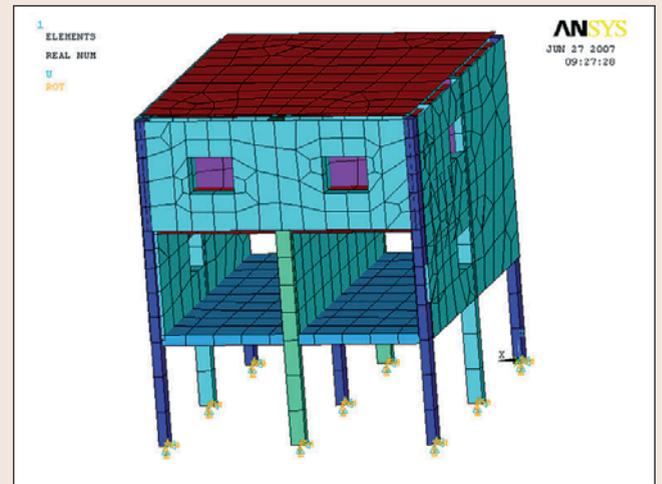
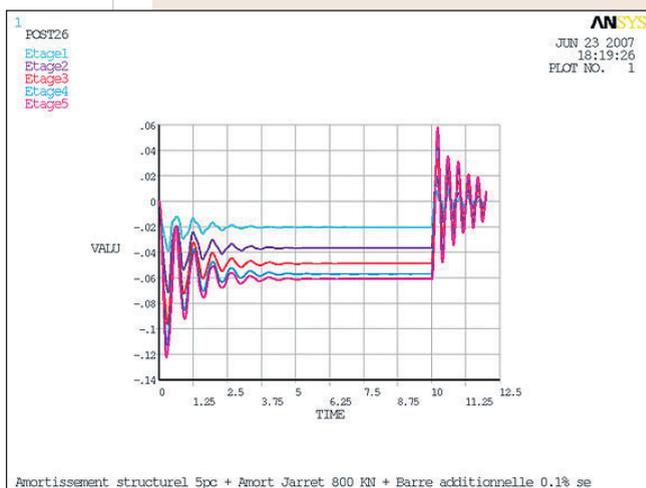


Figure 6

Schéma de principe cas 3  
Schematic diagram case 3

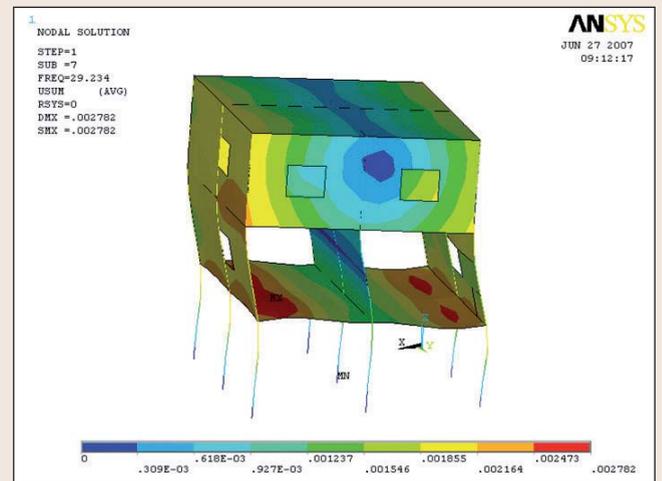


Figure 7

Résultat d'amortissement cas 3  
Damping result case 3



(ressorts amortisseurs précontraints) en fonction de modélisation de structure portique en deux dimensions. Ce logiciel ne peut toutefois pas traiter les structures tridimensionnelles et ne prend pas en compte les combinaisons tri directionnelles.

Notre approche a donc été de modéliser, par des objets spécifiques, les RAP dans des logiciels de calcul tridimensionnel pouvant effectuer des calculs dynamiques temporels.

Nous avons retenu deux logiciels ANSYS et HERCULE qui présentent un code de calcul interne différent. La confrontation des résultats de calcul identique permettra aussi la validation de la méthode.

Nous avons fait appel à la société Géonumeric pour le développement sous ANSYS et à la société Iosis Industrie (anciennement dénommée Sechaud et Metz) pour le développement sous HERCULE.

### ■ Les calculs effectués

Nous avons choisi de mener des calculs selon trois cas élémentaires :

- 1<sup>er</sup> cas : un portique simple 2D;
- 2<sup>e</sup> cas : une structure 2D de cinq étages et de quatre travées;

- 3<sup>e</sup> cas : la structure 3D des essais du groupe de travail européen. (figures 2 à 7).

Pour chacun des cas étudiés, un calcul complet a été effectué avec le logiciel de la société Jarret et les logiciels ANSYS et HERCULE.

### ■ La validation

Dans les trois cas et avec les trois logiciels, nous avons obtenu la convergence des résultats : tant en matière d'amortissement, qu'en matière de déplacement.

Nous avons donc défini la méthode générale suivante de calcul :

- prédimensionnement des systèmes amortisseurs à l'aide du logiciel Jarret (car il est très rapide);
  - introduction des données Jarret dans les modèles ANSYS et HERCULE;
  - réalisation des calculs sismiques non linéaires;
  - comparaison des résultats des deux modèles et analyses comportementales;
  - vérification des contraintes et des ferrailages à l'aide de post-processeur (FEMAPP et HERCULE par exemple).
- Cette méthode peut donc être utilisée dans la validation



Photo 1

Vue de la structure d'essais Enea

View of the Enea test structure

## Utilisation de ressorts amortisseurs précontraints Jarret dans les confortements parasismiques

► complète d'une solution de protection parasismique à l'aide de RAP (Ressorts amortisseurs précontraints).

### ■ Le système « spider »

Le système « spider » est une extension de l'utilisation des RAP. Le RAP est prolongé par un câble de type « précontrainte » traversant plusieurs niveaux d'un bâtiment. Ainsi les déplacements interplanchers, par la déformation du câble, se trouvent cumulés en extrémité du RAP et donc amortis (photo 1).

### ■ Étude d'une application concrète

Nous avons mené une étude complète à base de RAP et de spider sur le confortement sismique des bâtiments électriques de la centrale du Bugey (tranche 2/3 et tranche 4/5).

Les résultats de cette étude conduisaient à supprimer tous les renforts structurels, à ne pas reprendre les joints, à limiter les contraintes dans la structure et par conséquent à valider les ferrillages existants et à supprimer le recours au coefficient de plastification.

Pour le chantier, le nombre d'heures travaillées est réduit de façon notable, facilitant les interventions durant les arrêts de tranche (figure 8). ■

### ABSTRACT Use of Jarret preloaded spring shock absorbers in earthquake-resistant consolidation

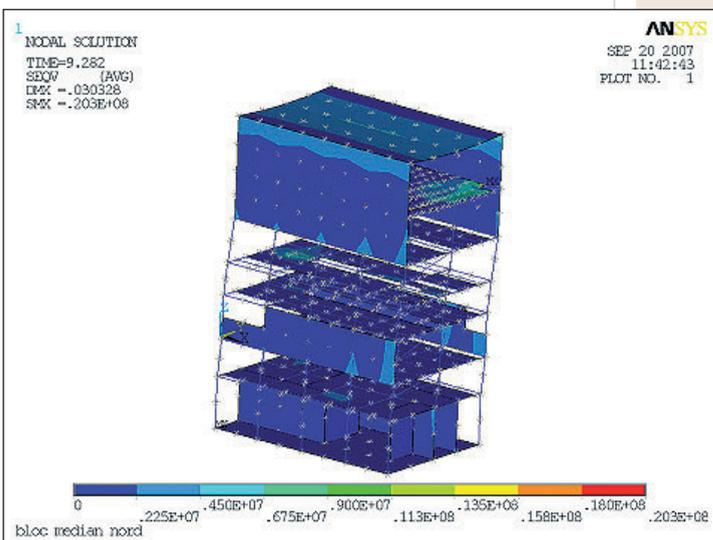
J.-M. Dolo, P. Wyniecki, A. Krief,  
Fr. Martin

*This article describes an alternative method to earthquake-resistant structural strengthening, using preloaded spring shock absorbers. This is a numerical mathematical method developed under the Ansys and Hercule software programs. The result is earthquake-resistant performance without strengthening the structure, for a far lower cost.*

### RESUMEN ESPAÑOL Utilización de resortes amortiguadores pretensados Jarret en las obras de consolidación antisísmicas

J.-M. Dolo, P. Wyniecki, A. Krief  
y Fr. Martin

*En el presente artículo se describe un método alternativo a la consolidación estructural antisísmica, mediante resorte amortiguador pretensado. Se trata de un método matemático digital desarrollado con los softwares Ansys y Hercule. El resultado permite un funcionamiento antisísmico sin tener que consolidar la estructura para un coste sensiblemente*



**Figure 8**  
Résultat du calcul du bloc médian sud de la centrale du Bugey  
Calculation result for the southern median block of Bugey power station

# L'unité mobile de traitement des eaux (UMTE)

**Denis Guillermand**  
Directeur  
Gauthey

**Christophe Guillaumin**  
Ingénieur Génie  
de l'Environnement  
Gauthey

**L'Unité mobile de traitement des eaux (UMTE) développée par Gauthey (Eiffage Travaux Publics) est utilisée pour épurer sur site, une large gamme d'effluents pollués.**

**Le procédé mis en œuvre est constitué d'une coagulation couplée à une filtration sur sable et charbon actif permettant de traiter efficacement les particules, les composés organiques dissous et certains métaux lourds. L'objectif de traitement est défini par la réglementation en vigueur pour le milieu récepteur identifié sur site (station d'épuration, cours d'eau...). Chaque effluent étant particulier, une phase d'essais est réalisée pour vérifier leur traitabilité ainsi que les quantités de réactifs nécessaires et sous produits générés. Ces derniers (boues et charbon actif saturé) seront évacués vers des filières de traitement agréées.**

## ■ Origine du projet

Certaines entreprises de travaux publics, certains industriels ou encore les pouvoirs publics peuvent être confrontés à des pollutions d'eau d'origine accidentelle. Comment alors, gérer au mieux, d'un point de vue environnemental et financier, ces situations lorsque les volumes en jeu sont importants (plus de 50 m<sup>3</sup>) et ceci dans le respect de la réglementation ?

C'est la question que s'est posée l'entreprise Gauthey, filiale d'Eiffage Travaux Publics.

Basée à proximité de Chambéry (73) et regroupant près de 250 salariés, l'entreprise a développé à partir de 2000 une activité de dépollution de sols. En 2005, par sa volonté d'apporter des solutions techniques nouvelles à ses clients, Gauthey a décidé de concevoir une unité de traitement des eaux ayant pour but :

- d'intervenir sur des chantiers nécessitant un traitement de nappes polluées ;
- de traiter toute pollution aqueuse confinée suite à un incident.

Les familles de molécules visées par le traitement sont celles rencontrées le plus fréquemment dans les rejets industriels et difficilement éliminées dans les milieux naturels, à savoir : les molécules organiques type hydrocarbures et les métaux lourds.

En relation avec l'École d'ingénieur en Génie de l'environnement de Chambéry (Polytech'Savoie), Gauthey a travaillé à la définition d'un cahier des

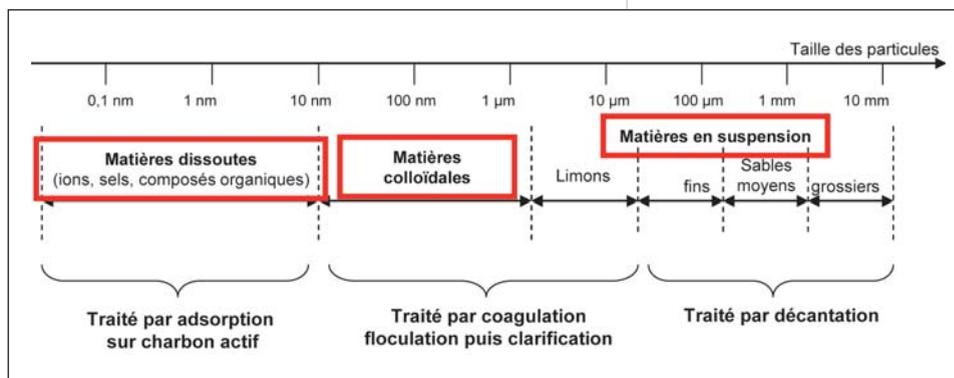
charges et à la faisabilité de l'Unité mobile de traitement des eaux (UMTE).

Le cahier des charges a été défini selon trois préoccupations majeures :

- pouvoir traiter avec fiabilité des pollutions de nature variable ;
- être capable d'intervenir rapidement avec un maximum d'autonomie ;
- disposer d'un système suffisamment automatisé pour sécuriser le fonctionnement et la qualité de traitement.

Le traitement retenu s'appuie sur deux procédés :

- la coagulation-floculation + clarification : les particules (colloïdes) sont « précipitées » puis séparées par gravité ;
- l'adsorption sur charbon actif : certains composés dissous sont extraits de l'eau et fixés sur un support inerte (figure 1).



## La coagulation-floculation et la clarification

Les matières colloïdales sont des particules très fines qui présentent à leur surface des charges électriques négatives ce qui leur confère une tendance naturelle à se repousser et à se stabiliser en solution. La rupture de cette stabilité est possible grâce à l'ajout de produits appelés coagulants qui sont des sels métalliques de type chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>) ou sulfate d'aluminium (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). En solution, ces molécules s'hydrolysent pour former des complexes chargés positivement très efficaces pour neutraliser la charge électrique des colloïdes. Cette réaction doit se faire sous agitation rapide de manière à disperser au mieux les molécules actives. Dans un second temps, le coagulant précipite sous forme de gel et piège les colloïdes. Il se forme ce que l'on appelle des floes.

Cette étape doit être réalisée sous agitation lente de manière à augmenter la probabilité de rencontre des

Figure 1

Représentation des polluants suivant leur état physique

Illustration of pollutants according to their physical state

L'unité mobile de traitement des eaux (UMTE)



Figure 2

De gauche à droite : effluent brut, puis pendant l'étape de floculation, et après décantation naturelle

From left to right : raw effluent, then during the flocculation stage, and after natural settling

particules et de favoriser l'accroissement de la grosseur des floes (figure 2).

Cette technique est très efficace pour traiter les particules fines sur lesquelles sont fixées des molécules organiques, ce qui entraîne généralement une forte réduction des paramètres MES (Matières en suspension), DCO (Demande chimique en oxygène) et DBO5 (Demande biologique en oxygène). Sont également traités certains métaux lourds et les phosphates.

L'étape de clarification doit permettre de séparer la boue formée de la phase aqueuse. Pour cela une simple sédimentation dans un décanteur lamellaire suffit. L'utilisation de plaques inclinées (lamelles) à l'intérieur du décanteur permet d'augmenter la vitesse de décantation et de réduire la surface au sol de l'équipement. Les boues extraites du décanteur sont concentrées et éliminées vers des filières agréées.

L'adsorption sur charbon actif

Le phénomène d'adsorption est défini par la propriété de certains matériaux à fixer à leur surface des molécules sans réaction chimique. L'efficacité de l'adsorption dépend entre autres, de la nature chimique de la molécule à adsorber, de la surface de contact disponible entre l'effluent et les sites d'adsorption et du temps de contact. D'une manière générale, les composés les mieux adsorbés sont ceux qui ont un poids moléculaire élevé et une faible solubilité dans l'eau.



Photo 1

Charbon actif en grains

Activated carbon in grains

Le charbon actif est obtenu à partir de matériaux carbonés (lignite, houille, noix de coco...) ayant subi une série de traitements thermiques élaborés. Le squelette carboné résiduel obtenu a la particularité de développer une surface de contact très importante allant de 500 à 1500 m<sup>2</sup> par gramme de solide.

Son utilisation est dédiée aux micropolluants tels que les phénols, les hydrocarbures, les pesticides, les détergents voire certains métaux lourds.

Le charbon actif saturé en polluants est soit régénéré par voie thermique puis réutilisé, soit éliminé par un centre agréé (photo 1).

Description du matériel

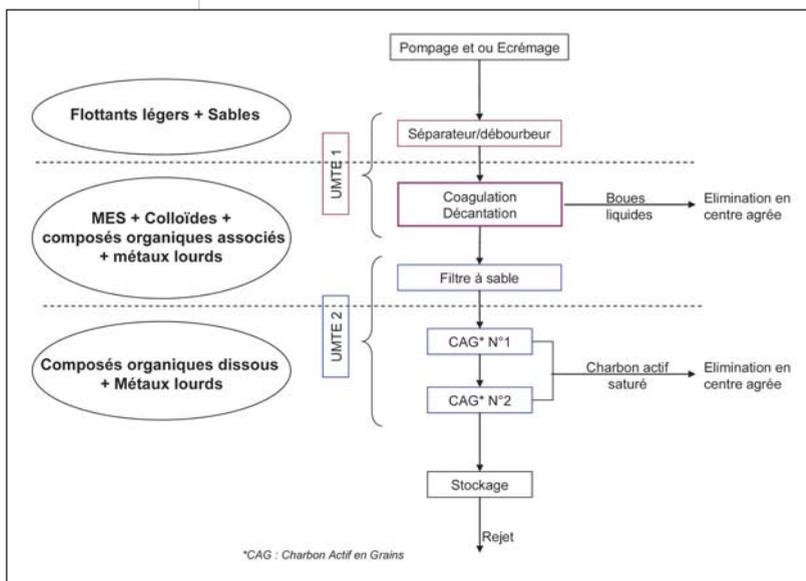
L'Unité mobile de traitement des eaux (UMTE) est capable de traiter un débit maximal de 10 m<sup>3</sup>/h et se présente en deux modules de même volume (H x L x l = 2,6 m x 6 m x 2,5 m) :

- l'UMTE 1 abrite sous la forme d'un conteneur :
  - > un séparateur à hydrocarbure-débourbeur,
  - > un poste de préparation et d'injection de coagulant,
  - > une zone de maturation des floes,
  - > une décantation lamellaire;
- l'UMTE 2 regroupe sous la forme d'un support en acier :
  - > un filtre à sable,
  - > deux filtres à charbon actif en série.

(figure 3 et photo 2).

La consommation électrique est voisine de 15 kW. L'utilisation d'un groupe électrogène rend l'UMTE entièrement autonome.

Figure 3  
Schéma de principe. Polluants traités et étapes de traitement  
Schematic diagram. Treated pollutants and treatment stages



\*CAG : Charbon Actif en Grains



Photo 2

L'unité mobile de traitement des eaux (UMTE) et ses deux modules de traitement

*The mobile water treatment unit (UMTE) and its two treatment modules*

Elle est par ailleurs équipée de capteurs et automatismes en vue de fiabiliser le traitement. Une bache de stockage placée en aval du traitement permet de contenir les effluents en cas de dysfonctionnement et de constituer un échantillon représentatif pour analyse avant validation du rejet, ce point est particulièrement important au regard du client et des autorités compétentes.

Le process est suivi à l'aide de vannes d'échantillonnages présentes après chaque étape de traitement. Gauthey met en œuvre son unité de traitement en présence d'au minimum un technicien qualifié de manière à assurer le bon fonctionnement des appareillages, la surveillance de la qualité du traitement et le renouvellement des consommables.

### ■ Préparation de chantier

La préparation d'une intervention nécessite de connaître la qualité de l'effluent brut (origine de la pollution, volume, aspect visuel, composition) et les objectifs de traitement (suivant le contexte réglementaire du site – ICPE ou non) avant de réaliser un test en laboratoire.

Celui-ci a un double objectif :

#### FICHE TECHNIQUE

- Unité entièrement autonome
- Débit de traitement : 5 à 10 m<sup>3</sup>/h
- Volume minimal à traiter : 50 à 100 m<sup>3</sup>
- Volume maximal à traiter : plusieurs milliers de mètres cubes
- Type d'effluents concernés : tous types. Suivant les polluants, l'UMTE peut être complétée par des traitements plus spécifiques comme des résines échangeuses d'ions pour les cyanures, une colonne de stripping pour les composés volatils

	Concentrations en mg/L		Rendements d'épuration	
	Effluent Brut		après coagulation	après charbon actif
MES	250		60.0%	90.8%
DCO	930		62.4%	89.7%
DBO5	160		77.5%	93.1%
NGL	25		70.3%	89.0%
Phosphore total	35		84.4%	99.4%
Détergents anioniques	37		59.5%	99.4%





- définir si le traitement est capable d'atteindre les objectifs de rejet et sous quelles conditions de fonctionnement (choix du coagulant - choix du charbon actif);
  - estimer les quantités de consommables et de sous-produits générés par le traitement.
- Il consiste à réaliser :
- des jar-tests : il s'agit de mettre en contact l'effluent brut avec différentes quantités de coagulants et d'observer la formation des floccs et leur rapidité de décantation;
  - des essais sur charbon actif en grains (CAG) visant à déterminer dans des conditions proches du terrain, le point de fonctionnement optimal des filtres à CAG (quantités-temps de contact...).

### ■ Exemples

#### Essais en laboratoire

Un test en laboratoire a été réalisé sur un effluent industriel coloré et présentant une forte charge particulaire.

Le prélèvement a subi une coagulation au chlorure ferrique suivi d'un contact prolongé sur charbon actif (figure 4).

Figure 4

Résultats des tests en laboratoire sur un effluent ayant subi une coagulation suivie d'un passage sur charbon actif  
*Results of laboratory tests on an effluent that has undergone coagulation and then passed over activated carbon*



L'unité mobile de traitement des eaux (UMTE)

Figures 5 et 6

Suivi des matières en suspension et hydrocarbures (HCT) en différents points de l'UMTE sans mise en service de la coagulation  
 Monitoring of suspended solids and hydrocarbons (THC) at various points of the UMTE without performing coagulation

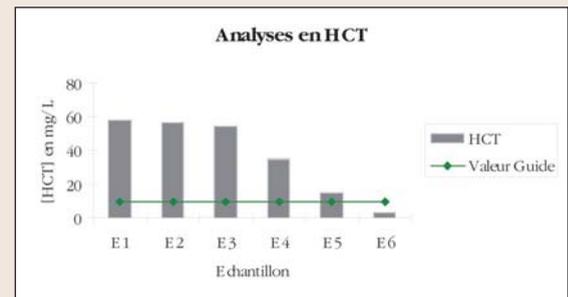
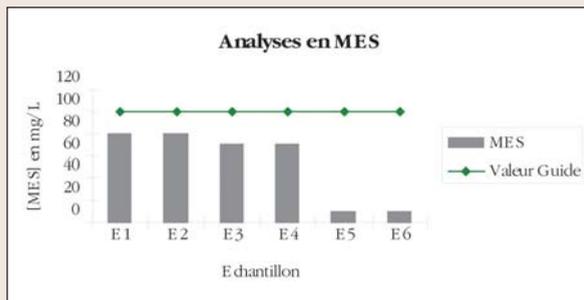


Photo 3

Eaux avant traitement  
 Water before treatment



Photo 4

Eaux traitées  
 Treated water



Nous remarquons que l'étape de coagulation est très efficace sur cet effluent et pour tous les paramètres analysés, en particulier les phosphates. Le charbon actif joue un rôle d'affinage efficace sur la pollution organique, azotée ou phosphorée. Cet effluent contenait une quantité importante de détergent également très bien traité notamment par le charbon actif.

**Essai de terrain**

Il s'agissait de traiter les eaux issues d'une aire de lavage et d'un réseau pollué aux hydrocarbures (HCT). L'UMTE a été mise en œuvre sans coagulation donc les effluents ont été traités successivement par le filtre à sable puis les filtres à charbon actif en grains (CAG). La pollution principale concernait les hydrocarbures avec une concentration de 58 mg/l pour un objectif de rejet de 10 mg/l (arrêté du 2 février 1998 sur les ICPE). Un suivi des HCT et des matières en suspension (MES) a été réalisé en différents points du traitement : E1 : effluent brut; E2 : après séparateur à hydrocarbures; E3 : après coagulation et décanteur lamellaire; E4 : après filtre à sable; E5 : filtre à CAG n° 1; E6 : après filtre à CAG n° 2 (figures 5 et 6).

Nous remarquons que sans coagulation-floculation, le filtre à sable n'est pas efficace. La pollution particulière est ici présente sous forme de colloïdes; les particules sont donc trop fines pour être stoppées par le filtre à sable. Les filtres à CAG sont en revanche très efficaces et suffisent à respecter les valeurs guides (photos 3 et 4). Le fonctionnement sans coagulant peut être envisagé seulement dans le cas d'effluents faiblement pollués (notamment en MES) et pour des volumes peu importants car les filtres à CAG se colmatent rapidement.

## ■ Conclusion

Une telle unité présente deux avantages évidents : une chaîne de traitement complète et modulable couplée à une grande mobilité, la rendant adaptée à tous types de chantiers.

La présence d'un traitement des matières en suspension permet d'atteindre des rendements épuratoires élevés sur une large gamme de polluants et de protéger les charbons actifs. En outre, Gauthey propose une prestation clés en main totalement sécurisante pour le client, incluant des essais préalables visant à définir les conditions optimales de fonctionnement.

Les sous-produits de traitement dans lesquels sont concentrés les polluants, sont gérés selon des filières agréées. Une attention particulière doit être portée sur la gestion des boues de coagulation dont la quantité et la qualité varient fortement d'un effluent à l'autre. ■

## ABSTRACT *The mobile water treatment unit (UMTE)*

*D. Guillermand, Ch. Guillaumin*

*The mobile water treatment unit developed by Gauthey (Eiffage Travaux Publics) is used to clean, on site, a wide range of polluted effluents. The process employed consists of coagulation combined with sand and activated carbon filtering to effectively treat particulates, dissolved organic compounds and certain heavy metals. The treatment objective is defined by the existing regulations for the receiving environment identified on site (treatment plant, water-course, etc.).*

*Each effluent being specific, a test phase is carried out to verify their treatability, the quantities of reagents required and the by-products generated. The latter (sludges and saturated activated carbon) will be taken away to certified treatment processes.*

## RESUMEN ESPAÑOL *Unidad móvil de tratamiento de aguas*

*D. Guillermand y Ch. Guillaumin*

*La Unidad móvil de tratamiento de aguas desarrollada por Gauthey (Eiffage Travaux Publics) se emplea para depurar in situ, una amplia gama de efluentes contaminados. El procedimiento implementado está formado por una coagulación acoplada con una filtración en arena y carbón activo que permite tratar eficazmente las partículas, los compuestos orgánicos disueltos y algunos metales pesados. El objetivo de tratamiento va definido por la normativa vigente para el medio receptor identificado in situ (estación depuradora, ríos, etc.). Cada efluente siendo particular, se ha llevado a cabo una etapa de ensayos para comprobar su tratabilidad así como las cantidades de reactivos necesarias y los subproductos generados. Estos últimos (lodos y carbón activo saturado) se evacuarán hacia diversos sectores de tratamiento certificados.*

# Ultrafiltration pour la station



**La station d'épuration du Moulin Neuf, qui offrira une capacité de 60 000 équivalents-habitants, sera la plus grande installation hexagonale de ce type à bénéficier du procédé de traitement membranaire Ultrafor®. L'utilisation de la technique de préchargement a également permis la construction sur fondation superficielle en supprimant la nécessité de réaliser des fondations profondes.**

Les travaux de construction de la future station d'épuration intercommunale du Moulin Neuf – conçue par Degrémont (groupe Suez Environnement) et réalisée par le groupement Degrémont-Razel – implantée à Ollainville (91), sur l'emplacement d'une ancienne usine de peinture, ont débuté le 26 février de cette année. L'ouvrage, dimensionné pour une capacité de 10 500 m<sup>3</sup>/jour – soit les besoins de 60 000 équivalents-habitants – constitue en quelque sorte une première francilienne, puisqu'il accueillera et traitera les effluents de 18 communes<sup>1</sup>. Une politique de proximité qui évitera aux effluents de passer par la case Valenton (94)

1. Deux sont dans les Yvelines – Saint-Martin-de-Bréthencourt et Sainte-Mesme – et seize dans l'Essonne : Arpajon, Breuillet, Breux-Jouy, Bruyères-le-Châtel, Corbreuse, Dourdan, Égry, Mauchamps, Ollainville, Roinville-sous-Dourdan, Saint-Chéron, Saint-Sulpice-de-Favières, Saint-Yon, Sermaise, Souzy-la-Briche et Villeconin.

située plus en aval, à 80 km du site. Autrement dit, en éliminant les coûts de transport que sous-tend un tel éloignement, mais aussi en facilitant le traitement des effluents qui n'auront ainsi pas le temps de se dégrader et de fermenter dans le réseau d'acheminement.

Dans la pratique le projet, mené par le Sivso en concertation avec l'Agence de l'eau, la Région ainsi que les départements des Yvelines et de l'Essonne, est l'aboutissement de douze années de préparation eu égard à la difficulté de faire accepter un tel équipement de proximité.

## ■ Génie civil allégé

L'installation, construite dans une optique de développement durable – utilisation de bois comme matériau privilégié, souci d'intégration paysagère et présence de cellules photovoltaïques sur certains bâtiments – utilisera le procédé membranaire d'ultrafiltration Ultrafor® (cf. encadré « Le procédé d'ultrafiltration »), les membranes faisant office de barrière physique s'opposant au passage des matières organiques et des éléments en suspension.

Avantages : maîtrise des nuisances olfactives (couverture aisée des ouvrages et optimisation du traitement de l'air), et suppression de deux clarificateurs de 40 m de diamètre.

À la clef : réduction des coûts de génie civil et diminution d'emprise. L'unité d'Ollainville sera, lors de sa mise en service prévue à l'été 2009, la plus grande sta-

# et « préchargement » d'épuration d'Ollainville

**Olivier Mathern**  
Directeur de projet  
Degrémont

**Jean-Pierre Sanfratello**  
Responsable  
Géotechnique  
Razel

**Vincent Dupré**  
Directeur de projet  
Razel

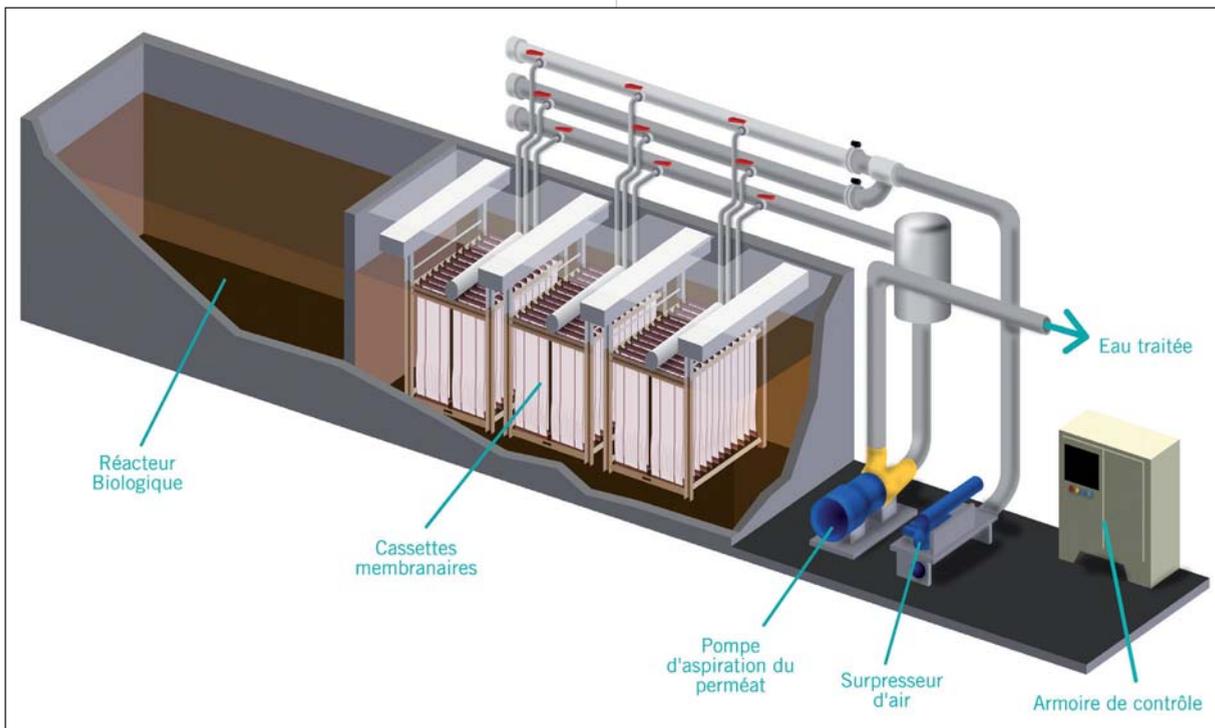


Figure 1

Le procédé par ultrafiltration, complété d'un traitement par injection de chlorure ferrique, permettra de garantir des eaux à moins de 0,5 mg/l de phosphore  
*The ultrafiltration process, supplemented by treatment with ferric chloride injection, will guarantee water with less than 0.5 mg/l of phosphorus content*

tion française à intégrer cette technologie de pointe, du moins dans le domaine de l'assainissement. Autre particularité : la mise en œuvre d'un process biologique pour l'élimination des polluants phosphatés. Un second traitement physico-chimique, consistant à injecter du chlorure ferrique, viendra renforcer la première étape, l'ensemble de ces opérations permettant

de garantir des eaux contenant moins de 0,5 mg/l de phosphore. Il s'agit là encore d'une première hexagonale – les rejets classiques se situant entre 1 et 2 mg/l – qui permettra de garantir des eaux de qualité « baignade » qui pourront donc, sans risque pour l'environnement, être rejetées dans l'Orge et la Rémarde, les deux rivières limitrophes.

## Le procédé d'ultrafiltration

L'Ultrafor® se compose d'un bassin d'aération et d'un système de membranes, disposées en modules, immergées directement dans le bassin ou dans une cuve annexe. L'eau chargée subit les prétraitements classiques de dégrillage – élimination des éléments supérieurs à 6 mm de diamètre – puis de désablage-déshuilage. Ce dernier permet de précipiter les matières en suspension et de piéger les huiles en surface. Les eaux sont alors stockées dans un bassin tampon de 2000 m<sup>3</sup>, puis envoyées par pompage sur des tamis ultrafins afin d'éliminer toutes les matières physiques ou organiques supérieures à 0,75 mm. Elles sont ensuite introduites dans le réacteur biologique où sont éliminées les pollutions carbonée, azotée et phosphatée, le traitement de dégradation étant assuré par des bactéries alimentées en oxygène par l'intermédiaire de surpresseurs.

Le procédé de filtration membranaire permet ensuite de séparer l'eau épurée et les boues produites dans le bassin d'aération, en éliminant toutes les particules et micro-organismes supérieurs à 0,035 micromètre de diamètre. Les boues en excès, extraites du bassin puis déshydratées au moyen de centrifugeuses, peuvent ensuite être incinérées ou valorisées par compostage ou épandage. Le maintien de la perméabilité des membranes est maîtrisé en combinant et en adaptant les opérations d'aération cyclique, de « rétro lavage », de maintenance et de régénération.



Photo 2

Le préchargement des terrains s'est déroulé en deux phases successives, chacune d'elle nécessitant de déplacer 18000 m<sup>3</sup> de matériaux  
*Soil preloading was carried out in two successive stages, for each of which 18,000 cu. m of materials had to be moved*

Ultrafiltration et « préchargement » pour la station d'épuration d'Ollainville

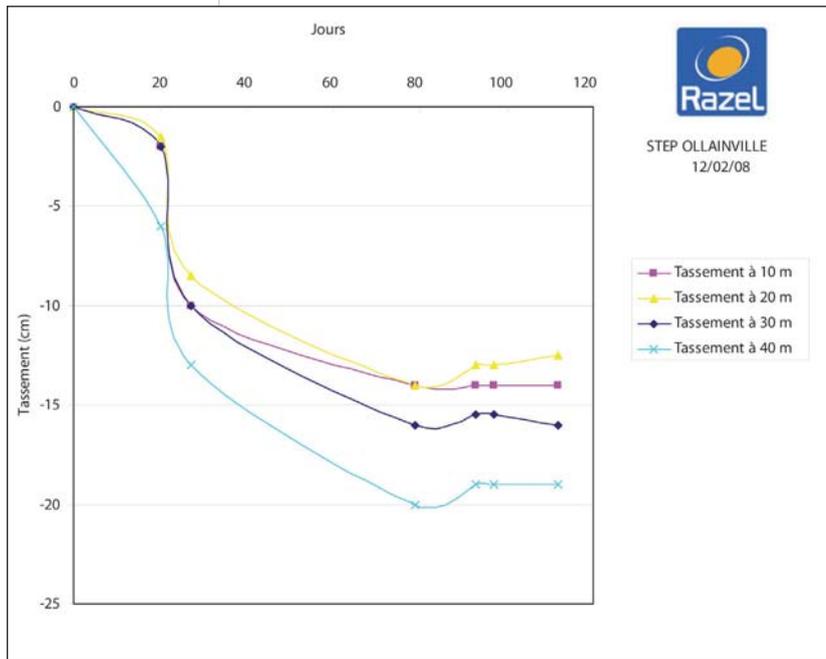


Figure 2

Tassements enregistrés en fonction du temps  
 Settlement values recorded versus time

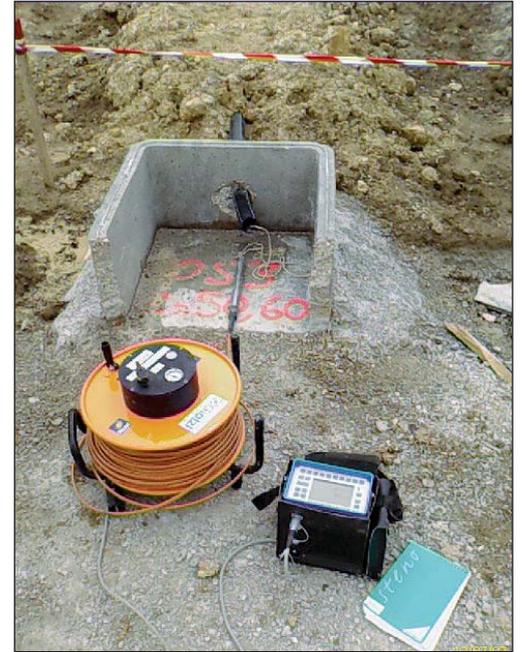


Photo 4

Les résultats de l'évolution des tassements ont été fournis par un profilomètre hydrostatique reposant, à chaque extrémité, sur une petite dalle béton  
 The settlement evolution results were provided by a hydrostatic profilometer resting, at each end, on a small concrete slab

Photo 3

L'utilisation du procédé membranaire permet de réduire les coûts de génie civil en supprimant deux clarificateurs de 40 m de diamètre

Using the membrane process, civil engineering costs can be reduced by eliminating two clarifiers of diameter 40 m



## ■ Fondations superficielles

Autre particularité de ce projet, réalisé en conception-construction : l'utilisation de la technique de préchargement du sol. Une solution assez peu employée sur des ouvrages de ce type, eu égard aux délais qu'elle implique et aux contraintes de tassements résiduels exigées, en l'occurrence moins de 3 cm. Il s'agissait, bien entendu, d'améliorer les caractéristiques géologiques du terrain en le consolidant au moyen de matériaux rapportés. Et ce, afin d'éviter d'avoir recours aux fondations profondes qui figuraient dans le programme initial, en permettant ainsi de construire sur fondations superficielles.

Cette technique, qui limitait par ailleurs fortement les terrassements, donc les risques de remettre en suspension d'éventuels polluants piégés dans le sous-sol, se révélait assez bien adaptée au terrain, la géologie étant constituée d'un mélange de limons et de lentilles argileuses avec, néanmoins, la présence de couches de tourbe d'épaisseur assez faible (< 50 cm).

Le préchargement s'est déroulé en deux phases successives en déplaçant 18 000 m<sup>3</sup> à chaque intervention, deux tiers des matériaux provenant du site. Chaque merlon, qui atteignait jusqu'à 6 m de hauteur, reposait sur une couche drainante horizontale composée d'un géotextile posé au niveau du terrain naturel. Ils ont été maintenus en place pendant trois mois, les résultats de l'évolution des tassements étant fournis par un profilomètre hydrostatique, constitué d'une sonde enfermée dans un tube de PEHD, installé à la base du remblai, l'appareil reposant, à chaque extrémité, sur une petite dalle béton (1,00 x 2,00 m).

Un dispositif complémentaire de drains verticaux, enfoncés jusqu'à 5 m de profondeur, a permis d'accélérer le phénomène de consolidation des terrains. ■

### FICHE TECHNIQUE

#### **Maître d'ouvrage**

Syndicat intercommunal de la vallée supérieure de l'Orge (Sivso)

#### **Assistant maître d'ouvrage**

Hydratec

#### **Coordonnateur SPS et bureau de contrôle**

Qualiconsult

#### **Entreprises**

Groupement Degrémont (mandataire) - Razel - Thierry Grislain & Martine Proy (Architectes) - Espays (Paysagiste)

#### **Coût des travaux**

15 millions d'euros (HT)

#### **Mise en service**

Été 2009

## ABSTRACT Ultrafiltration and "preloading" for the Ollainville treatment plant

O. Mathern, J.-P. Sanfratello, V. Dupré

*The future Moulin-Neuf station, when placed in service (scheduled for the summer of 2009), will be the largest treatment plant in France to benefit from the Ultrafor® membrane treatment process. This technology, innovative in the field of sewerage, ensures that all particulates and micro-organisms larger than 0.035 micrometers in diameter are eliminated. It also lightens the civil engineering work for the plant, designed for a capacity of 60,000 population equivalents, by eliminating two clarifiers of diameter 40 m. The soil preloading technique, for its part, made it possible to greatly restrict earthworks, while eliminating the need for deep foundations. The preloading was carried out in two successive stages by moving 18,000 cu. m in each operation, with two-thirds of the materials coming from the site.*

## RESUMEN ESPAÑOL Ultrafiltración y "precarga" para la estación depuradora de Ollainville

O. Mathern, J.-P. Sanfratello y V. Dupré

*La futura estación del Molino-Nuevo será, en el momento de su entrada en servicio vislumbrada para el verano de 2009, la más grande estación depuradora de Francia en beneficiarse del proceso de tratamiento por membranas Ultrafor®. Esta tecnología, innovadora para el sector del saneamiento, permite en este caso, garantizar la eliminación de todas las partículas y microorganismos superiores a 0,035 micrómetro de diámetro. Además, esta tecnología permite reducir la ingeniería civil de la planta, diseñada para una capacidad de 60.000 equivalentes-habitantes, al suprimir dos clarificadores de 40 metros de diámetro. Por su parte, la utilización de la técnica de precarga de suelo ha permitido limitar considerablemente los movimientos de tierra suprimiendo al mismo tiempo la necesidad de recurrir a cimentaciones profundas. La precarga se ha ejecutado en dos etapas sucesivas y desplazando 18.000 m<sup>3</sup> en cada intervención, las dos terceras partes de los materiales procedieron del propio emplazamiento.*