

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

ENERGIE - DEVELOPPEMENT DURABLE. PROJET DE GATE DANS LE PORT DE ROTTERDAM. DEVELOPPER UN PROJET DE PARC EOLIEN. EXPLOSIF : SOURCE D'ENERGIE EFFICACE ET PROPRE. LIFTING ENVIRONNEMENTAL POUR SEINE-AMONT. NOUVEAU BASSIN D'ORAGE AU HAVRE. « CHANTIERS PROPRES » A LA DEFENSE. TRAITEMENT D'UNE NAPPE ARSENIEE. POLLUANTS POTENTIELS : COULIS ET BOUES UTILISES DANS LES FORAGES ET FONDATIONS

N° 864 SEPTEMBRE 2009

ENERGIE - DEVELOPPEMENT DURABLE

864 □ SEPTEMBRE 2009

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

A19 -
PASSAGE
POUR FAUNE

© PASCAL LE DOARE -
PHOTO THEQUE VINCI
ET FILIALES.



Directeur de la publication
Patrick Bernasconi**Directrice déléguée**
Rédactrice en chef
Mona Mottot3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fnfp.fr**Comité de pilotage**Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Datry
(Setec TPI), Philippe Jacquet
(Bouygues, Stéphane Monleau
(Solétanche Bachy), Bruno Radiguet
(Bouygues), Claude Servant (Eiffage
TP), Philippe Vion (Sétra), François
Vahl (FNTP), André Colson (FNTP),
Mona Mottot (FNTP)**Rubrique Actualité**
Monique Trancart**Service Abonnement et Vente**

Com et Com

Service Abonnement TRAVAUX

Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot

92350 Le Plessis-Robinson

Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22

Fax : +33 (0)1 40 94 22 32

Email : revue-travaux@cometcom.fr

France (10 numéros) : 190 € TTC

International (10 numéros) : 240 €

Enseignants (10 numéros) : 75 €

Étudiants (10 numéros) : 50 €

Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)

Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Maquette**

Idé Edition

33, rue des Jeûneurs - 75002 Paris

Tél. : +33 (0)1 40 13 89 11

www.ide.fr

Publicité

Régie Publicité Industrielle

Xavier Bertrand - Anne-Sophie Cuvillier

9, bd Mendès France

77600 Bussy-Saint-Georges

Tél. : +33 (0)1 60 94 22 20

Email : bertrand@rpi.fr - cuvillier@rpi.fr

Site internet : www.revue-travaux.com**Réalisation et impression**

Com'1 évidence

8, rue Jean Goujon - 75008 Paris

Tél. : +33 (0)1 40 74 64 34

Email : contact@com1evidence.com

La revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée
contraire aux intérêts de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0111 T 80259

INVESTISSEMENT ET R&D SERONT LES DEUX PILERS D'UN AVENIR ÉNERGÉTIQUE DURABLE



© DR

La prise de conscience du risque climatique, la formidable pression exercée sur les marchés énergétiques par la demande des pays émergents, ont placé l'énergie au cœur de la problématique du développement durable. S'il est vrai que cette problématique est planétaire, elle présente de fortes spécificités d'une région du monde à l'autre, ce qui explique, en particulier, la difficile émergence d'une gouvernance mondiale s'agissant de la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre.

Les pays les plus industrialisés qui ont bénéficié durant des décennies d'une énergie abondante et peu coûteuse, devront profondément remettre en cause un modèle de croissance économique gourmand en énergie qui a structuré non seulement l'industrie et les transports mais, peut-être plus durablement encore, l'aménagement du territoire, la construction, l'urbanisme, le mode de vie. Au-delà de l'évolution indispensable des comportements, des investissements lourds seront nécessaires : renouvellement des moyens de production d'électricité grâce au nucléaire, à la capture séquestration du CO₂, aux énergies renouvelables, infrastructures de transport favorisant la multimodalité, réhabilitation énergétique du bâti existant, refonte progressive de l'urbanisme...

Les pays émergents (Chine, Inde, Brésil...) qui ont encore devant eux des perspectives de croissance économique considérables, ont certes engagé quelques opérations exemplaires : le barrage des Trois Gorges, les programmes nucléaires chinois et indien, l'éolien chinois, la biomasse au Brésil. Ces opérations restent cependant marginales au regard de l'immensité des besoins qui sont pour l'essentiel satisfaits à partir de techniques classiques et polluantes. C'est en particulier la mise en service massive de centrales électriques au charbon qui a valu à la Chine de devenir le premier pays émetteur de CO₂ au monde. Le recours à des technologies « propres » s'imposera à moyen terme mais, là encore, il nécessitera non seulement quelques percées technologiques mais aussi de lourds investissements.

S'agissant des pays les moins développés, l'urgence est évidemment de leur permettre de disposer de l'énergie nécessaire pour soutenir une croissance aussi vigoureuse que possible. Certains d'entre eux, notamment en Afrique, disposent de ressources hydroélectriques considérables encore presque inexploitées ; leur mise en valeur justifiera de très importants investissements. Pour la plupart de ces pays cependant, la question cruciale est de savoir combien durera la phase transitoire où ils devront recourir à des combustibles fossiles onéreux et polluants en attendant des solutions mieux adaptées, solaires en particulier. Au-delà des investissements nécessaires, la mise au point et le transfert des technologies joueront un rôle décisif.

En tout état de cause, prendre le chemin d'un développement énergétique durable supposera simultanément l'engagement de grands programmes d'investissement selon des modalités différentes d'un pays à l'autre, et une intensification des efforts de recherche et développement pour préparer l'avenir à plus long terme.

Beau programme pour une sortie par le haut de la crise que connaît le monde aujourd'hui !

JEAN BERGOUGNOUX
PRÉSIDENT D'HONNEUR DE LA SNCF
DIRECTEUR GÉNÉRAL HONORAIRE D'EDF
PRÉSIDENT DU COMITÉ SUPÉRIEUR
DE L'IDENTIFICATION PROFESSIONNELLE FNTP

LA TRÈS FORTE DEMANDE ÉNERGÉTIQUE MONDIALE, LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, L'OBJECTIF DES « 3 FOIS 20 » FIXÉ PAR L'UNION EUROPÉENNE, PLACENT L'ÉNERGIE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE.

CHANTAL JOUANNO, SECRÉTAIRE D'ÉTAT CHARGÉE DE L'ÉCOLOGIE, EXPLICITE LES PRIORITÉS DE LA FRANCE FACE À CES ENJEUX.

« **LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE A SOUHAITÉ QUE LES ÉNERGIES RENOUVELABLES BÉNÉFICIENT DU MÊME SOUTIEN QUE CELUI ACCORDÉ AU NUCLÉAIRE. AU FOND, L'ENJEU EST DE NE SURTOUT PAS OPPOSER UNE ÉNERGIE À UNE AUTRE, MAIS DE BIEN PROMOUVOIR L'ENSEMBLE DES ÉNERGIES DÉCARBONÉES.** »



PLUS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE, PLUS D'ÉCOLOGIE, MOINS DE GAZ À EFFET DE SERRE, ET TOUJOURS PLUS DE COMPÉTITIVITÉ...

DES OBJECTIFS EN APPARENCE CONTRADICTOIRES. POUR LES ATTEINDRE, LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE DE L'ÉTAT PRÉVOIT DES PROGRAMMES OPÉRATIONNELS ET DES INVESTISSEMENTS SPÉCIFIQUEMENT DÉDIÉS.

PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT



La France a fait le choix stratégique de développer sa filière électronucléaire. Pourquoi est-il impératif aujourd'hui de diversifier notre bouquet énergétique et quelle est la part des énergies renouvelables dans cette diversification ?

Le développement des énergies renouvelables, c'est le défi pour la France de se doter des infrastructures énergétiques de demain. La croissance verte en dépend. D'après une étude récente de l'ADEME, les énergies renouvelables pourraient représenter en 2012 un marché annuel de 24 milliards d'euros et 120 000 emplois non délocalisables. L'atteinte de nos objectifs internationaux de lutte contre les changements climatiques y est intimement liée. En prime, ces technologies présentent la particularité d'être décentralisées. Ainsi, elles participent à l'aménagement du territoire. L'Etat a donc pris ses responsabilités. Le projet de loi Grenelle prévoit ainsi de porter à 23% la part des énergies renouvelables dans notre consommation finale d'énergie. Cela ne suppose rien de moins qu'un doublement de notre production d'ici 2020, soit en 12 ans, une multiplication par 2 de la production par le bois-énergie, par 6 pour la géothermie, par 12 pour les réseaux de chaleur, et un changement d'échelle majeur sur le photovoltaïque : une production multipliée par 400. Voilà pourquoi le Président de la République a souhaité que les énergies renouvelables bénéficient du même soutien que celui accordé

au nucléaire. Au fond, l'enjeu est de ne surtout pas opposer une énergie à une autre, mais de bien promouvoir l'ensemble des énergies décarbonées. Aucune technologie alternative aux énergies fossiles ne doit être écartée si nous voulons à la fois garantir la production nécessaire à notre développement économique et limiter nos émissions de gaz à effet de serre. Parallèlement, il reste indispensable de promouvoir les économies d'énergie. Cela constitue toujours notre première priorité.

Comment la France compte-t-elle atteindre d'ici 2020 l'objectif fixé par l'UE des « 3 fois 20 » (20% de réduction des gaz à effet de serre, 20% d'énergies renouvelables, et 20% de gain d'efficacité énergétique) ?

Ce triple objectif, inscrit dans le cadre du paquet Climat-Energie, que la France a fortement porté lors de sa présidence de l'Union Européenne, est parfaitement en ligne avec nos engagements nationaux. Le Grenelle de l'environnement a en effet placé la lutte contre les changements climatiques au premier rang de nos priorités. Afin de tenir cet objectif extrêmement ambitieux, des programmes très opérationnels ont été définis. Ils portent sur l'ensemble des filières les plus fortement émettrices : l'habitat, le transport, l'énergie... Ainsi, se mettent progressivement en place un Plan Bâtiment, un Plan de développement des énergies renouvelables, un Plan véhicules décarbonés, un Plan de développement des infrastructures de transports alternatifs... Tous les outils fiscaux et réglementaires disponibles, ainsi que la recherche sont mobilisés dans le cadre de ces plans. Et il ne

s'agit pas de déclarations d'intention. Les crédits ont pour la plupart déjà été votés, 19 milliards d'euros étant spécifiquement dédiés à cette politique dans le cadre du Projet de loi de Finances 2009. A en croire un rapport indépendant du Boston Consulting Group, la mise en œuvre de ces mesures devrait permettre de réduire de près de 25% les émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2020.

La capacité installée de la filière hydroélectrique ne peut que marginalement augmenter, et bien que l'éolien soit en train de décoller sérieusement, il est confronté à une vague de protestation. Quelle est la politique de l'Etat pour surmonter ces difficultés ?

Quelles sont les aides incitatives mises en place ou à venir ?
Avec Jean-Louis BORLOO, nous avons présenté en novembre dernier le plan de développement des énergies renouvelables issu du Grenelle de l'Environnement. Il comprend 50 mesures opérationnelles, qui concernent l'ensemble des filières : bioénergies, éolien, géothermie, hydroélectricité, solaire, énergies de la mer. Les premières mesures de ce plan se mettent en place. Ainsi, les tarifs de rachat préférentiel des énergies propres ont été confirmés jusqu'à 2012. Au mois de mai dernier un large appel d'offres a été lancé pour la construction d'au moins une centrale solaire par région d'ici 2011. Un fonds de promotion de la production de chaleur d'origine renouvelable doté d'un milliard d'euros a été instauré. Aucune filière n'est ignorée. Chaque outil à notre

disposition est sollicité. Et les premiers résultats sont là : la France a connu en 2008 une croissance historique de sa production d'énergies renouvelables, de près de 13% pour l'année 2008. Un record historique avec des hausses de près de 100% pour l'éolien et le photovoltaïque. Pour autant, vous avez raison d'insister sur les craintes voire les protestations qui peuvent émerger face au développement de ces technologies. Il a donc été prévu dans le cadre du Grenelle de l'environnement, en parallèle des incitations mises en place, une révision globale des procédures d'implantation et de concertation. Un schéma régional des énergies renouvelables devra notamment être défini dans le dialogue sur la base du potentiel de chaque territoire. De même des zones de développement de certaines énergies seront délimitées afin de circonscrire les implantations et d'éviter le mitage des paysages. Nous ne mènerons pas la bataille des énergies d'avenir contre les Français.

La loi « Grenelle 1 » a été adoptée en deuxième lecture le 1^{er} juillet. Quelles en sont les retombées sur le secteur de la construction ?

Le secteur du bâtiment consomme plus de 40% de l'énergie française et contribue pour près du quart aux émissions nationales de gaz à effet de serre. Il représente le principal gisement d'économies d'énergie immédiatement exploitable. C'est en outre le premier secteur où nous pouvons véritablement changer la vie de nos concitoyens, le chauffage représentant en moyenne une dépense



de 900 € par an et par ménage. Nous l'avons donc érigé en priorité du Grenelle. Un objectif de réduction des consommations du parc existant de 38% a été fixé pour 2020. Les « bâtiments basse consommation » deviendront la norme dès 2012. Les « bâtiments à énergie positive » seront généralisés en 2020. Et le chantier est engagé. La distribution aux particuliers de l'éco-prêt à taux zéro pour les travaux de rénovation thermique de leur logement a débuté mi-avril. Le dispositif est opérationnel. Il fait l'objet d'un engouement qui dépasse nos espérances. La rénovation du parc des logements sociaux a également commencé. Une enveloppe de prêts de 1,2 milliard d'euros y est dédiée pour des programmes contractualisés avec les bailleurs sociaux. Quant aux bâtiments de l'Etat, leur rénovation devra être engagée d'ici 2012. Ce programme est immense, mais à la hauteur des enjeux : à horizon 2020, le Plan Bâtiment représente un investissement total de 205 Mds€ et 235 000 emplois induits.

La nouvelle loi sur la responsabilité environnementale intègre la notion de préjudice écologique. Que va changer cette loi en termes de responsabilité environnementale pour les entreprises ?

La loi du 1^{er} août 2008 relative à la responsabilité environnementale et son décret du 23 avril 2009 ont pour objectif de prévenir ou réparer certains dommages causés à l'environnement. Les dispositions nouvelles de cette loi prévoient notamment un régime de responsabilité sans faute pour les

dommages résultant de certaines activités émanant d'installations classées IPPC (activités polluantes les plus à risque). Un régime de responsabilité pour faute est introduit s'agissant des impacts causés aux espèces et habitats naturels par d'autres activités professionnelles que celles fixées par le décret. Au fond, cette loi est la concrétisation scrupuleuse du principe « pollueur payeur ». Elle n'a en aucun cas vocation à stigmatiser les entreprises, mais constitue simplement un outil à la fois dissuasif et efficace contre ce que l'on peut appeler la criminalité environnementale.

La réalisation d'un bilan des émissions gaz à effet de serre par les entreprises de plus de 50 salariés vous semble-t-elle possible à un coût raisonnable pour ces entreprises ? Quels bénéfices en tireront-elles ?

J'ai la conviction que cette mesure est stratégique. Au fond, l'enjeu est moins de quantifier les émissions de ces entreprises ou collectivités avec une précision chirurgicale que de les amener à s'interroger sur leurs processus, leur impact climatique et les moyens de le réduire. L'expérience prouve qu'un tel bilan carbone permet en général de réduire les émissions de 10 à 20%, or réduire ses émissions est souvent synonyme d'économies d'énergie. Au fond, le bilan carbone n'est pas une dépense, c'est un investissement. Il permet de refonder la compétitivité de son entreprise selon les enjeux de l'avenir : ceux d'un monde sobre en énergie et en carbone.

D'autres initiatives que le Bilan Carbone® se mettent en place

pour quantifier les émissions de gaz à effet de serre (GES), comme par exemple l'outil de mesure de la FNTF (OMEGA TP). Le MEEDDM compte-t-il harmoniser ces méthodologies de comptabilisation des GES ou bien laisser jouer le marché de la concurrence ?

Le ministère du développement durable et l'ADEME travaillent avec les différentes fédérations professionnelles pour faire converger les approches et les méthodes. Cela dit, encore un fois, ce qui importe, c'est moins la méthode de calcul que la démarche elle-même.

Qu'en est-il de la mise en conformité des plus grandes stations d'épuration françaises et des nouvelles stations à construire aux normes dès 2011 ?

Sur les 3 083 plus importantes stations d'épuration recensées sur le territoire national, 268 (9% du total) n'étaient pas conformes en termes de traitement des matières organiques ou des nutriments fin 2008. On en comptait encore 522 fin 2006. Au vu des prévisions, 4% resteront non conformes à la fin 2009 et 2% à la fin 2010. La totalité sera mise aux normes à la fin 2011 comme prévu par le plan d'action lancé en septembre 2007. C'est pour respecter ces prévisions que deux conventions cadres de prêt pour la finalisation de la mise aux normes des stations d'épuration ont été signées en février dernier avec la Caisse des dépôts et consignations. Ces prêts d'un montant d'1,2 milliard d'euros pour la Métropole et de 300 millions d'euros pour l'Outre-mer sont la garantie du succès de notre plan d'action. □

« **LE BILAN CARBONE PERMET DE REFONDER LA COMPÉTITIVITÉ DE SON ENTREPRISE SELON LES ENJEUX DE L'AVENIR : CEUX D'UN MONDE SOBRE EN ÉNERGIE ET EN CARBONE** »



LE PROJET DE GATE (GAS ACCESS TO EUROPE) DANS LE PORT DE ROTTERDAM

AUTEURS : GAETAN VIGNERAS, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS, CHANTIER GATE LNG CONSTRUCTION MANAGER

LE PROJET DU TERMINAL DE REGAZIFICATION AUX PAYS-BAS COMPREND LA CONSTRUCTION D'UNE USINE, D'UNE JETÉE DE DÉCHARGEMENT DE MÉTHANIER ET DE TROIS RÉSERVOIRS. LA LIVRAISON DU TERMINAL EST PRÉVUE EN SEPTEMBRE 2011. DANS LE CADRE DE CE CONTRAT, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS ET ENTREPOSE CONTRACTING RÉALISERONT, EN CONCEPTION CONSTRUCTION, LES TROIS RÉSERVOIRS DE STOCKAGE DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ DE 180 000 M³ CHACUN.



1- Maquette du projet.

1- Project mock-up.

UN TERMINAL RECEVEUR POUR LE NORD DE L'EUROPE

Le gaz naturel (méthane) est une source d'énergie propre issue des gisements d'hydrocarbures qui, une fois débarrassé de toutes traces de CO₂, d'eau, de mercure et de soufre, présente les caractéristiques d'être inodore, incolore, non-toxique et non-corrosif.

Les gisements de gaz étant éloignés des pôles de consommation, le volume du gaz à son état naturel fut le principal obstacle au développement de sa commercialisation. L'application à l'échelle industrielle du processus de liquéfaction par refroidissement, engendrant une réduction de volume d'un facteur 600, a permis d'organiser le négoce du gaz

entre pays exportateurs et importateurs. Le transport de ce Gaz Naturel Liquéfié (GNL) depuis les usines de liquéfaction vers les terminaux receveurs s'effectue par le biais de méthaniers d'une capacité moyenne de 120 000 m³. Ainsi, le transport de larges volumes de GNL sur de longues distances permet à l'exportateur de s'affranchir des frontières et de diversifier ses clients, tout comme il permet à l'importateur de diversifier et de sécuriser ses approvisionnements. Les estimations prévoient que le volume négocié de GNL (LNG en anglais)-doublera entre 2006 et 2012, ce qui nécessite le développement d'infrastructures importantes à travers le monde. Le projet de GATE (Gas Access To Europe) dans le port de Rotterdam

s'inscrit dans cette dynamique de construction de nouveaux terminaux receveurs pour le Nord de l'Europe. Le consortium d'entreprises, constitué de Techint, Sener, Entrepose Contracting et VINCI Construction Grands Projets, a remporté ce contrat EPC (Engineering Procurement and Construction) de 800 millions d'euros. L'objectif de cet article est de présenter la partie génie civil des 3 réservoirs de GNL réalisés par VINCI Construction Grands Projets (photo 1).

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le volume de stockage des réservoirs de GNL n'a cessé d'augmenter depuis les années 1970. Les progrès réalisés

en terme de dimensionnement de structures, associés à la maîtrise des techniques de renforcement de sol et des méthodes de construction, ont permis d'accroître le volume des réservoirs de 80 000 m³ à Fos-sur-Mer en 1976 à 180 000 m³ pour le projet de GATE. L'enveloppe externe du réservoir est constituée d'un radier de 90 mètres de diamètre, d'une voile en béton précontraint de 40 mètres de hauteur et d'un dôme béton armé. Les fondations sont superficielles, sur un terrain constitué de sable dragué. Une plate-forme en béton armé située sur le dôme sert de support aux tuyauteries et instrumentations pénétrant le réservoir.

Le béton a ici un rôle protecteur et isolant pour la cuve intérieure principale, faite d'acier à 9 % de nickel, spécialement résistant aux basses températures. Entre ces 2 cuves, divers matériaux isolants sont installés pour limiter les échanges thermiques entre le GNL stocké et l'extérieur considéré comme source chaude (photo 2).

LES ÉTUDES : UN SAVOIR-FAIRE SPÉCIFIQUE POUR UNE STRUCTURE EN BÉTON PRÉCONTRAIT

Les ingénieurs du bureau d'études de VINCI Construction Grands Projets ont développé un savoir-faire lié aux spécificités du stockage du GNL. Les calculs prennent en considération le cas accidentel de contact de la structure béton avec le GNL à - 170°C, géné-

rant un choc thermique. L'exigence d'étanchéité impose de mener des calculs de fissuration qui nécessitent de lourds modèles d'éléments finis. Au-delà des contraintes techniques, la coordination avec le bureau d'études d'Entrepote Contracting, partenaire de VINCI Construction Grands Projets dans la réalisation des réservoirs GNL et filiale du groupe VINCI, qui réalise la partie mécanique des réservoirs (cuve intérieure en acier à 9 % de nickel, isolation, tuyauteries etc.), est la clef du succès. En effet, de nombreuses interfaces sont à prendre en considération : géométries des structures respectives, mise en place d'inserts, transfert de charge, séquençage d'exécution adapté pour les équipes travaux mécaniques, etc. (photo 3).

Bien que la géométrie des réservoirs varie peu d'un projet à l'autre à travers le monde, les normes de calcul imposées par le contrat et l'interaction sol-structure notamment rendent chaque étude unique. La détermination du type de fondation, propice aux variantes techniques, est le facteur clef permettant l'optimisation des quantités et bien souvent la réduction de la durée des travaux.

RENFORCEMENT DE SOL : DES TECHNIQUES MULTIPLES POUR LIMITER LES TASSEMENTS

Le manque d'espace dans le port de Rotterdam a conduit le client à construire le terminal sur une parcelle de terrain gagnée sur la mer par dragage de sable. Les charges exercées par le radier du réservoir en phase d'exploitation étant proches de 22 tonnes/m², une détermination précise des tassements prévisionnels a dû être menée. Le critère de tassement différentiel est contraignant et gage de durabilité pour la structure.

Le bureau d'études Arcadis a réalisé les études de sol. Une solution de fondations superficielles avec amélioration de sol en 2 étapes a été retenue :

→ 1^{re} phase : pré-chargement de la plate-forme des réservoirs durant plusieurs mois afin de consolider une couche d'argile située à 25 mètres de profondeur,

→ 2^e phase : traitement du sol par vibro-flottaison afin d'améliorer la densité du sable. Cette technique a été mise en œuvre par Solétanche-Bachy sur une durée de 4 mois pour les 3 réservoirs. Le volume traité avoisine les 620 000 m³.

La présence de poches d'argiles non-

détectées lors de la campagne de sol préliminaire a limité l'efficacité de la vibro-flottaison dans les couches supérieures du remblai.

Après une revue des techniques d'améliorations complémentaires, une solution de compactage dynamique proposée par l'entreprise Cofra a été retenue. Cette méthode en était alors au stade expérimental, tout comme les équipements utilisés. Les tests réalisés in situ ont démontré l'efficacité du procédé qui consiste à impacter le sol d'une masse de 9 tonnes à une cadence de 40 coups par minute. Une campagne de 3 semaines, associée à 50 000 m³ de substitutions, a permis d'atteindre les critères requis par le bureau d'études. Les bétons pouvaient alors commencer (photo 4).

DES MÉTHODES ADAPTÉES À UN PLANNING SERRÉ

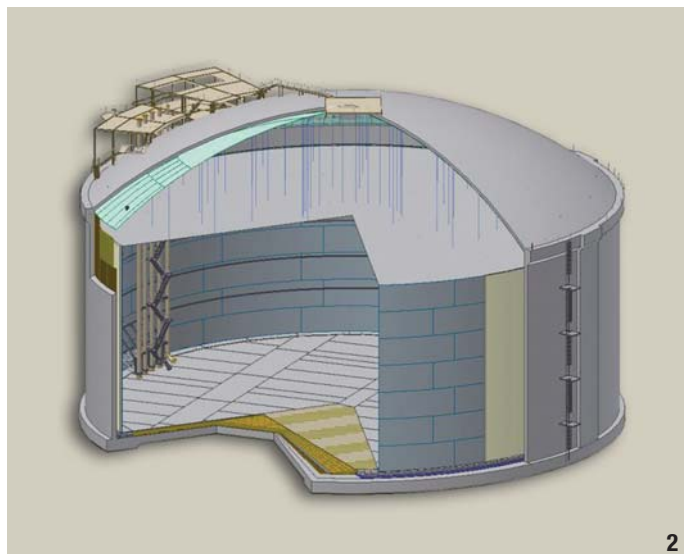
L'ensemble de la construction de la structure génie civil a été attribué au sous-traitant CFE, filiale du groupe VINCI. Afin de respecter un planning serré, des moyens importants, tant humains que matériels ont été mis en place.

LE RADIER, UN FERRAILLAGE COMPLEXE ET DES FINITIONS EXIGEANTES

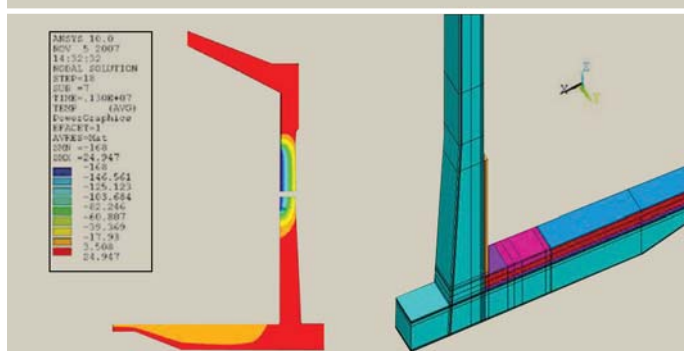
Chaque radier, d'épaisseur variable de 1,20 m en zone annulaire à 40 cm en partie courante nécessite 1 000 tonnes d'armatures. La présence additionnelle d'un maillage de plusieurs kilomètres de tubes de chauffage au cœur du radier, qui a pour fonction d'éviter que le sol ne gèle sous le radier en phase d'exploitation et ne perde ainsi ses capacités portantes, complique le montage des armatures, lui-même déjà complexe. Au pic, nous comptons 90 ferrailleurs sur le chantier. Les 4 000 m³ de béton de chaque radier ont été coulés par une entreprise spécialisée dans la finition de dalles. Les tolérances d'exécution strictes (+/- 15 mm en absolu et +/- 6 mm en relatif) sur la qualité du surfaçage et le nivellement du radier sont imposées par la construction de l'enveloppe métallique interne et la mise en place des matériaux isolants (photo 5).

RÉALISATION DES VOILES, LE CŒUR DU PROJET

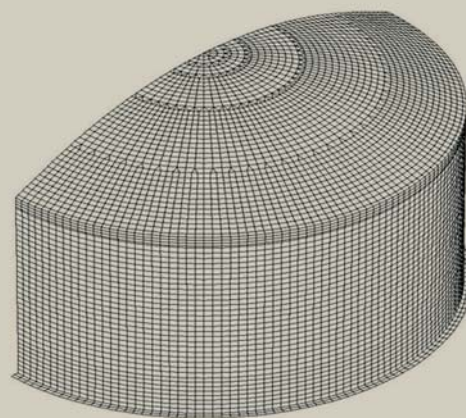
La réalisation du voile de 40 mètres de hauteur, en levées successives de 3,65 mètres débute avant la fin des radiers. Les deux premières levées sont d'épaisseur variable, évoluant de 90 cm à 65 cm. Le reste du voile est d'épaisseur constante, jusqu'à la



2



MODÈLE THERMIQUE



MODÈLE STRUCTUREL 3D

3

dernière levée, plus large, afin d'y ancrer le dôme. Une longue phase de préparation est nécessaire afin de déterminer les moyens indispensables pour atteindre les exigences de planning et de qualité. Chaque détail est étudié et discuté en phase amont, en concertation avec Entrepote Contracting.

Séquençage et méthodes adaptées, optimisation des cadences

Une fois le personnel suffisamment formé après la réalisation des deux

premiers niveaux, les levées de voile furent réalisées selon un cycle de 9 à 10 jours ouvrés et ce malgré des conditions climatiques souvent défavorables marquées par des vents réguliers et de fortes précipitations. Pour atteindre cette cadence, l'ensemble des nappes d'armatures de 12 mètres par 7 mètres a été préfabriqué au sol et mis en place à l'aide de palonniers. Une solution de coffrage grimpeur PERI à 3 niveaux de plates-



4



5



6

2- Ecorché d'un réservoir GNL.

3- Modèle 3D de la coque sous chargement thermique accidentel.

4- Amélioration de sol : COFRA Dynamic compaction.

5- Construction du radier.

6- Vue aérienne du chantier en mars 2009.

2- Phantom view of an LNG tank.

3- 3D model of the shell under accidental thermal loading.

4- Ground improvement: COFRA Dynamic compaction.

5- Construction of the foundation raft.

6- Aerial view of the site in March 2009.

formes, combinée à l'utilisation de grues à tour à forte capacité de charge a permis d'optimiser le cycle de levage et de fermeture des panneaux. Finalement, 4 grues à tour furent installées autour de chacun des réservoirs, ce qui a permis de réaliser les bétonnages de levées de 650 m³ uniquement à la benne. Les cadences de bétonnage ont régulièrement dépassé 60 m³/heure. Ce choix a affranchi le chantier des problèmes de disponibilité

des grandes pompes à béton dans la région de Rotterdam et a donné une flexibilité à l'encadrement dans la planification des bétonnages (photo 6). En pic, 250 personnes travaillaient sur les voiles des 3 réservoirs. L'équipe méthode du chantier, avec le support des conducteurs de travaux, a modifié le séquençage des activités, et a fait approuver de nombreuses modifications techniques afin que les équipes de coffreurs, de ferrailleurs, de finition, et de précontrainte puissent toutes produire avec les meilleures cadences.

Des exigences de qualité, guidées par l'interface mécanique

La finition du voile nécessite une attention particulière. Ainsi, des inserts verticaux, courant sur toute la hauteur du voile, et espacés de 2 m environ permettront à Entrepose Contracting de souder une enveloppe métallique qui assurera l'étanchéité du réservoir. La régularité du positionnement des inserts, ainsi qu'un parement lisse du béton sont nécessaires à la bonne réalisation de cette activité mécanique.

Une autre activité mécanique dépend également de la conformité de l'exécution du voile : le levage du dôme métallique (air raising) (photo 7). Ce dernier est assemblé par Entrepose Contracting sur le radier pendant la construction du voile en béton. Une fois le voile coulé et le dôme réalisé, les portes temporaires du voile sont fermées, un joint est installé en périphérie du dôme afin d'assurer l'étanchéité dôme-voile et la pression sous le dôme est progressivement augmentée de quelques millibars. Les 650 tonnes

d'acier du dôme se hissent en quelques heures à 35 mètres de hauteur. Cette opération complexe, réalisée par Entrepose Contracting, requiert une parfaite rotondité du mur béton et une finition soignée. Un blocage du dôme induit par un rétrécissement local du rayon du voile ou une déchirure du joint d'étanchéité aurait des conséquences fâcheuses sur cette opération de levage (photo 8). Fin mai 2009, les voiles des 3 réservoirs étaient réalisés et le levage des dômes en cours de préparation. Le chantier est alors passé dans une deuxième phase qui comporte la réalisation de diverses couches de béton et sable de nivellement à l'intérieur du réservoir (imbriquées avec du « foam glass » assurant une isolation thermique sous le fond de la cuve métallique), le ferrailage et bétonnage des dômes, et la mise en place de la précontrainte horizontale et verticale des voiles.

LA RÉALISATION DU DÔME ET DE LA PLATE-FORME BÉTON

Le dôme a une épaisseur constante de 45 cm en partie centrale puis variable jusqu'à 105 cm sur les 6 derniers mètres de la couronne externe. Il nécessite la mise en œuvre de près de 3 000 m³ de béton armé, non précontraint avec une densité moyenne d'armatures très élevée : 300 kg/m³. Le liner du dôme étant constitué d'une tôle fine de 5 mm d'épaisseur seulement, il ne peut pas supporter seul les charges engendrées par le béton frais lors du coulage. Par ailleurs, avec une hauteur de 40 mètres et une surface de 6 000 m², une solution par étaie-

ment traditionnel serait extrêmement lourde à mettre en œuvre. Ainsi, une méthode originale de bétonnage en deux phases est utilisée. Le réservoir est fermé avant le bétonnage d'une première couche de béton de 20 cm. Il est progressivement mis en pression jusqu'à quelques dizaines de millibars ce qui permettra au dôme de supporter les 3 000 tonnes de béton frais de cette première couche et ce, jusqu'à son durcissement complet. Le réservoir est alors dépressurisé, permettant la mise en œuvre des lits supérieurs d'armature. La voûte créée par le béton de première phase (20 cm d'épaisseur seulement pour 86 m de diamètre !) assurera, seule, la tenue du dôme lors du bétonnage de la seconde phase. Ces opérations durent 4 mois et sont suivies par la réalisation d'une plate-forme constituée d'une structure porteuse poteau/poutre en élément béton préfabriquée qui est assemblée et clavée sur le dôme sur une durée de 2 mois.

LA SÉCURITÉ D'ABORD !

L'objectif du chantier en matière de sécurité est très clairement affiché dès l'entrée du site. La politique du « zéro accident » est déclinée à tous les niveaux de l'encadrement et auprès des ouvriers. Elle est mise en application tous les jours par chacun sur le chantier depuis la phase d'études et conception jusqu'à la fin des travaux. La sécurité est l'un des moteurs majeurs du chantier, d'importants moyens lui sont consacrés aussi bien en termes de ressources humaines que de matériels et équipements de première qualité et de formation du personnel.



© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

L'IMPLICATION DE CHACUN, FACTEUR DE RÉUSSITE

Pour la seule activité génie civil des réservoirs, la politique du « zéro accident » est animée par 5 personnes en charge de la relayer auprès des collaborateurs. Leur implication débute depuis les phases de conception et de préparation de chantier, pour la détermination des choix de coffrage, des accès, des échafaudages ou du plan d'implantation des grues par exemple. De plus pour chaque activité, une analyse des risques est réalisée en concertation avec les différentes parties, et les mesures préventives à appliquer sont définies communément. Cette analyse est formalisée et expliquée aux ouvriers par le biais d'un programme de formations, rappelée ensuite au cours de l'exécution des travaux lors de quarts d'heure sécurité. Ce processus permet de sensibiliser les travailleurs sur la nécessité absolue d'obtenir leur coopération et support afin d'atteindre l'objectif commun du « zéro accident ». Chaque personne est encouragée à émettre des observations portant sur la sécurité du chantier. Des cartes et boîtes aux lettres sont ainsi disponibles sur le chantier. Les problèmes soulevés par ces remarques ou les propositions faites pour améliorer la sécurité sur les lieux de travail sont analysés et pris en compte par la direction. Les collaborateurs ayant émis les observations les plus pertinentes reçoivent un prix chaque mois. Plus de 900 000 heures de travail sans accidents avec arrêt ont été réalisées à ce jour. Le cap d'un million d'heures travaillées sans accidents avec arrêt devrait être franchi le mois prochain.

« (A)LIVE ON SITE », UNE SENSIBILISATION EFFICACE

Le défi des équipes du chantier est de faire passer une information à des collaborateurs originaires de plus d'une dizaine de pays : Portugal, Belgique, Hollande, Allemagne, Irlande, Pologne, Turquie, etc. Tous ont une culture très différente dans l'approche de la sécurité et dans leur comportement sur le chantier. Régulièrement confronté à cette problématique, la direction QSE de VINCI Construction Grands Projets a développé un programme de sensibilisation adapté, « (A)live on site ». Une équipe composée d'un animateur QSE (Qualité, Environnement, Sécurité) et d'un consultant prépare le support nécessaire, directement sur le chantier. À l'aide d'une caméra, elle filme les activités quotidiennes. Le montage vidéo est ensuite montré aux chefs d'équipes, managers, ouvriers qui participent conjointement à cette formation. Les animateurs les font réagir et mettent en lumière les améliorations possibles, les mauvaises et bonnes pratiques. Les résultats ont dépassé les attentes de la direction du chantier. Cette sensibilisation a renforcé le dialogue sécurité entre les divers niveaux hiérarchiques et a permis un enrichissement mutuel. Elle a particulièrement permis de sensibiliser les collaborateurs aux efforts développés pour leur protection, et de les confronter aux risques pris chaque jour. Cette prise de conscience s'est accompagnée d'un changement radical d'attitude et de comportement de l'ensemble des acteurs du chantier (photo 9).

7- Installation des tôles de toit.

8- Finition du voile avant l'opération de levage.

9- Quart d'heure sécurité.

10- Le port de Rotterdam, un environnement industriel.

11- Le vélo, outils de l'équipe d'encadrement.

7- Installation of roof plates.

8- Shell finishing before the lifting operation.

9- Toolbox safety meetings.

10- The port of Rotterdam, an industrial environment.

11- The bike, tools of the management team.

L'INSERTION DU CHANTIER DANS UN ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

VINCI Construction Grands Projets est certifié ISO 14001 depuis 2004. Ainsi, les risques sont maîtrisés sur nos chantiers et plus encore dans un environnement industrialisé tel que le port de Rotterdam.

Le chantier ne peut être considéré comme un site clos et indépendant de son voisinage.

La proximité de quais de déchargement, d'un terminal de stockage de pétrole brut, d'usines pétrochimiques et thermoélectriques, doit être prise en considération.

Les rejets, dans les sols et dans les sous-sols, sont évalués et maîtrisés. De plus, les entreprises doivent posséder un certificat nommé VCA (Veiligheidschecklist Aannemers : Certification Sécurité Contractants).

Tout comme ISO 14001, VCA est un système de management, d'évaluation et des risques.

L'implication de l'entreprise toute entière dans les problèmes de sécurité, de santé et d'environnement est un élément fondamental.

Ce socle commun permet une bonne coordination entre tous (photo 10).

De plus, les entreprises travaillant dans le port de Rotterdam se réunissent mensuellement au sein d'un organisme (Delta Links) afin de soulever ensemble les problématiques auxquelles elles sont confrontées telles que les analyses de trafic, les plans généraux d'évacuation, la protection de la faune, les alertes météo, etc.



PRINCIPALES QUANTITÉS

AMÉLIORATION DE SOL :	620 000 m³
BÉTON :	46 500 m³
ACIER :	10 000 tonnes
SURFACE COFFRÉE :	65 000 m²
ACIERS DE PRÉCONTRAINTÉ :	1 700 tonnes
RAYON INTÉRIEUR DU VOILE :	43 mètres
HAUTEUR DU TANK :	50 mètres
NOMBRE D'OUVRIERS EN PIC :	250
NOMBRE DE GRUES À TOUR :	12

10 11

L'ENVIRONNEMENT, UNE PRIORITÉ

La direction s'engage à inscrire les chantiers de GNL dans une dynamique plus large de développement durable. Ainsi, dans les bureaux, le papier est majoritairement recyclé et les cartouches d'imprimantes sont soit réutilisées soit collectées et envoyées à une entreprise qui se charge de leur recyclage. La même politique est appliquée aux piles et batteries. Le tri sélectif est également mis en application sur le chantier. La présence de conteneurs clairement identifiables permet la ségrégation des déchets. La faune et la flore sont également des préoccupations majeures. Des mesu-

res afin de respecter notamment la nidification des oiseaux sont prises en compte et l'entreprise travaille en partenariat avec des entreprises spécialisées. Les autorités environnementales locales sont également très présentes et impliquées. Enfin, l'encadrement chantier sensibilisé à cette problématique de l'environnement a cherché à s'impliquer davantage et a su innover. C'est ainsi qu'il se déplace exclusivement sur chantier en vélo et les voitures restent au parking. Cette initiative, qui a permis d'économiser plusieurs tonnes de CO₂ a d'ailleurs été saluée par le client et suivie par les partenaires du consortium (photo 11). □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAITRISE D'OUVRAGE :

GATE. Joint venture constituée de Vopak - entreprise internationale possédant des infrastructures pétrochimiques - et de Gasunie - entreprise hollandaise de gaz.

GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DU MARCHÉ : TSEV formé de :

- **Techint-Sener :** Entreprises respectivement italienne et espagnole responsables de la construction du terminal.
- **Entrepose Contracting :** Entreprise du groupe VINCI en charge de la partie mécanique des réservoirs. Sous-traitance principale SMM.
- **VINCI Construction Grands Projets :** en charge de la partie génie civil des réservoirs. Principaux sous-traitants : Solétanche-Bachy, CFE, Freyssinet.

ABSTRACT

THE GATE (GAS ACCESS TO EUROPE) PROJECT IN THE PORT OF ROTTERDAM

GAETAN VIGNERAS, VINCI

The regasification terminal project in the Netherlands involves the construction of a plant, an LNG tanker unloading pier and three tanks. Delivery of the terminal is scheduled in September 2011. Under this contract, VINCI Construction Grands Projets and Entrepose Contracting will execute, on a Design and Build basis, the three liquefied natural gas storage tanks of unit capacity 180,000 m³. □

EL PROYECTO GATE (GAS ACCESS TO EUROPE) EN EL PUERTO DE ROTTERDAM

GAETAN VIGNERAS, VINCI

El proyecto de la terminal de regasificación en Holanda incluye la construcción de una planta, de un muelle de descarga de buques metaneros y de tres depósitos. La entrega de la terminal está prevista para septiembre de 2011. Situándose en el marco de este contrato, VINCI Construction Grands Projets y Entrepose Contracting ejecutarán, en diseño construcción, los tres depósitos de almacenamiento de gas natural licuado de 180.000 m³ cada uno. □

COMMENT DEVELOPPER UN PROJET DE PARC EOLIEN ?

AUTEURS : ERIC LANDES, VINCI CONSTRUCTION FRANCE, DIRECTEUR PROJETS EOLIENS -
GILLES MARTIN, VINCI CONSTRUCTION FRANCE, DIRECTION DÉLÉGUÉE OUEST, DIRECTEUR DÉVELOPPEMENT

LES OBJECTIFS FIXÉS PAR LE GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT PRÉVOIENT DE PORTER À AU MOINS 23% LA PART DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE À L'HORIZON 2020. CE CHANGEMENT AMBITIEUX PRÉVOIT LE DOUBLEMENT DE PRODUCTION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES EN 12 ANS. L'ENSEMBLE DES FILIÈRES DEVRONT ÊTRE SOLlicitÉES : SOLAIRE, ÉOLIEN, BIOÉNERGIES, GÉOTHERMIE, HYDROÉLECTRICITÉ... LA FRANCE DISPOSE D'UNE TRÈS BONNE RESSOURCE DE VENT SUR TERRE COMME SUR MER. LE PRÉSENT ARTICLE FAIT LE POINT SUR LES ÉTAPES DE CONSTRUCTION ET DE MISE EN SERVICE D'UN PARC ÉOLIEN EN FRANCE. UN VÉRITABLE PARCOURS DU COMBATTANT QUI REQUIERT PLUSIEURS ANNÉES D'ÉTUDES, D'ANALYSE ET DE CONCERTATION.

LES OBJECTIFS DE LA FRANCE

Dans le cadre de ses engagements internationaux et des objectifs du Grenelle de l'environnement pour la diminution de ses émissions de CO₂, la France s'est fixé l'objectif d'atteindre 23% d'énergies renouvelables dans sa

consommation énergétique d'ici 2020. Compte tenu des spécificités géographiques du territoire (2^e gisement éolien européen), l'énergie éolienne constitue une réponse adéquate à ces objectifs. Elle devrait représenter 25% des nouvelles capacités mises en place. Cela correspond à un parc éolien de

25 000 MW dont 6 000 MW en mer, soit 8 000 éoliennes sur le territoire national (y compris les DOM-TOM).

En 2008, le parc éolien français, constitué de plus de 2 000 éoliennes pour une puissance installée de 3 400 MW, a participé à la fourniture de 1.3% de la consommation nationale.

Si les objectifs sont tenus, cette part atteindra 10% (figure 2).

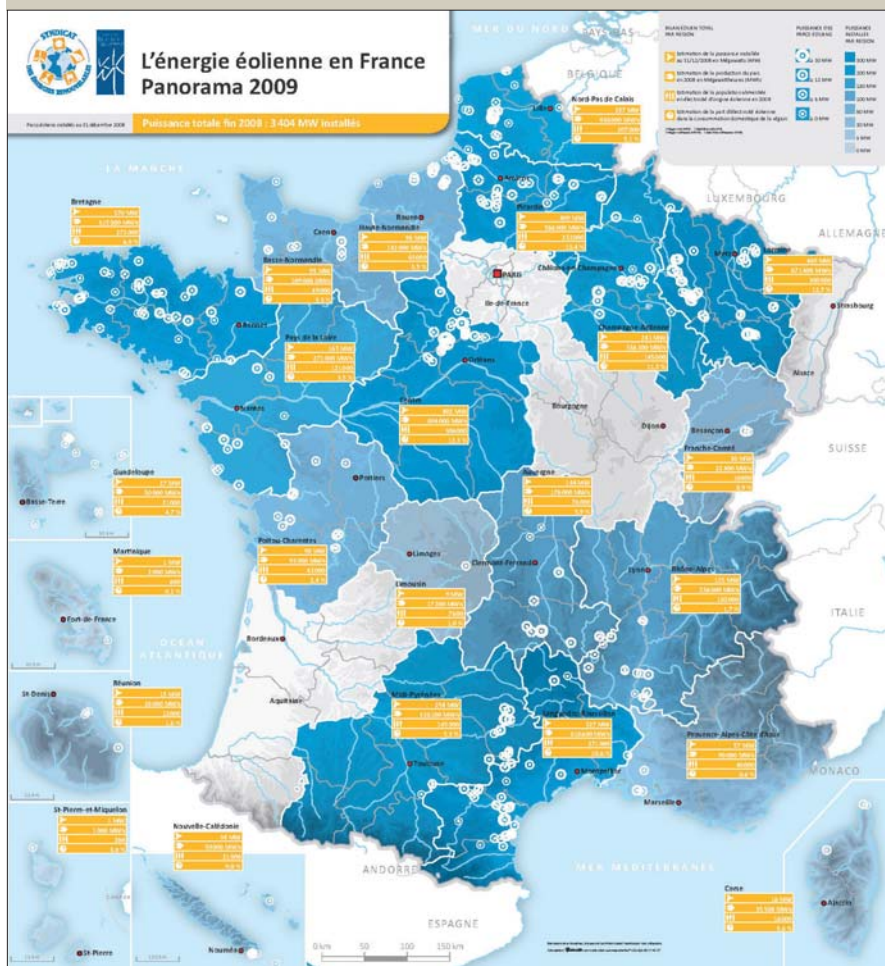
LE DÉVELOPPEMENT D'UN PROJET ÉOLIEN

La construction et la mise en service d'un parc éolien sont l'aboutissement de plus de 4 années d'études, d'ana-

1- Photomontage du parc éolien de Vix et Le Gué de Velluire (85).

1- Photomontage of the Vix and Le Gué de Velluire wind-power farm.

© CRÉDIT ANNE DESSARD - VINCI



2- Carte de l'Energie Eolienne en France (Source SER).

2- Map of wind-power energy in France (Source SER).

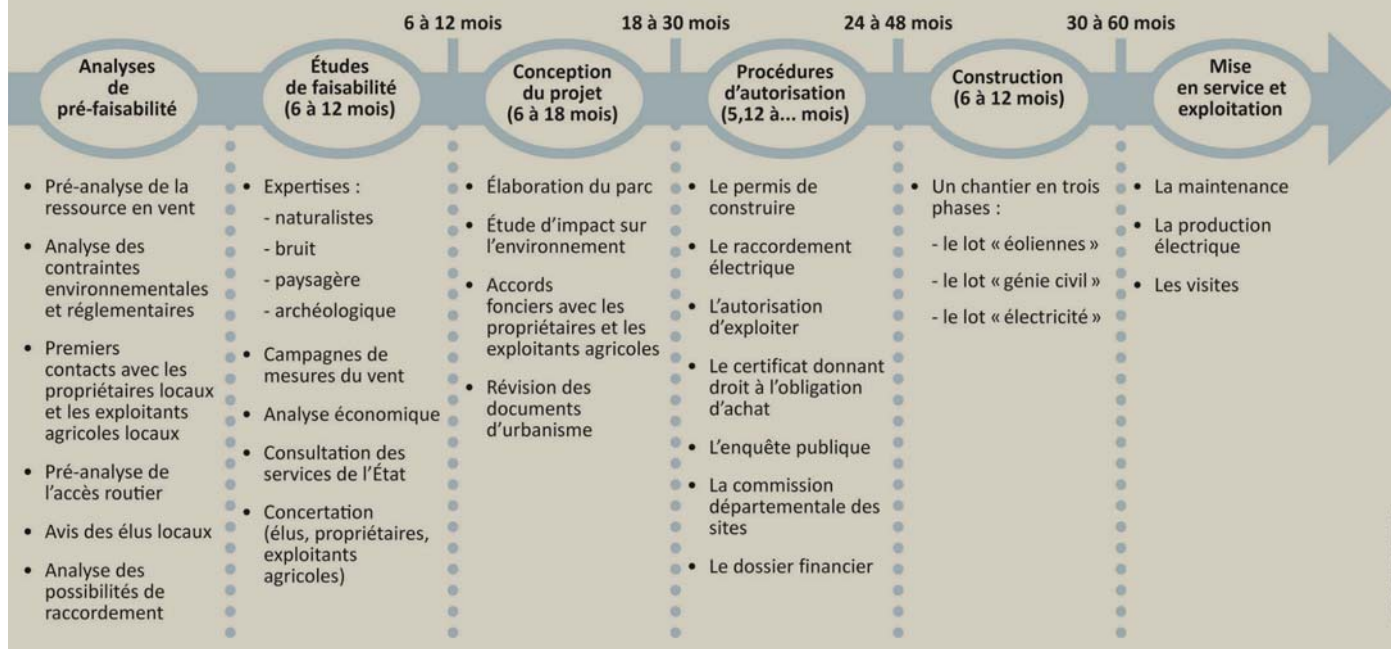
lyse, de rencontres et de concertation sur la ou les commune(s) concernée(s). Le développement d'un projet éolien est un véritable parcours du combattant. Le chef de projets doit tout au long du projet appréhender la totalité des paramètres technico-économiques, tout en tenant compte des nombreux enjeux environnementaux. Ceci en constante concertation avec ses différents interlocuteurs aux profils très variés : élus communaux intercommunaux, services de l'Etat, propriétaires et exploitants des terrains, riverains, gestionnaire électrique, associations environnementales, bureau d'études pour la réalisation du dossier des études (tableau 3).

LES PRÉ-ÉTUDES

Elles consistent à évaluer la faisabilité technico-économique du futur projet en tenant compte de toutes les servitudes inhérentes à la filière éolienne. Il s'agit pendant ces phases de collecter, « superposer » et synthétiser de nombreuses informations : potentiel éolien, éloignement (habitations, routes, lignes ferroviaires, réseaux concédés), couloir de migration d'oiseaux, secteurs environnementaux protégés, couloirs aériens militaire ou civil, gazoduc, mais aussi d'évaluer la distance de raccordement au poste source électrique, d'étudier les accès au site en vue de l'acheminement des éoliennes, etc. ▶



LES ÉTAPES D'UN PROJET DE PARC ÉOLIEN



INFOGRAPHIE © THINK UP

Pour cela, un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) est utilisé. Il permet de réaliser une synthèse cartographique, d'identifier la disponibilité spatiale et aide à l'évaluation du site étudié. Lorsque le site répond aux attentes, une visite et une rencontre avec les élus sont organisées. C'est le début de la concertation.

La concertation jalonne les étapes d'un projet. Elle concerne localement les élus locaux, les propriétaires/exploitants des terrains, les riverains et les services de l'Etat. La concertation se fait notamment au travers de réunions publiques. Elles permettent de répondre aux interrogations et inquiétudes, mais surtout de présenter le projet au fur et à mesure de son avancement. Il est ainsi possible d'ajuster le projet en fonction de particularités locales.

Une fois l'accord de principe, pour la réalisation des études, donné par la collectivité, les propriétaires et exploitants sont rencontrés pour initier le partenariat foncier.

Une éolienne et ses infrastructures dans une parcelle représentent une surface maximale de 2 000 m² (figure 4).

C'est après l'obtention de ces premiers accords qu'un mât de mesures du vent est implanté sur le site. Il permettra d'évaluer de manière précise le gisement éolien du site et ensuite le productible de parc éolien.

La connaissance des vents sur un site garantit l'optimisation de l'implantation du parc. Il s'agit de limiter l'interaction

3- Les étapes d'un projet de parc éolien (Source SER).

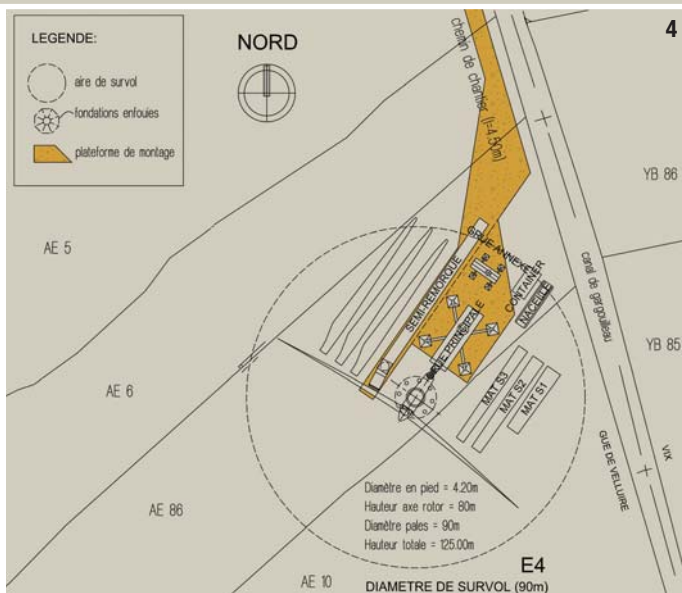
4- Plan d'implantation d'une éolienne sur une parcelle.

5- Courbe de distribution des vitesses (Courbe de Weibull).

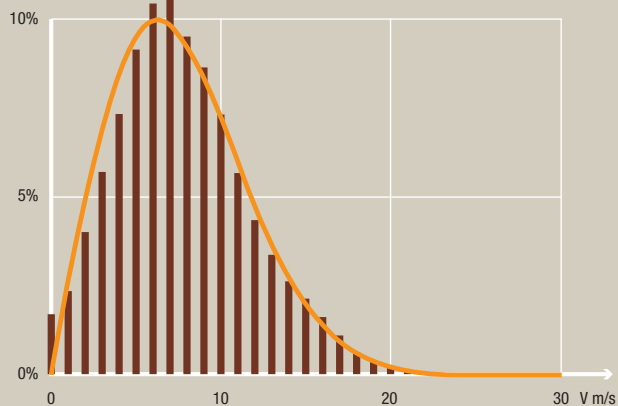
3- The stages in a wind-power farm project (Source SER).

4- Layout drawing of a wind turbine on a plot.

5- Speed distribution curve (Weibull Curve).

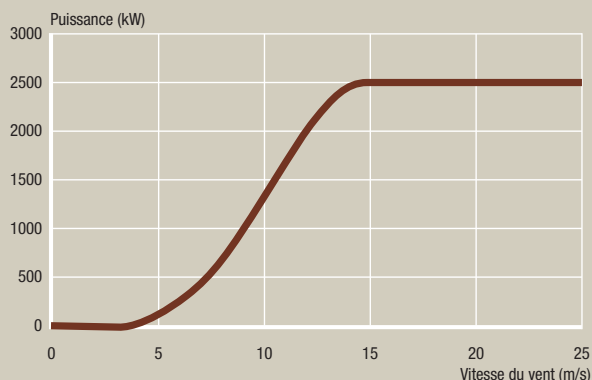


RÉPARTITION DES VITESSES DE VENT MOYENNES



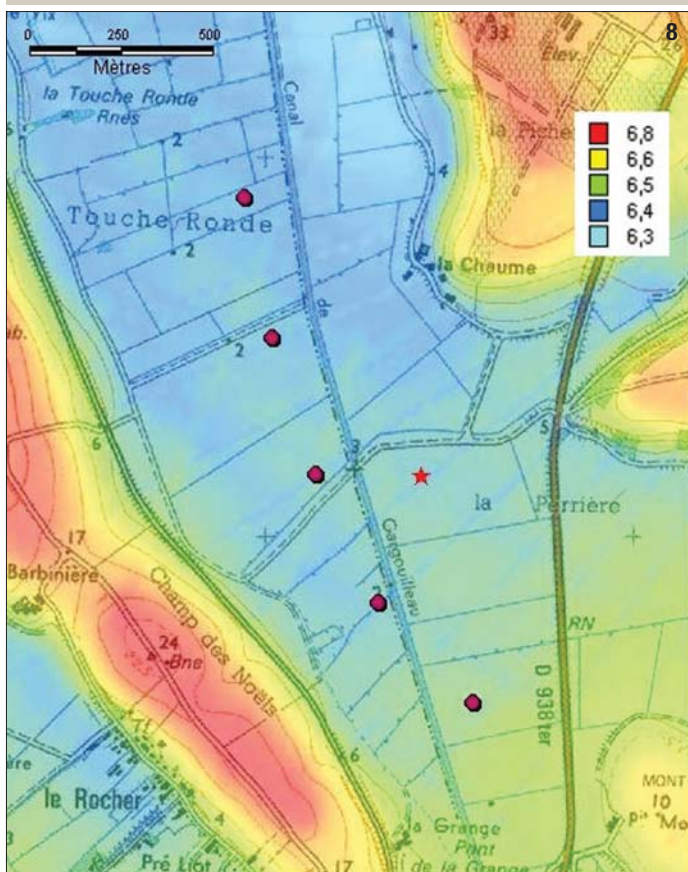
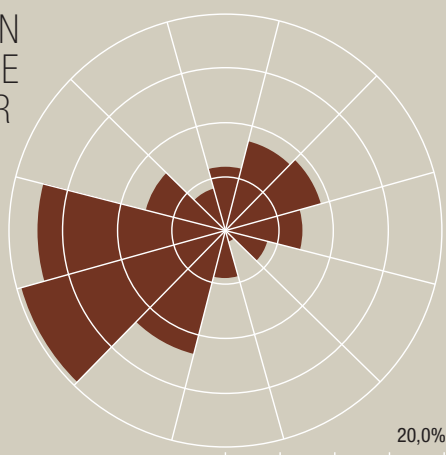
COURBE DE PUISSANCE D'UNE ÉOLIENNE DE 2,5 MW

6



DISTRIBUTION ÉNERGÉTIQUE DU VENT PAR SECTEUR DE 30°

7



8

« **IL EST
IMPÉRATIF
DE BIEN
ÉVALUER
LE POTENTIEL
ÉOLIEN MOYEN
D'UN SITE
SUR PLUS
DE DIX ANS** »

6- Courbe de puissance d'une éolienne de 2.5 MW.

7- Distribution énergétique du vent par secteur de 30°.

8- Nappage des niveaux de vitesses de vent sur un site à 80 m de hauteur (source ALTECH).

6- Power curve of a 2.5 MW wind turbine.

7- Energy distribution of the wind by 30° sector.

8- Layers of wind speed levels on a site at a height of 80 m (source ALTECH).

des éoliennes les unes par rapport aux autres. Les éoliennes doivent être suffisamment espacées : 3 à 4 diamètres à la perpendiculaire des vents dominants et 7 à 10 diamètres dans le sens des vents dominants.

Le mât mesure entre 40 et 80 mètres. Il est équipé d'anémomètres (vitesse) et de girouettes (direction) positionnés tous les 10 mètres afin d'appréhender le gradient de vitesse. Des capteurs de pressions et de température permettent de calculer la densité de l'air.

La campagne de mesures dure au minimum un an (soit un cycle de saisons). Les données sont enregistrées en continu sur le site. Elles sont ensuite traitées et comparées avec celles des stations météorologiques proches. La station Météo France qui corrèlera le mieux avec les données issues du mât servira à reconstituer le potentiel éolien sur une période longue (au moins dix ans).

Il est impératif de bien évaluer le potentiel éolien moyen sur une période longue. La variabilité interannuelle peut atteindre +/- 15%. Pour cette raison, la seule année de mesures sur le site ne suffit pas. Il y a en effet peu de chance qu'elle soit représentative d'une année moyenne.

En outre, la moindre erreur de mesure de la vitesse aura une conséquence forte sur le productible. En effet, la production d'une éolienne répond à une équation fonction du cube de la vitesse moyenne (0.2 m/s d'erreur induit une différence sur le productible de l'ordre de 7%).

La répartition des vitesses de vent moyennes est représentée sous la forme d'une courbe de Weibull (figure 5). La courbe de Weibull tient compte de 2 facteurs : Le facteur de forme 'k' correspondant aux caractéristiques du site (rugosité du terrain, climat, topographie) et le facteur 'A' qui est proportionnel à la variation de la vitesse moyenne du vent.

La production d'une machine correspond à la somme du produit des pourcentages d'apparition et de la puissance équivalente de l'éolienne pour chaque niveau de vitesses

Le productible est finalement estimé à l'aide de logiciels spécifiques (ie: WAsP®) qui nécessitent une importante puissance de calcul. La production électrique du parc éolien est estimée à hauteur de moyen à partir des courbes de Weibull de chacun de 12 secteurs de 30° de la rose des vents, de la numérisation des courbes de niveaux et de la rugosité (état de surface) du site ▷

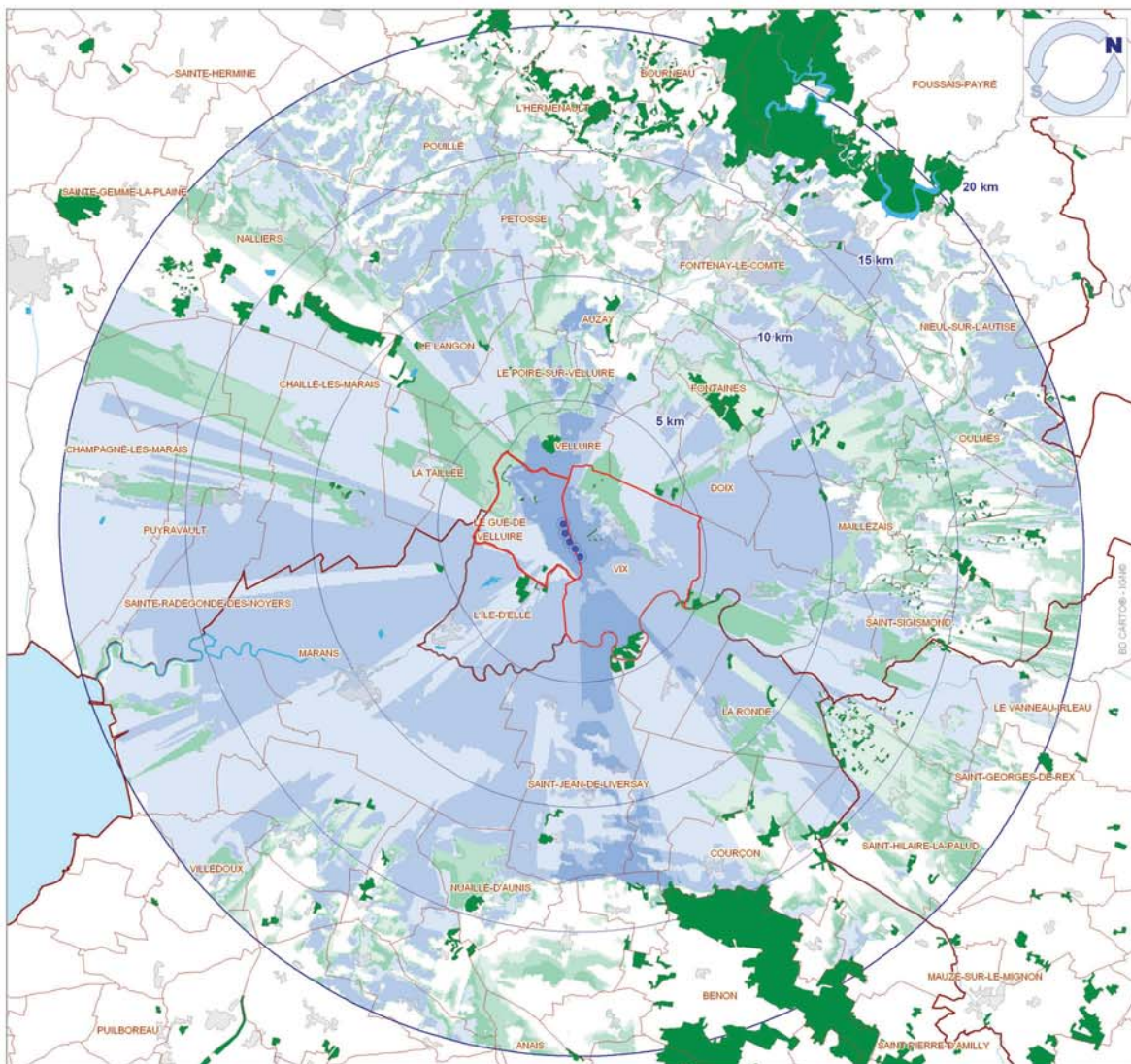
ETUDE DE VISIBILITE / Hauteur visible des éoliennes

Planche n°2

9

PROJET : Ferme éolienne du canal de Gargouilleau

REALISATION : **Kogéo**
4, rue de la Ménarderie
44710 Port-Saint-Père



9- Carte de visibilité (Source Kogéo).

9- Visibility map (Source Kogéo).

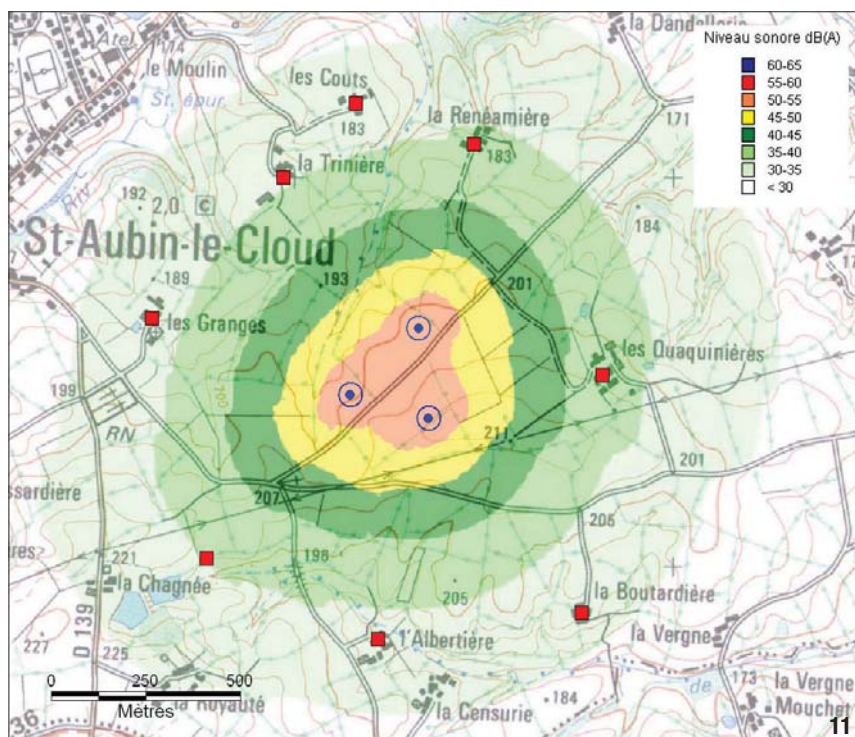
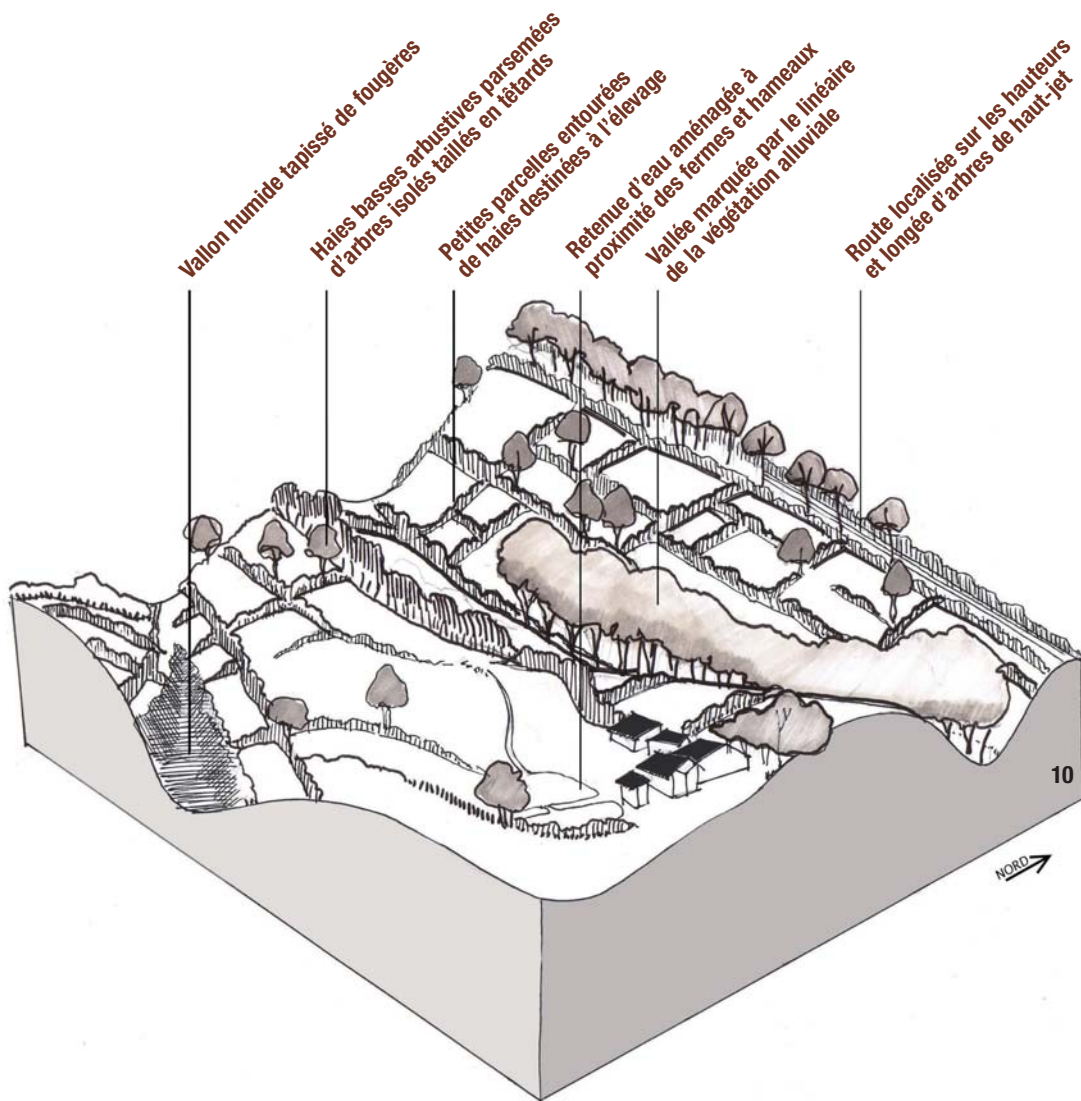
LEGENDE	VISIBILITE	EOLIEN	ADMINISTRATIF	OCCUPATION DU SOL
	<p>Visibilité de l'éolienne (totale ou partielle) depuis les espaces environnants (20 km de rayon autour du parc)</p> <ul style="list-style-type: none"> Visibilité de l'ensemble de l'éolienne Visibilité des 100 m > de l'éolienne Visibilité des 75 m > de l'éolienne Visibilité des 50 m > de l'éolienne Visibilité des 25 m > de l'éolienne Visibilité inférieure au 12,5 m > de l'éolienne <p>Pour savoir si une éolienne est entièrement ou en partie visible depuis un espace environnant donné, nous avons tenu compte de la configuration du relief mais également de l'occupation des sols (végétation et construit).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Eoliennes Commune de Vix Commune de Gât-de-Velluire Périmètres d'étude (5, 10, 15 et 20 km) 	<ul style="list-style-type: none"> Limites départementales Limites communales 	<ul style="list-style-type: none"> Espaces bâtis Espaces boisés Surfaces en eau

dans un rayon de 20 km et des courbes de puissance des machines. Le résultat final de productible tient compte de la densité de l'air moyenne du site (la performance des machines y est sensible), de l'interaction des éoliennes les unes par rapport aux autres

(pertes sillages), de la disponibilité des machines et des pertes électriques (figures 6, 7 et 8). Le rapport de productible sera une des pièces maîtresses du dossier d'investissement présenté aux banques pour le financement du projet en vue de sa

construction. L'électricité injectée sur le réseau et vendue correspond à la recette du parc éolien. Evacuer l'électricité produite par un parc éolien est bien la finalité du processus. Il est fondamental de maîtriser les solutions techniques de raccordement,

de s'assurer de la capacité d'accueil du poste source, et d'évaluer le coût des travaux. Les raccordements internes et externes sont souterrains. Ces travaux sont à la charge de l'investisseur et représentent une dépense importante de l'investissement.



10- Bloc Diagramme des Unités Paysagères (source ALTECH).

11- Cartographie de la contribution acoustique des éoliennes (Source ALTECH).

10- Block diagram of landscaped units (source ALTECH).

11- Mapping of the acoustic contribution of wind turbines (Source ALTECH).

Lorsque le chef de projets est assuré que le projet en préparation répond aux critères économiques souhaités, les études d'impact environnemental sont lancées.

LES ÉTUDES DU DOSSIER DE DEMANDE DE PERMIS DE CONSTRUIRE (PC)

L'étude d'impact environnemental, élément central du dossier à constituer pour la demande de PC, réunit les éléments des études du patrimoine naturel (faune, flore, avifaune, chiroptères...), de l'analyse paysagère, de l'étude acoustique.

L'étude paysagère

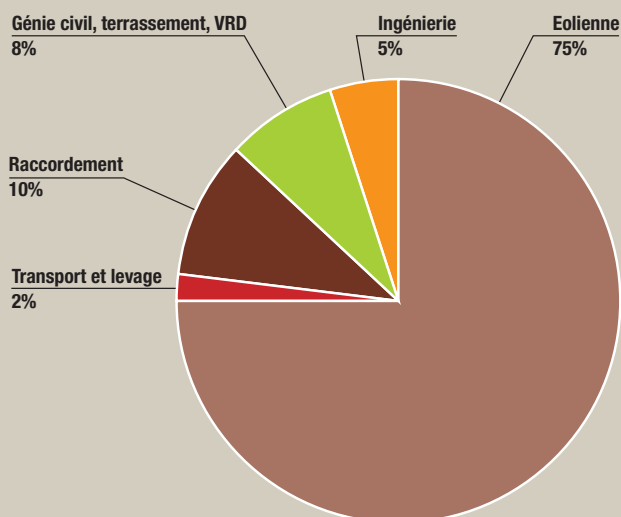
L'intégration des éoliennes dans le paysage appréhende de nombreux critères réglementaires (documents d'urbanisme, respect des servitudes), sanitaires (prise en compte des habitations), techniques (fondations, raccordement électrique), environnementaux (zones de protection [ZNIEFF, ZICO, ZPS, Natura 2000]) et patrimoniaux (monuments historiques et ZPPAUP). La pertinence de l'insertion des éoliennes dans le paysage qui les accueille est décisive dans la réussite du projet et l'obtention des avis favorables des services de l'Etat concernés (Paysagiste conseil de la DDEA, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, Architecte des Bâti-ments de France).

Chaque paysage, qu'il soit emblématique ou commun, présente sa propre identité et ses propres caractéristiques paysagères.

L'analyse paysagère identifie les éléments majeurs. Ceux-ci vont servir de base à l'insertion des éoliennes dans le paysage : axes structurants, marquants. Le parc éolien doit observer une continuité visuelle, un équilibre, une harmonie et une cohérence dans son ensemble. L'agencement des éoliennes est également réfléchi en fonction de ses impacts visuels au regard de l'habitat, des monuments historiques et des infrastructures, afin d'atténuer au maximum une rupture d'échelle par rapport à la verticalité des éoliennes. Pour évaluer la pertinence des implantations, une étude de visibilité et de nombreux photomontages sont réalisés à différentes échelles et depuis les vues les plus sensibles autour du site. Le projet éolien ne doit pas venir perturber l'agencement des différentes composantes paysagères existantes à l'origine de ce paysage (figures 9 et 10).

Le projet éolien va créer une nouvelle composante du paysage. L'association ▽

COÛTS D'INVESTISSEMENT D'UN PARC ÉOLIEN



12

L'IMPLANTATION D'UN PARC ÉOLIEN : UNE OPÉRATION TRÈS ENCADRÉE

Depuis la parution de la dernière Loi d'Orientation sur l'Énergie parue en 2005, les parcs éoliens doivent être implantés au sein de ZDE (Zone de Développement Éolien) pour prétendre au tarif de rachat de l'électricité par EDF.

Pour délimiter l'implantation des parcs éoliens en France, l'État a mis en place la procédure des Zones de Développement Éolien (ZDE) dans le cadre de la loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 du Programme fixant les Orientations de la Politique Énergétique (POPE).

Les ZDE sont définies à partir de trois critères : le potentiel éolien, les capacités de raccordement au réseau électrique et les sensibilités environnementales et patrimoniales.

Ce sont les élus locaux (communes ou EPCI) qui initient les études ZDE. Une fois le dossier finalisé, il est déposé auprès de l'administration qui dispose de 6 mois pour l'instruire une fois le dossier réputé complet. C'est le Préfet qui signe ou non l'arrêté de création de ZDE.

L'INSTRUCTION DU DOSSIER DE DEMANDE DU PERMIS DE CONSTRUIRE (PC)

Un dossier de demande de PC fait l'objet d'une instruction auprès d'une vingtaine de services de l'état (Préfecture, Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture, DRIRE, DIREN, Architecte des Bâtiments de France, Armées, Aviation Civile, Agence Nationale des Fréquences, TDF...). En France, la durée moyenne d'une instruction varie entre 6 et 18 mois voire plus !

Pendant l'instruction, une enquête publique est organisée sous l'égide d'un commissaire enquêteur. Il est désigné par le Tribunal Administratif. Pendant la durée de l'enquête publique (1 mois au minimum), le commissaire enquêteur recueille les avis des riverains. Il rédige ensuite un rapport dans lequel il émet son avis sur la faisabilité du projet qu'il remet au Préfet.

La Commission départementale de la nature, des paysages et des sites sera également consultée.

Une fois le permis de construire accordé par le Préfet et le délai de recours des tiers purgé, le dossier de financement du parc éolien est constitué puis présenté aux banques. Après acceptation, la phase de construction du parc éolien pourra alors enfin débuter.

12- Répartition des coûts d'investissement.

12- Breakdown of capital costs.

niques au sein de la nacelle ; ce bruit est aujourd'hui amoindri, dans les éoliennes de conception récente, par le capitonnage de la nacelle.

L'étude s'appuie sur une méthodologie qui se déroule en trois étapes : détermination du niveau sonore actuel sur le site (au droit des habitations proches) par une phase de mesure et de calcul, estimation du bruit engendré par le futur parc, et enfin le calcul du niveau des futures émergences (figure 11).

L'étude du patrimoine naturel

L'étude du patrimoine naturel consiste dans un premier temps à l'inventaire bibliographique des espèces floristiques, faunistiques et avifaunistiques. Cet inventaire est ensuite précisé grâce aux données déjà disponibles sur le secteur collectées localement par les naturalistes et ornithologues, mais aussi par des visites sur sites. Ces visites couvrent dans le cas de l'avifaune toutes les périodes (reproduction, migration, ...).

L'étude avifaunistique fait l'objet d'une attention particulière. L'avifaune représente souvent les principaux intérêts patrimoniaux du site. Certaines espèces d'oiseaux ou de chiroptères peuvent être sensibles à ce type d'installation. Une fois toutes les espèces répertoriées et localisées, les naturalistes évaluent les risques de perturbations et proposent leurs préconisations, recommandations et mesures compensatoires pendant les phases de construction et d'exploitation.

VINCI CONSTRUCTION FRANCE ET L'OFFRE GEOLIS

Impliqué dans le développement durable et les énergies renouvelables, VINCI Construction France a créé Geolis pour identifier sa compétence de développement de projets éoliens.

Geolis est impliqué dans toutes les phases du développement des projets éoliens, depuis les études d'identification des sites jusqu'à l'intervention des entreprises du Groupe dans la construction des parcs.

En se lançant dans cette spécialité de montage, très proche de celles constituant le cœur de métier des entreprises du groupe (hôpitaux, universités, complexes sportifs...), VINCI Construction France a voulu permettre à ses entreprises de s'ouvrir à de nouvelles activités.

Le premier parc éolien développé par VINCI Construction France se situe en Vendée sur les communes de Vix et Le Gué de Velluire. Ce projet a été initié en 2003, le permis de construire a été obtenu en juillet 2007.

des éoliennes et du paysage actuel aboutira à la création d'un nouveau paysage ne permettant plus la dissociation des deux.

L'étude acoustique

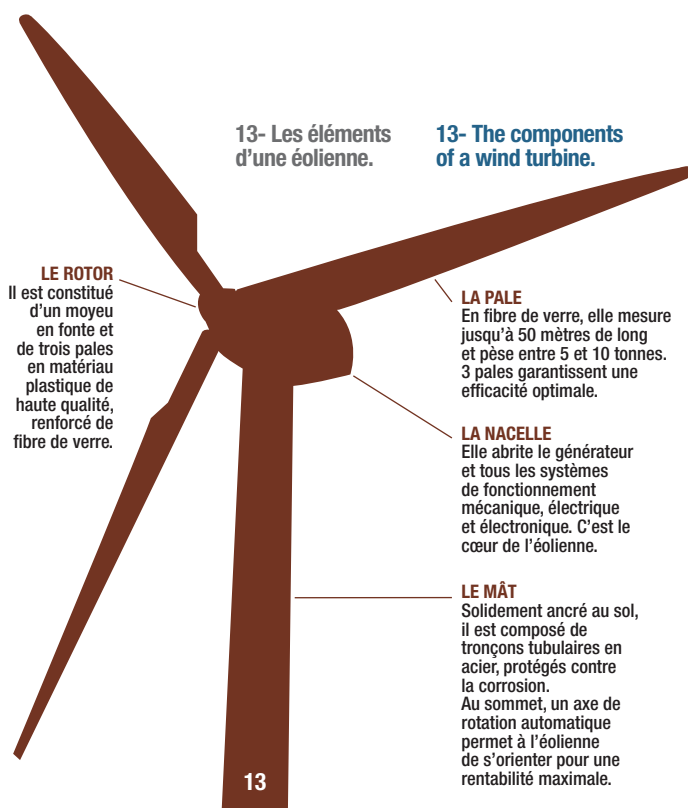
Le cadre réglementaire qui régit les aspects sonores liés aux éoliennes est la réglementation des bruits de voisinage. Cette réglementation s'appuie sur la notion d'émergence.

« L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs ou intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements ».

Le décret du 18 avril 1995 fixe des émergences à respecter au droit des riverains. Dans le cas d'installation susceptible de fonctionner en continu, les critères d'émergence, pour un niveau sonore global incluant le bruit particulier supérieur à 30 dB(A), sont pour la période de 7h00 à 22h00 : + 5dB(A) et pour la période de 22h00 à 7h00 : + 3dB(A).

Le bruit émis par une éolienne présente un certain nombre de spécificités : bruit d'une assez grande régularité, bruit variant en fonction du vent. L'origine du bruit généré par une éolienne est multiple :

- Frottement de l'air sur la tour ; le bruit généré est proportionnel à la vitesse du vent ;
- Frottement des pales dans l'air ; ce bruit augmente sensiblement avec la vitesse du vent ;
- Mouvements des systèmes méca-



13- Les éléments d'une éolienne.

13- The components of a wind turbine.

LE ROTOR
Il est constitué d'un moyeu en fonte et de trois pales en matériau plastique de haute qualité, renforcé de fibre de verre.

LA PALE
En fibre de verre, elle mesure jusqu'à 50 mètres de long et pèse entre 5 et 10 tonnes. 3 pales garantissent une efficacité optimale.

LA NACELLE
Elle abrite le générateur et tous les systèmes de fonctionnement mécanique, électrique et électronique. C'est le cœur de l'éolienne.

LE MÂT
Solidement ancré au sol, il est composé de tronçons tubulaires en acier, protégés contre la corrosion. Au sommet, un axe de rotation automatique permet à l'éolienne de s'orienter pour une rentabilité maximale.

13

ÉOLIEN ET CHIFFRES CLÉS

LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE ÉOLIENNE

Les éoliennes actuelles mesurent entre 120 et 150 mètres, pour une puissance comprise entre 2 et 3 MW. Le mât de l'éolienne atteint entre 80 et 120 mètres de haut. Le rotor a un diamètre compris entre 80 et 100 mètres (figure 13).

Combien pèse une éolienne de 80 mètres à l'axe et 90 mètres de diamètre ?

- Rotor (moyeu et pales) : 50 tonnes,
- Nacelle : 90 tonnes,
- Mât : 180 tonnes.

Sa fondation, d'une masse atteignant 800 t est une galette conique de 20 m de diamètre. Elle nécessite plus de 300 m³ de béton armé avec un ratio d'armature de 130kg/m³ soit une cage de 40 tonnes environ.

Une éolienne de 2MW permet de satisfaire la consommation électrique annuelle de près de 2 000 personnes (y compris le chauffage électrique).

Le parc consiste en l'implantation de 5 éoliennes de 2 MW unitaire. Elles culmineront à 125 mètres de hauteur, soit 79 mètres au moyeu et 46 mètres de longueur de pale. Le parc produira plus de 23 GWh (691 kWh/m² balayé ou 2 300 heures équivalent pleine puissance, soit un facteur de charge de 27%), correspondant à la consommation électrique de plus de 11 000 personnes.

GTM Ouest et d'autres entreprises locales du groupe VINCI assureront la réalisation des lots génie civil et électrique du parc. Les travaux ont débuté dans le courant de l'été 2009.

Aujourd'hui, Geolis participe au développement d'une vingtaine de projets répartis sur toute la France métropolitaine et déploie son périmètre de recherche de sites sur la moitié du territoire.

VINCI Construction France pour garantir l'indépendance de l'étude d'impact sur l'environnement fait appel à Alternative Technologique, l'un des bureaux d'études de références dans la filière éolienne.

L'ÉOLIEN : UNE TECHNOLOGIE MATURE

L'énergie éolienne est une énergie compétitive, immédiate et respectueuse de l'environnement. Elle ne dégage aucun gaz à effet de serre, ne produit pas de déchets, utilise une ressource inépuisable. La grande majorité des matériaux composants l'éolienne sont recyclables. Moins de 6 mois de fonctionnement sont nécessaires à une éolienne pour compenser l'énergie produite pour la

construire, la transporter et l'installer. En 30 ans, la taille des éoliennes a été multipliée par 4 pendant que la puissance l'a quasiment été par 100.

Le territoire métropolitain français se compose de 3 grands régimes de vents décorrélés qui assure une production nationale régulière prévisible. Le vent se substitue donc à l'énergie importée (fossile en particulier). Contrairement à certaines idées reçues, la production électrique d'origine éolienne se substitue aux 3/4 à la production thermique. Depuis 2002, le prix de l'électricité sur le marché européen a augmenté de 20% par an car il est dépendant des énergies fossiles. Ce n'est pas le cas de l'électricité d'origine éolienne. Dans quelques années, le prix de l'électricité éolienne sera inférieur au prix de marché de l'électricité.

En France, l'électricité produite à partir de l'énergie éolienne bénéficie d'un tarif d'achat fixé par décret. Il s'élève à 8.2 cts€/kWh pendant les 10 premières années de fonctionnement puis décroît en fonction de la performance du parc pendant les cinq années suivantes.

Le coût d'investissement d'un parc éolien avoisine 1.4 M€/MW installé (figure 12).

De 7 à 11 années sont nécessaires pour rentabiliser un parc éolien. Un parc de 10 MW fonctionnant 2 200 heures est équivalent pleine puissance produit 22 GWh. Le parc facture ainsi un peu plus de 1.8 M€ d'électricité par an alors que les coûts d'exploitation du parc atteignent jusqu'à 25% des recettes. □

ABSTRACT

HOW TO DEVELOP A WIND-POWER FARM PROJECT?

ERIC LANDES, VINCI - GILLES MARTIN, VINCI

The targets set by the «Grenelle de l'environnement» conference provide for an increase in the proportion of renewable energies in final energy consumption to at least 23% on the 2020 horizon. This ambitious change entails doubling renewable energy production in 12 years. All types of process will have to be used: solar, wind power, bio-energies, geothermal power, hydroelectricity, etc.

France has very good wind resources both on land and at sea. This article reviews the stages in construction and commissioning of a wind-power farm in France. A really tough job which requires several years of studies, analysis and consultation. □

¿CÓMO DESARROLLAR UN PROYECTO DE PARQUE EÓLICO?

ERIC LANDES, VINCI - GILLES MARTIN, VINCI

Los objetivos fijados por el Grenelle de l'Environnement (Cumbre del medio ambiente) contemplan elevar a como mínimo el 23% la parte de las energías renovables en el consumo de energía final al horizonte 2020.

Este ambicioso cambio prevé la duplicación de producción de energías renovables en 12 años. Se deberán solicitar a todos los sectores interesados: solar, eólico, bioenergías, geotermia, hidroelectricidad, etc. Francia dispone de un excelente recurso de viento en tierra como en el mar. En el presente artículo se levanta el balance sobre las etapas de construcción y de puesta en funcionamiento de un parque eólico en Francia. Un verdadero recorrido del combatiente que requiere varios años de estudios, análisis y de concertación. □

L'EXPLOSIF, UNE SOURCE D'ÉNERGIE EFFICACE ET PROPRE

AUTEURS : JEAN-FRANÇOIS COUVRAT, DIRECTEUR, FORAGE MINAGE DE L'OUEST - JEAN-RENAUD DERNONCOURT, ÉLÈVE INGÉNIEUR, ÉCOLE DES MINES D'ALÈS - FRÉDÉRIC MARTARECHE, DIRECTEUR INTERNATIONAL, BEC FRÈRES

LA SENSIBILISATION GRANDISSANTE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, L'AVÈNEMENT DE NOUVELLES RÉGLEMENTATIONS VISANT À LIMITER ET RÉDUIRE L'EFFET DES INDUSTRIES SUR NOTRE ENVIRONNEMENT ONT ABOUTI À L'INTÉGRATION D'UN NOUVEAU CRITÈRE DANS LE CHOIX DES MÉTHODES ET OUTILS EN ENTREPRISES : L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.

LES EXPLOSIFS INDUSTRIELS, APPRÉCIÉS POUR LEUR PUISSANCE, LEUR EFFICACITÉ, CONDUISANT À DES RENDEMENTS DE PRODUCTION TRÈS ÉLEVÉS, LEUR COÛT PEU ONÉREUX, SONT L'OUTIL PRIVILÉGIÉ DES CARRIERS ET TERRASSIERS DE PAR LE MONDE. MAIS COMMENT SE SITUENT-ILS FACE À CE NOUVEAU CRITÈRE ÉCOLOGIQUE ET NOTAMMENT EN TERMES DE REJETS DE CO₂ ?

UNE ÉTUDE MENÉE DANS LE CADRE DU SYNDUEX

Le SYNDUEX - Syndicat National des Entrepreneurs de Travaux Publics Spécialisés dans l'Utilisation de l'Explosif - œuvre, depuis sa création en 1990, à promouvoir les métiers, les savoir faire et l'usage des explosifs industriels. L'étude des fumées de tir, la gestion des vibrations, le minage aquatique, les travaux de démolition à l'explosif... sont autant de sujets s'inscrivant dans la démarche de « technicité maîtrisée » annoncée par le syndicat. Face aux nouveaux impératifs environnementaux, le SYNDUEX a logiquement initié une étude visant à définir l'impact environnemental des explosifs industriels et à mesurer leur efficacité en regard de leur émission de CO₂.

A noter que cette étude ne tient pas compte des « inconvénients » des explosifs que sont les poussières, les vibrations, le bruit - problématiques largement étudiées par le passé et aujourd'hui maîtrisées.

LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET LEURS IMPLICATIONS POUR LA PROFESSION

Depuis longtemps, le secteur du BTP se préoccupe de son impact sur l'environnement.

Ainsi, nombre de chantiers de TP sont à présent labellisés HQE (Haute Qualité Environnementale), voire THQE (Très Haute Qualité Environnementale). Ces labels et autres « projets verts » ou « chantiers écologiques » nécessitent une étude justifiant leur faible impact sur l'environnement.

Les différents types de pollution

Parmi les pollutions majeures générées par les industries, la fabrication et l'utilisation d'explosifs peuvent avoir un impact vis-à-vis de :

→ L'effet de serre ou réchauffement climatique qui trouve son origine dans la production de certains gaz : CO₂, NO, NO₂, N₂O, ...

→ L'eutrophisation qui correspond à un rejet excessif en phosphate ou en nitrate principalement dans l'eau et aboutit à une diminution sensible de la biodiversité.

→ L'acidification des eaux due à l'émission d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote qui dégrade la flore et donc l'ensemble d'un écosystème.

Principe du « pollueur - payeur »

Les évolutions réglementaires à venir trouvent leur origine dans les grandes décisions internationales de lutte contre l'effet de serre et le réchauffement climatique qui en résulte. La mise en place d'une politique chiffrée de limitation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) au travers d'un Plan National d'Attribution de Quotas d'émissions de gaz à effet de serre (PNAQ) promet d'importants changements dans la prise en compte de l'environnement pour les chantiers de TP. Sans effacer les obligations relatives à l'émission de polluants, cette politique définit un plan valable deux ans qui autorise les entreprises les plus polluantes à n'émettre qu'une quantité limitée de gaz à effet de serre, quantité donnée en tonnes et au-delà de laquelle l'entreprise devra acheter des tonnes d'émission supplémentaires via la bourse internationale du CO₂ Bluenext. Il est prévu que le nombre d'entreprises concernées augmente lors des réévaluations tous les deux ans, et que les masses d'émission soient de plus en plus réduites. Deux évolutions

sont envisageables pour le système d'attribution des quotas de CO₂ :

→ Début juin 2008, le Centre d'Analyse Stratégique a mis au point un modèle de calcul du futur prix de la tonne de CO₂ en fonction des objectifs de réduction annoncés. Ce modèle annonce une tonne de CO₂ à 32 euros en 2010, à 100 euros en 2030, et entre 150 et 350 euros à l'horizon 2050.

→ Début juillet 2008, M. Jean-Louis Borloo, Ministre de l'Environnement et du Développement Durable, décrivait les objectifs environnementaux de la Présidence Française de l'Union Européenne, et annonçait sa volonté de modifier le système de quotas d'émissions de gaz à effet de serre en rendant payant l'attribution des quotas. Ce système aurait pour but d'atteindre 20% de réduction des émissions d'équivalent carbone d'ici 2020. Des experts chiffrent le coût d'une telle mesure entre 30 et 80 milliards d'euros pour les industries européennes concernées.

QUEL IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES EXPLOSIFS ?

Composition des explosifs

Afin de correspondre au mieux à la réalité du marché français et européen, les explosifs étudiés sont les

© DR





émulsions encartouchées, l'ANFO ou nitrate fioul, la dynamite et l'émulsion vrac ou nitrate fioul alourdi. La masse globale d'explosif civil utilisé en France est de 45 000 tonnes par an. Cette quantité fluctue légèrement d'année en année selon la réalisation de grands chantiers de Travaux Publics en France nécessitant des explosifs (grands chantiers de terrassements pour la réalisation d'autoroutes, lignes de TGV, ...). La masse d'explosifs utilisée pour l'abatage des roches en carrières est, elle, globalement stable au fil du temps. Cette quantité globale d'explosifs civils se répartit ainsi :

- 10% de Dynamite
- 40% de Nitrate Fioul
- 30% d'Emulsion en vrac (ou « bouillie »)
- 20% d'Emulsion encartouchée

Les explosifs civils modernes sont des composés chimiques alliant à la fois combustible et comburant et dont les molécules de base contiennent les atomes suivants :

- Le carbone : C
- L'oxygène : O
- L'azote : N
- L'hydrogène : H

L'aluminium, que l'on peut rencontrer dans de nombreux explosifs ne joue pas un rôle direct dans la réaction

chimique engendrant l'explosion, c'est un catalyseur. Ainsi la formulation d'un explosif repose idéalement sur un équilibre comburant-combustible, appelé balance d'oxygène, qui se veut être nulle. Dans les faits, il sera préférable de disposer d'une balance d'oxygène légèrement négative pour limiter la production d'oxydes gazeux tels que les oxydes d'azote NOx.

→ De nombreuses compositions de dynamite sont possibles. La composition générale admise pour une dynamite est un mélange de : nitroglycérine (nitroglycérine + dinitroglycol), nitrate d'ammonium, coton azotique, farine de bois, dinitrotoluène ou trinitrotoluène, tourbe, sel et aluminium.

→ Le nitrate fioul est lui composé de nitrate d'ammonium technique, de fioul domestique ou autres combustibles tels que la nitroparaffine, éventuellement d'aluminium et d'antimassants. La proportion idéale est de 96% de nitrate d'ammonium pour 4% d'huile minérale.

→ Les émulsions encartouchées contiennent une large proportion de nitrate d'ammonium, nitrate minéral ou organique équivalent, de l'huile minérale ou de la cire pour le combustible, des tensio-actifs, de l'eau et divers additifs tels que l'aluminium. Les émulsions

vrac ou nitrate fioul alourdi respectent la même composition mais dans des proportions différentes.

→ Les détonateurs sont des composés plus puissants (vitesse de détonation de 8 000 m/s contre 6 000 m/s pour les dynamites et émulsions encartouchées et 3 000 m/s minimum pour les nitrates fioul) et plus sensibles. Ils se composent de penthrite (ou PETN), hexogène, octogène et d'hexolite, fibre de verre, carbone.

Toxicité des composants

L'étude des propriétés chimiques des composants des explosifs a permis de définir la toxicité pré-explosion.

Celle-ci se décline en différents degrés d'impact :

→ Les composants sans effet sur l'environnement : l'eau, l'aluminium, la cire.

→ Les composants à effet immédiat sans altération des organismes vivants : la nitroglycérine, le nitrate d'ammonium à faible dose.

→ Les composants induisant des effets irréversibles pour l'environnement et les organismes vivants : le trinitrotoluène, dinitrotoluène.

Cette dernière catégorie ne concerne plus la France du fait de la disparition de ces composants dans la réalisation des dynamites.

L'impact des explosifs pré-détonation est aujourd'hui inexistant dans le cadre d'une utilisation normale. (voir Autres pollutions).

Les polluants produits par un tir et leur effet

Les recherches bibliographiques et l'étude des réactions chimiques de détonation ont permis de définir les résidus gazeux émis lors de la détonation. Ceux-ci diffèrent quant à leur impact sur l'environnement :

→ Les gaz inertes dont le seul danger est une concentration trop importante pouvant conduire à une asphyxie :

- N₂ - l'azote.
- H₂ - le dihydrogène.
- CH₄ - le méthane.
- O₂ - le dioxygène.
- CO₂ - le dioxyde de carbone ou gaz carbonique.
- H₂O - la vapeur d'eau.
- Al₂O₃
- Na₂O

→ Les gaz nocifs à court terme sans effet d'accumulation :

- NH₃ (irritation) - l'ammoniac.
- CO (toxique) - le monoxyde de carbone.

• NOx (toxiques) - les oxydes d'azote.

→ Les gaz dangereux par accumulation dans l'environnement : les Gaz à Effet de Serre (GES) :

- CO₂
- CO (ce gaz peut également être nocif par accumulation dans l'organisme).
- CH₄
- NOx

Malgré l'absence d'étude scientifique sur les émissions globales d'un tir d'explosif, il apparaît que les gaz mesurés lors d'expérimentations ou prédits par la thermochimie ainsi que leur concentration ne représentent pas un danger particulier pour l'homme et son environnement dans les conditions normales d'utilisation : carrières et chantiers à ciel ouvert, temps d'attente avant tout déplacement sur la zone de tir après détonation.

La formation de polluants secondaires

De l'identification des résidus « directs » des tirs ci-dessus, il a été possible d'établir d'autres résidus potentiels « indirects » qui peuvent se former à partir des gaz émis lors de la détonation. Ces nouveaux produits sont :

- Le N₂O (puissant GES et toxique pour l'Homme) - le protoxyde d'azote.
- Le NH₄NO₃
- Le NH₄-CO₃H
- Le Al₂O₃-Na₂O

Bien qu'on ne sache pas aujourd'hui

mesurer précisément les concentrations de ces composés, on peut affirmer que ces concentrations restent à un niveau très faible puisque produits par des gaz « directs » en quantité limitée.

La prédiction de nouveaux résidus de tir complexes pourrait justifier une étude expérimentale globale sur les gaz issus d'une explosion. En l'état actuel des connaissances, on peut toutefois affirmer que ces concentrations restent à des niveaux qui les rendent sans dommage pour l'homme et son environnement.

Autres pollutions

D'autres pollutions potentielles que celles dues à la détonation ont été identifiées :

→ La dissolution de nitrate d'ammonium ou de fioul dans l'eau, cette pollution peut avoir lieu dans le cas d'un trou de mine contenant de l'eau.

→ La gestion des emballages d'explosif vides après le tir.

→ La gestion des détonateurs après le tir.

En plus d'un impact environnemental réduit, la dissolution de produits dans l'eau ne peut se faire que dans le cadre d'une mauvaise utilisation des explosifs et ne peut concerner qu'une

faible quantité de polluants. Les autres pollutions citées précédemment n'ont pas d'impact profond sur l'environnement : les emballages d'explosifs sont en matières plastiques et cartons donc non toxiques.

RÉALISATION DU BILAN DES GAZ À EFFET DE SERRE (GES) ET DU BILAN ÉNERGÉTIQUE DES EXPLOSIFS

Equivalent CO₂ des Explosifs (tableau A)

Le cas des Gaz à Effet de Serre émis lors de la détonation d'explosifs a été spécifiquement étudié. A partir de données théoriques et expérimentales disponibles, une méthode de calculs de l'équivalent CO₂ de l'utilisation d'un explosif a été mise en place. Pour cela, il a été nécessaire de définir la masse moyenne de chaque gaz émis lors de la détonation. Les études antérieures de mesure de ces gaz et le logiciel de calcul de résidus gazeux de tir Déthéocalc98 de Nitrochimie a permis d'établir un rapport entre valeurs théoriques et expérimentales et ainsi d'estimer les quantités de gaz émis. La masse de chaque gaz étant connue, reste à calculer la masse équivalente de CO₂ à

l'aide du PRG (Pouvoir Radiatif Global) afin d'obtenir le bilan GES des explosifs (par type d'explosif, par kg d'explosif et par MJ d'explosif). Les composés résiduels aux tirs et contribuant à l'effet de serre qui ont été précédemment identifiés sont :

- Le CO₂
- Les NOx (NO et NO₂)
- Le CH₄
- Le N₂O
- Le CO (gaz n'entrant pas directement dans la catégorie des gaz à effet de serre mais qui tend à se stabiliser en CO₂ avec le temps).

Méthodologie des bilans pour les carrières et les chantiers

L'obtention d'un équivalent carbone pour les explosifs a permis de définir la contribution de l'ensemble du poste forage-minage dans les émissions de CO₂ des activités de carrières et de chantiers de TP.

Les bilans GES effectués pour les carrières prennent en compte l'activité propre (sur la base de 2,67 kgCO₂ et 10,7 kW soit 38,5 kJ par litre de fuel) :

- Le transport interne en dumper : 0,449 kgCO₂/T abattue/dumper.
- Les pelles : 0,449 kgCO₂/T abattue/pelle.

TABLEAU A : DÉTERMINATION DE L'ÉQUIVALENT CO₂ ET DE L'ÉNERGIE PRODUITE ANNUELLEMENT EN FRANCE

Type d'explosif	Emulsion	Emulsion vrac	ANFO	Dynamite	Total
Total d'explosif (kg)	9 000 000	13 500 000	18 000 000	4 500 000	45 000 000
kgCO ₂ /kg	0,669	0,669	0,339	0,676	0,538
Total CO ₂ émis (kg)	6 021 000	9 025 920	6 110 904	3 042 000	24 199 824
MJ/kg	3,6	3,2	3,8	4,9	3,69
Total énergie (MJ)	32 400 000	43 200 000	68 400 000	22 050 000	166 050 000
kgCO ₂ /MJ	0,186	0,209	0,089	0,138	0,146
Il en ressort qu'en moyenne 1 Kg d'explosif produit 538 grammes de CO ₂ en détonant et pour produire 1 MJ d'énergie explosive 146 grammes de CO ₂ seront émis.					

TABLEAU B

Production	400 000 T/an
	2 dumpers
	1 pelle
Matériel de production	1 chargeuse
	1 transfo
	80 tirs/an
Amenée Foreuse-carrière	200 km AR
Distance explosifs-carrière	200 km AR
Distance parcourue UMFE	200 km AR

TABLEAU C

	Roche dure		Roche tendre		
	France	Europe	France	Europe	
Fabrication des explosifs incluant la production d'ammoniaque	50 193	50 193	38 531	38 531	kgCO ₂ /an
	0,125	0,125	0,096	0,096	kgCO ₂ /T
Emission lors du tir	28 200	28 200	21 432	21 432	kgCO ₂ /an
	0,071	0,071	0,054	0,054	kgCO ₂ /T
Autres opérations de forage/ minage	64 798	64 798	52 554	52 554	kgCO ₂ /an
	0,162	0,162	0,131	0,131	kgCO ₂ /T
Total forage-minage	143 191	143 191	112 517	112 517	kgCO ₂ /an
	0,358	0,358	0,281	0,281	kgCO ₂ /T
Total hors forage-minage	1 268 650	1 804 650	1 218 250	1 593 450	kgCO ₂ /an
	3,17	4,51	3,05	3,98	kgCO ₂ /T
Total carrière	1 411 842	1 947 842	1 330 767	1 705 967	kgCO ₂ /an
	3,53	4,87	3,33	4,26	kgCO ₂ /T

TABLEAU D

	Roche dure	Roche tendre	
	1 134 842	910 202	
Total forage-minage	2,84	2,28	MJ/T
dont explosifs	0,50	0,38	MJ/T dû aux explosifs
Total hors forage-minage	16 682 400	14 522 400	MJ/an
	41,71	36,31	MJ/T
Total carrière	17 817 242	15 432 602	MJ/an
	44,54	38,58	MJ/T

→ Les chargeuses : 0,296 kgCO₂/T abattue/chargeuse.

→ La consommation électrique des concasseurs et des tapis : selon la roche.

Pour le poste forage-minage, les bilans GES prennent en compte :

→ Le forage : selon la roche.

→ Le transport des explosifs encartouchés : 0,224 kgCO₂/km.

→ La quantité des explosifs : selon la roche.

→ Le transport de la foreuse : 1,143 kgCO₂/km.

→ L'Unité Mobile de Fabrication d'Explosif : 0,387 kgCO₂/km.

Etant donné les émissions de CO₂ induites par la fabrication du nitrate d'ammonium, composé majoritaire des explosifs, la fabrication des explosifs mais aussi de la foreuse, des dumpers, des infrastructures de la carrière, des pelles, de la chargeuse, les émissions amont du carburant ont été prises en compte dans les bilans GES :

→ Fabrication du nitrate d'ammonium : 0,815 kgCO₂/kg d'explosif.

→ Emissions amont du diesel : + 11,61% d'émission pour les engins thermiques.

→ Fabrication engins et infrastructures :

5,5 kgCO₂/kg de machine/structure.

Deux types de roche sont pris en compte : roche dure type granite et roche plus tendre type calcaire, cette distinction se justifie par les différences induites par la roche quant au temps de forage et aux quantités d'explosif mis en jeu.

→ Forage :

- 20 m/h soit 0,092 kgCO₂/T abattue pour le granite.

- 30 m/h soit 0,061 kgCO₂/T abattue pour le calcaire.

→ Explosifs :

- 131 g/T soit 0,0705 kgCO₂/T abattue pour le granite.

- 100 g/T soit 0,05358 kgCO₂/T abattue pour le calcaire.

→ Consommation électrique (concasseurs) :

- 2 000 000 kWh/an pour le granite.

- 1 400 000 kWh/an pour le calcaire.

Concernant la consommation électrique, ont été distinguées les carrières situées en France où la production d'électricité est majoritairement d'origine nucléaire, très peu émettrice de CO₂ par rapport à la production moyenne en Europe utilisant davantage le gaz, le charbon ou le pétrole. En France, un kWh électrique entraîne une émission de

84 grammes d'équivalent CO₂, là où la valeur moyenne en Europe est estimée à 352 grammes de CO₂ par kWh électrique produit.

Dans le cas des chantiers de TP, les principales différences sont :

→ Les explosifs dont la quantité augmente étant donné l'absence d'effet de face libre lors du tir, on obtient alors :

- 0,1064 kgCO₂/T pour le granite.

- 0,0809 kgCO₂/T pour le calcaire.

→ La distance parcourue par un dumper est doublée, on a ainsi : 1,043 kgCO₂/T.

Bilans pour les carrières

Les bilans GES et énergie ont été réalisés sur la base d'une carrière moyenne (les caractéristiques sont résumées dans le tableau B), puis rapportés à la tonne abattue. Le tableau C regroupe les bilans GES pour la carrière selon le lieu et le type de roche.

Les bilans énergie sont rassemblés dans le tableau D.

Bilans pour le chantier de TP

→ Bilan GES (tableau E).

→ Bilan énergie (tableau F).

En résumé

L'extraction d'une tonne de roche dure type granite en carrière génère en moyenne 3,53 KgCO₂ (4,87 en Europe en raison des méthodes de production d'électricité) et consomme 44,54 MJ.

Pour l'extraction d'une Tonne de roche tendre type calcaire, une carrière produite en moyenne 3,33 KgCO₂ (4,26 en Europe) et consomme 38,58 MJ.

Pour un chantier de TP, le CO₂ émis s'élève à 3,59 KgCO₂ par Tonne au maximum (sur la base d'une densité de 2,5T/m³) et consomme 55,6 MJ par Tonne. D'un point de vue GES, le poste forage-minage contribue pour moins ▷

TABLEAU E : BILAN GES

Bilan poste forage-minage (en kgCO ₂)	Roche type granite	Roche type calcaire
Total	501,41	450,66
Par mètre cube	1,00	0,90
Bilan autres postes (en kgCO ₂)	Roche type granite	Roche type calcaire
Total	3 983,11	3 983,11
Par mètre cube	7,97	7,97
Bilan chantier (en kgCO ₂)	Roche type granite	Roche type calcaire
Total	4 484,52	4 433,77
Par mètre cube	8,97	8,87

TABLEAU F : BILAN ÉNERGIE

Bilan poste forage-minage (en MJ)	Roche type granite	Roche type calcaire
Total	4 947,76	4 706,66
Par mètre cube	9,90	9,41
Bilan autres postes (en MJ)	Roche type granite	Roche type calcaire
Total	64 524,00	64 524,00
Par mètre cube	129,05	129,05
Bilan chantier (en MJ)	Roche type granite	Roche type calcaire
Total	69 471,76	69 230,66
Par mètre cube	138,94	138,46

LES EXPLOSIFS : UNE RÉACTION ÉNERGÉTIQUE OPTIMALE

PAR PHILIPPE SOMOGY, DIRECTEUR INDUSTRIEL DE TITANOBEL

Les explosifs industriels sont constitués en majeure partie de nitrate d'ammonium. Le nitrate d'ammonium est le comburant (apporteur d'oxygène), lors de la réaction chimique conduisant à la détonation.

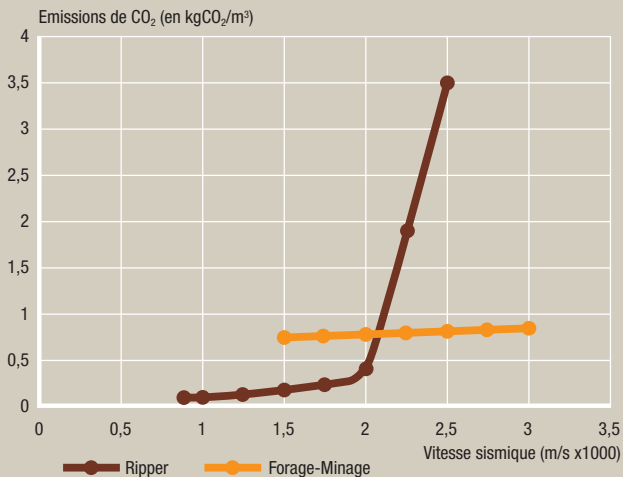
Le combustible quant à lui provient d'huile, de paraffine, de cire ou d'autres matières carbonées (c'est l'apport de carbone). La réaction chimique conduisant à ce que l'on appelle une réaction de détonation est en fait et en simplifiant une réaction d'oxydo-réduction. Le nitrate d'ammonium est un produit ayant une énergie potentielle chimique élevée, mais est surtout un produit qui peut être assimilé directement à une énergie fossile.

En fait, pour fabriquer du nitrate d'ammonium, il faut du gaz naturel en premier lieu, ce gaz étant transformé en ammoniac et en acide nitrique pour devenir du nitrate d'ammonium. Nous nous trouvons donc bien en présence d'une énergie fossile au même titre que le gasoil, l'essence, le coke et le charbon. La particularité de la réaction dite de détonation est que les conditions initiales de réaction (pression et température) sont particulièrement élevées et conditionnent le niveau de rendement énergétique de la réaction chimique. La pression de l'ordre de plusieurs milliers de bars et la température de l'ordre de plusieurs milliers de degrés kelvin favorisent une combinaison de molécules qui permet d'obtenir au final le maximum de l'énergie disponible dans ses molécules, et cela dans un court laps de temps (de l'ordre de quelques microsecondes).

En deux mots, une grande énergie produite dans un temps très court conduit à une puissance dégagée excessivement importante, puissance recherchée pour briser les roches. Cette réaction énergétique n'est rendue possible que par des conditions particulières de la réaction chimique de détonation : en effet, les mêmes composants réagissant à des températures et pressions ambiantes brûleraient en ne dégageant qu'une faible quantité de leur énergie potentielle.

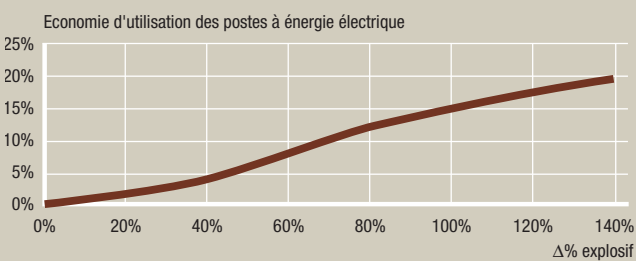
La réaction de détonation permet d'optimiser l'utilisation d'énergie fossile (transformée en nitrate d'ammonium) à son maximum de rendement énergétique, conduisant ainsi à un bilan de CO₂ des plus faibles compte tenu de la puissance récupérée. Il n'est donc pas surprenant que l'étude menée par le Synduex conclue à un excellent bilan environnemental des explosifs.

1 EMISSIONS DE CO₂ PAR M³ EN FONCTION DE LA VITESSE SISMIQUE DU CALCAIRE

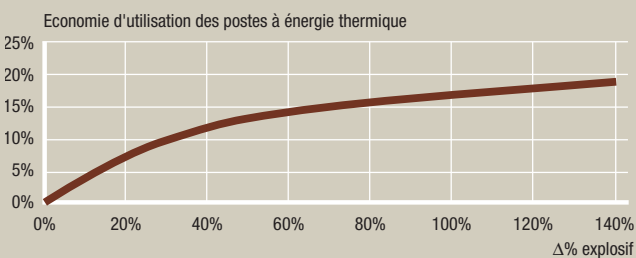


L'utilisation des explosifs pour l'abattage de roche calcaire doit être privilégiée par rapport au ripper pour une roche dont la vitesse sismique dépasse 2100 m/s, alors que le ripper peut fonctionner jusque 3250 m/s.

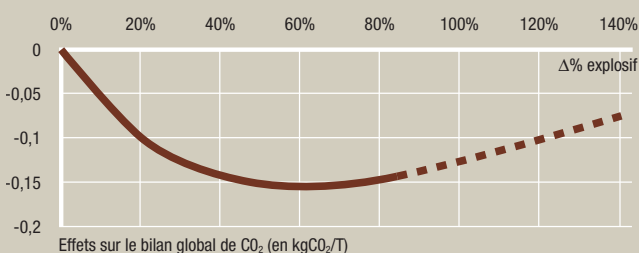
2 EFFETS DU Δ% EXPLOSIF SUR L'UTILISATION DU CONCASSEUR



3 EFFETS DU Δ% EXPLOSIF SUR L'UTILISATION DUMPER ET PELLE



4 INFLUENCE DE L'ÉNERGIE EXPLOSIVE SUPPLÉMENTAIRE SUR LE BILAN GES CARRIÈRE EN FRANCE



de 10,5% des émissions de CO₂ et les explosifs 2,5%. Énergétiquement, le poste forage-minage ne dépasse pas 6,5% de la consommation et les explosifs représentent moins de 1,5% de l'énergie utilisée.

COMPARAISONS AVEC LES MÉTHODES ALTERNATIVES

Dans le cas de roche dure, aucun engin mécanique ne permet l'abattage en masse de roche, il n'y a donc pas de méthode alternative à comparer avec les explosifs du point de vue gaz à effet de serre.

Pour les roches type calcaire, le ripper peut remplacer l'explosif dans une certaine plage de dureté de la roche. En effet, une roche à très faible dureté ne nécessite pas d'explosif et le travail des engins mécaniques est simple tandis qu'à partir d'une certaine dureté, les méthodes mécaniques comme le ripper rencontrent une importante résistance de la part de la roche, résistance que ne subit pas l'explosif. La consommation de carburant et donc l'émission de polluant étant fonction de cette résistance pour les engins mécaniques, il est possible de réaliser un graphique indiquant la plage de dureté de roche où l'explosif produit moins de CO₂ que l'utilisation du ripper. Le graphique 1 est basé sur les abaques Caterpillar concernant le rendement d'un ripper D10 selon la dureté de la roche.

En chantiers de TP, le choix de méthodes alternatives résulte bien souvent de critères autres que l'émission de CO₂ (coût et contraintes de l'environnement). Dans le cas particulier d'un chantier THQE (Très Haute Qualité

Environnementale), le critère environnemental prend davantage d'importance et une comparaison devient alors utile. L'évaluation des émissions de CO₂ entre la méthode explosive et l'utilisation d'un brise roche hydraulique a été réalisée dans le cadre d'un appel d'offre réel. Les caractéristiques du chantier et les résultats obtenus sont :

- Chantier à l'explosif (tableau G).
- Chantier au BRH (tableau H).
- Comparaison (tableau I).

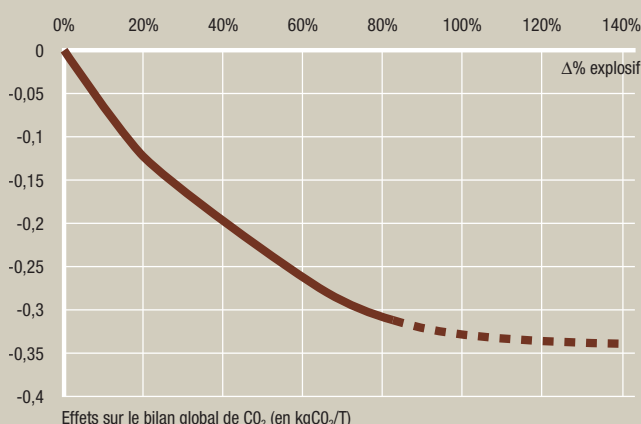
VARIATIONS DES BILANS GES SELON LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE EXPLOSIVE DÉLIVRÉE À LA ROCHE

A partir de l'hypothèse qu'un apport supplémentaire d'énergie explosive lors de l'abattage peut engendrer des économies d'utilisation des postes en aval, des estimations ont été faites pour quantifier ces réductions de fonctionnement. Il a ainsi pu être mis en évidence que sur le bilan global d'une carrière ou d'un chantier de TP, cette augmentation de l'énergie explosive implique une diminution des émissions de CO₂.

Cette hypothèse se base principalement sur la diminution de la granulométrie des roches abattues qui permet :

- Au concasseur primaire de fonctionner davantage à vide (il y a moins de roches de grande taille).
- Aux différents concasseurs de réduire plus facilement les roches et de moins s'user (phénomène d'attrition : les roches se brisent les unes sur les autres et non sur les parois du concasseur) (graphique 2).
- Aux pelles et chargeuses de ramasser plus facilement les roches abattues.

5 INFLUENCE DE L'ÉNERGIE EXPLOSIVE SUPPLÉMENTAIRE SUR LE BILAN GES CARRIÈRE EN EUROPE



→ Aux dumpers et aux pelles d'augmenter leur rendement (la densité moyenne de la roche devient plus grande).

→ Aux pelles de ne plus avoir à effectuer un tri des blocs d'une taille supérieure à celle que peut gérer le concasseur primaire de la carrière (graphique 3).

Ces estimations ont permis de définir un profil quant aux effets sur le bilan GES d'une carrière d'une augmentation de l'apport en énergie explosive lors de l'abattage. Les résultats prennent évidemment en compte les réductions d'utilisation et d'usure citées précédemment mais aussi les émissions supplémentaires dues aux explosifs rajoutés, au forage nécessaire à leur mise en place, à la fabrication de ces explosifs supplémentaires.

Le graphique 4 représente le profil obtenu pour une carrière de roche massive en France, alors que le graphique 5 représente le profil pour le même type de carrière en Europe.

Une validation des estimations de diminution d'utilisation des postes en aval de l'abattage reste à faire, mais d'après ces estimations : un apport supplémentaire de 50% d'énergie explosive implique entre 4 et 6% en moins d'émissions de GES sur le bilan global des carrières.

Des valeurs similaires sont obtenues pour les chantiers de TP.

Au niveau national, pour les carrières dont la production de granulats de roche massive est de 250 Millions Tonnes par an, l'ajout de 50% d'énergie explosive permettrait une économie de 0,15 kgCO₂ par tonne soit globalement

une économie de 38 Millions KgCO₂ (malgré l'augmentation des opérations de forage/minage)

Au niveau européen, sur la base d'une production électrique générant 0,352 kgCO₂/kWh (au lieu de 0,084 kgCO₂/kWh en France), l'économie atteindrait 0,3 kgCO₂ par tonne, soit pour l'ensemble de la production de roches massives estimée à 1,8 milliard tonnes (source UEPG 2006), une réduction de 540 millions kgCO₂ par an.

CONCLUSION L'ÉNERGIE EXPLOSIVE : DES RÉSULTATS PROBANTS EN MATIÈRE ENVIRONNEMENTALE

Le calcul rigoureux des bilans GES et bilans énergie a permis d'établir que le poste forage-minage représente une partie très faible des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre dans l'exploitation des carrières et des chantiers en terrains rocheux. L'étude a également établi que l'énergie dégagée par les explosifs est extrêmement « efficace » et qu'elle génère un équivalent CO₂ par MJ le plus bas de toutes les solutions envisageables pour briser les roches.

Par ailleurs, l'analyse des polluants générés lors des tirs conduit à affirmer que l'utilisation d'explosifs ne présente pas de dangers pour l'homme et son environnement.

On peut donc conclure de cette étude que les explosifs industriels sont non seulement puissants, sûrs, efficaces, rapides et peu coûteux, mais que par ailleurs ils présentent la solution la plus favorable du point de vue de l'impact environnemental.

Enfin, de premières estimations semblent démontrer qu'une augmentation de la charge explosive spécifique, en permettant une diminution de l'énergie de concassage, se traduirait par un gain global sur le bilan GES supérieur à toutes les émissions propres aux explosifs. Ainsi, en augmentant la charge

spécifique de 20%, on diminuerait les émissions globales de 0,10 kg de CO₂ par tonne produite soit pour l'ensemble des carrières françaises, une réduction annuelle de 25 millions de kgCO₂ (0.10*250 Mt) équivalent à 166 millions de km d'une voiture standard actuelle émettant 0.15 kg/km. □

TABLEAU G : CHANTIER À L'EXPLOSIF

Explosifs	500 g/m ³ émulsion
Foreuses	3 foreuses type Tamrock 500 Fonctionnement 39 h/semaine Consommation : 25 L _{diesel} /h
Salariés	6 personnes
Durée du chantier	5 mois

TABLEAU H : CHANTIER AU BRH

BRH	6 pelles sur chenilles équipées de BRH Pelle type Liebherr R317+BRH MB800 Fonctionnement 39 h/semaine Consommation : 20 L _{diesel} /h
Salariés	10 personnes
Durée du chantier	6 mois

TABLEAU I : COMPARAISON

Méthode	Quantité CO ₂ émis	Quantité de CO ₂ /m ³	Ratio
Explosifs sans UMFE et avec dépôt	194 807 kgCO ₂	32,47 kgCO ₂ /m ³	1
Explosifs avec UMFE et sans dépôt	195 953 kgCO ₂	32,66 kgCO ₂ /m ³	1,006
Brise Roche Hydraulique	356 222 kgCO ₂	59,37 kgCO ₂ /m ³	1,828

ABSTRACT

EXPLOSIVES, AN EFFICIENT, CLEAN SOURCE OF ENERGY

JEAN-FRANÇOIS COUVRAT, FORAGE MINAGE DE L'OUEST - JEAN-RENAUD DERNONCOURT, ECOLE DES MINES D'ALÈS - FRÉDÉRIC MARTARECHE, BEC FRÈRES

Growing awareness of environmental issues and the advent of new regulations aiming to limit and mitigate the effect of industries on our environment have led to allowance for a new criterion in the choice of corporate methods and tools: environmental impact. Industrial explosives, appreciated for their power and their efficiency, resulting in very high production yields, and their relatively low cost, are the preferred tool of quarriers and earthwork contractors worldwide. But how are they positioned to cope with this new ecological criterion, especially in terms of CO₂ discharges? □

EXPLOSIVOS, UNA FUENTE DE ENERGÍA EFICAZ Y LIMPIA

JEAN-FRANÇOIS COUVRAT, FORAGE MINAGE DE L'OUEST - JEAN-RENAUD DERNONCOURT, ECOLE DES MINES D'ALÈS - FRÉDÉRIC MARTARECHE, BEC FRÈRES

La sensibilización creciente a los retos medioambientales, la aparición de nuevas normativas que obligan a limitar y reducir el efecto de las industrias sobre nuestro medio ambiente dieron lugar a la integración de un nuevo criterio en la selección de los métodos y herramientas en las empresas: el impacto medioambiental. Los explosivos industriales, apreciados para su potencia, su eficacia, permiten obtener rendimientos de producción sumamente elevados, su coste barato, constituyen la herramienta privilegiada de las empresas de canteras y de movimiento de tierras en todo el planeta. Pero, ¿cómo se sitúan estas empresas frente a este nuevo criterio ecológico y, fundamentalmente en términos de vertidos de CO₂? □

LIFTING ENVIRONNEMENTAL POUR SEINE-AMONT

AUTEURS : THIERRY LOCURATOLO, RAZEL RÉGION NORD DE LA FRANCE, CHEF D'AGENCE GRANDS CHANTIERS -
ALPHONSE DUONG, RAZEL RÉGION NORD DE LA FRANCE, AGENCE GRANDS CHANTIERS, DIRECTEUR DU PROJET -
EMMANUEL L'HUILLIER, RAZEL SERVICE GÉOTECHNIQUE RÉGIONS, INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN

LA MISE AUX NORMES DERU¹ DE L'USINE DE DÉPOLLUTION DES EAUX USÉES DU SIAAP² SEINE AMONT (VALENTON) PERMETTRA D'OPTIMISER LES PERFORMANCES DE L'INSTALLATION TOUT EN RÉDUISANT LES CONSOMMATIONS EN RÉACTIFS CHIMIQUES AINSI QU'EN ÉNERGIE FOSSILE, LE SITE DEVENANT, À TERME, AUTONOME. LES TRAVAUX, D'UNE DURÉE DE 26 MOIS, NÉCESSITENT UN PHASAGE RIGOUREUX AFIN DE NE PAS INTERROMPRE NI PERTURBER L'ACTIVITÉ EXISTANTE. ILS PERMETTRONT PAR AILLEURS, OUTRE UNE INTÉGRATION PAYSAGÈRE POUSSÉE ET UNE RÉDUCTION DES NUISANCES OLFACTIVES, D'ANTICIPER LES BESOINS DE DEMAIN VIA LA MISE EN ŒUVRE DE SOLUTIONS ÉVOLUTIVES.



L'usine Seine-Amont, construite en 1987 sur la commune de Valenton (94), assure aujourd'hui une capacité de traitement quotidienne de 600 000 m³, par temps sec, et de 1 500 000 m³ les jours de pluie. Le site doit être mis en conformité avec la directive européenne « Eaux Résiduaires Urbaines » (voir encadré) qui impose un traitement poussé de l'azote et du phosphore. La date butoir étant fixée à juin 2010 en ce qui concerne le traitement du rejet des eaux, les modifications mises en œuvre devant, par ailleurs, anticiper les modifications qu'engendrera la Directive Cadre sur l'Eau³ dont l'entrée en vigueur est fixée pour 2015.

QUATRE BASSINS À « RELOOKER »

La première phase du projet a démarré en octobre 2008, l'objectif étant de modifier le process existant en vue de diminuer l'emploi des réactifs chimiques,

les travaux portant sur les parties dites « Valenton 1A et 1B », construites respectivement en 1987 et 1992, la partie dite « Valenton 2 » de la filière eau, de conception plus récente, étant d'ores et déjà compatible avec la DERU. Razel a proposé une solution de mise en conformité qui s'intègre dans les ouvrages actuels, ceci pour assurer une mise en œuvre rapide, permettant de respecter les délais serrés impartis, mais aussi afin d'optimiser les coûts d'investissement. Point fort : un caractère évolutif qui facilitera la transition avec la future DCE puisqu'il suffira alors de rajouter un ouvrage supplémentaire, en sortie de la zone de traitement, sans modification de l'existant. Dans la pratique, les travaux consistent à réorganiser les quatre bassins d'aération actuels de 60 m de diamètre (hauteur apparente 10 m avec un radier enterré à 10 m sous le terrain naturel), où se situe l'essentiel du process

« **LES TRAVAUX CONSISTENT À RÉORGANISER LES QUATRE BASSINS D'AÉRATION ACTUELS OÙ SE SITUE L'ESSENTIEL DU PROCESS BIOLOGIQUE DE L'AZOTE** »

biologique, afin d'assurer un traitement efficace de l'azote. Pour ce faire, le projet prévoit l'extension de la zone centrale anaérobie dans laquelle se déroule la dénitrification, en construisant un voile siphonoïde de 9 m de hauteur et 25 cm d'épaisseur qui multipliera au moins par trois la durée de transit des effluents. Cette structure, en B35 de classe d'environnement XA2, réalisée en une seule levée de bétonnage, viendra s'accrocher sur les deux voiles existants. Elle comporte une ouverture en pied afin de ne pas générer de nouvelle poussée hydrostatique. Côté formulation, l'utilisation d'un CEM III réduit fortement la chaleur d'hydratation et permet donc d'optimiser l'étanchéité en limitant, au maximum, les risques de microfissuration. Ces travaux sont soumis à un passage délicat puisqu'en parallèle de la construction du voile, Degremont intervient pour changer les équipements process. Le fonctionnement de l'usine ne devant, bien entendu, pas être perturbé, deux bassins V1A seront tout d'abord modifiés. Cette première opération, qui s'est achevée courant juin 2009, sera ensuite réitérée à l'identique sur les deux bassins V1B, après avoir respecté une phase d'observation d'un mois suivant la remise en service de V1A.

UNE AMBIANCE EXPLOSIVE

A noter qu'outre les contraintes qu'implique la garantie de maintien en fonctionnement des installations, une des difficultés majeures réside dans la nature même de l'usine. Il s'agit en effet d'un site classé Seveso. Les bassins hermétiques génèrent des phénomènes de fermentation qui peuvent se traduire par des risques d'explosion. Cette zone est ainsi soumise à la réglementation ATEX (Atmosphères Explosives), d'où l'obligation d'employer des équipements particuliers, interdisant toute production d'étincelles, lorsque les travaux se déroulent à proximité de ces environnements sensibles. Autre facteur à prendre en compte : l'intégration de nouveaux réseaux afin de faire fonctionner les process à venir, ceux-ci venant s'imbriquer dans une multitude de réseaux existants, plus ou moins bien repérés. La mise en conformité de la filière eau ayant des conséquences directes sur les différents types de boues, le projet prévoit également la mise en œuvre de traitements spécifiques, adaptés à chacun d'eux, afin de tirer le meilleur parti de leurs qualités intrinsèques. Deux concentrateurs de 15 m de diamètre (hauteur 6 m), destinés à ▷



1 - Ferrailage d'un radier de digesteur.

1 - Reinforcement for a digester foundation raft.

© RAZEL



LA FRANCE À LA TRAÎNE

La directive européenne du 21 mai 1991, relative au traitement des eaux résiduaires urbaines, impose aux Etats membres la collecte et le traitement des eaux usées pour toutes les agglomérations. Cette directive, dite DERU, a été transposée en droit français par le décret du 3 juin 1994. Elle fixe, selon la taille de l'agglomération et la zone dans laquelle elle se situe, un niveau de traitement des eaux ainsi qu'une date de mise en œuvre.

La France, qui accuse un retard important sur la mise en conformité de ses stations d'épuration (notamment au niveau du bassin Seine-Normandie), se trouve sous la menace de sanctions financières. Le 9^e programme, qui constate ces retards, se concentre sur les stations de plus de 2000 équivalent habitants (EH), même si toutes sont concernées et devront, à terme, être équipées. L'enjeu n'est pas seulement de se mettre en conformité avec les directives européennes mais bien de traiter un véritable problème de développement durable et d'éco-citoyenneté.

La DERU impacte directement la qualité de nos eaux et la protection écologique de nos rivières, une mauvaise épuration ayant des conséquences importantes sur le milieu. Des concentrations élevées en azote ou en phosphore provoquent, en effet, un phénomène d'eutrophisation qui se traduit par un appauvrissement en oxygène et une prolifération d'algues, sans parler des risques sanitaires. De plus, le problème du traitement des eaux usées se répercute au-delà de nos frontières puisque 25% de l'azote présent dans la Manche proviendrait de la Seine.

UNE PRÉSENCE À 110%

Comme le groupement d'entreprises assure également la maîtrise d'œuvre du projet, cette spécificité a conduit Razel à mettre en œuvre une cellule dédiée comprenant deux ingénieurs génie civil, trois ingénieurs process, un planificateur ainsi qu'un responsable sécurité. Ce contexte particulier oblige à un suivi très rigoureux du projet et une vigilance constante sur tous les points délicats identifiés en amont, la cellule assurant, par ailleurs, une mission de synthèse et de coordination. La réussite du chantier passe donc par une implication totale et une présence de tous les instants.

Razel a également fait appel au bureau d'étude Techniques et Méthodes qui, en l'occurrence, joue le rôle de contrôle externe et optimise le projet au plan économique.

récupérer les effluents, seront réalisés, deux digesteurs de 27 m de diamètre (hauteur 22 m) étant parallèlement construits pour assurer la digestion à 100% des boues primaires, les mieux adaptées pour une valorisation agricole extérieure. Ces digesteurs seront constitués d'un radier en pente (20%) et de voiles de 50 cm d'épaisseur réalisés en coffrages glissants, le bétonnage s'effectuant ainsi en continu.

Cette technique présente l'avantage d'éviter, par définition, toute reprise de bétonnage et, partant, les risques de fuites potentielles qui peuvent en découler. Chaque opération de coulage durera une semaine et mobilisera les équipes à trois postes. Les ouvrages seront clos par une coupole, en béton armé, composée de 24 pétales préfabriqués sur le site. Ces éléments de 13 m de longueur et 14 cm d'épaisseur, dont le poids atteint les 7 tonnes, présentent donc une extrême finesse. Ils s'apparentent à de véritables feuilles de papier cigarette géantes et ils devront être posés au moyen d'un palonnier spécifique.

UNE VARIANTE ÉNERGÉTIQUEMENT AUTOSUFFISANTE

Cet outil, qui intégrera une poutre métallique comportant neuf points d'ancrage afin d'assurer une rigidité maximale de l'ensemble, sera fabriqué en deux exemplaires. La mise en œuvre s'effectuera en effet par paire d'éléments, les pétales étant disposés de manière symétrique, en vis-à-vis. Ils reposeront, en tête, sur une tour d'étalement central, le clavage s'effectuant quant à lui par l'intermédiaire d'un disque béton de 40 cm d'épaisseur, coulé en place. Un bâtiment technique de 7 m de haut (15 x 30 m) sera, en parallèle, érigé à proximité des digesteurs. L'ouvrage sera réalisé en béton

brut de décoffrage avec joints creux, les considérations d'insertion paysagère exigeant donc un état de surface parfait, exempt de bullage, ainsi qu'un calepinage très précis des bandes de coffrage. Un des points techniquement délicat du projet résulte de la géologie très particulière du site, constitué principalement de ce que l'on peut qualifier de « remblais poubelliers ». Il s'agit en effet d'une ancienne ballastière qui a été remblayée, durant les années 1970, par de nombreux matériaux hétérogènes allant du bois au plastique en passant par les gravais mélangés à de la terre. D'où l'obligation d'effectuer de nombreuses missions d'investigation via des bureaux d'études spécialisés, l'hétérogénéité du terrain compliquant évidemment fortement l'ensemble des travaux de fondation. Les ouvrages provisoires, de type berlinoise, sont très difficiles à dimensionner, l'absence de cohésion du terrain et l'angle de frottement très faible obligeant, par ailleurs, à adoucir la pente des talus et donc d'accroître les terrassements alors qu'il faudrait, au contraire, essayer de limiter au maximum les mouvements de terre. Dans la pratique, des fondations profondes sont réalisées, l'ensemble du projet nécessitant de forer 280 pieux de 17 m de longueur moyenne, exécutés à la tarière creuse, dont le diamètre varie de 520 à 720 mm. Un second atelier de forage est prévu, celui-ci permettant de tuber jusqu'à 10 m de profondeur et, éventuellement, de trépaner, en cas de rencontre d'un obstacle imprévu de type bloc de béton, le creusement à la tarière pouvant reprendre une fois que la couche de terrain comportant des blocs est traversée par un forage tubé. Le dernier volet du projet, qui concerne le traitement des boues, a fait l'objet d'une variante, proposée par le groupement. La solution de base qui



prévoyait de sécher les boues, option technique qui nécessitait par ailleurs de construire un sécheur supplémentaire, a été remplacée par la mise en œuvre d'un four Thermylis qui rendra, à terme, le site autonome au plan énergétique. Celui-ci sera installé dans un bâtiment, à bardage double peau, de 31 x 36 m et 22 m de hauteur. Dans la pratique, le biogaz produit dans les digesteurs sera utilisé pour produire l'eau chaude employée pour alimenter l'usine, l'incinération des boues permettant, quant à elle, de produire suffisamment d'énergie pour couvrir les besoins du site en réduisant ainsi la consommation de gaz naturel à zéro. □

2- Concentrateurs rapides et bâtiment technique.

3- Bétonnage d'un digesteur en coffrage glissant.

4- Vue extérieure d'un digesteur.

5- Vue d'ensemble des digesteurs.

2- High-speed concentrators and process building.

3- Digester concreting with sliding formwork.

4- Exterior view of a digester.

5- General view of the digesters.

1- DERU = directive européenne relative au traitement des eaux résiduaires urbaines.

2- SIAAP = Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne.

3- La directive cadre donne la priorité à la protection de l'environnement en exigeant de veiller à la non dégradation de la qualité des eaux et d'atteindre, d'ici 2015, un bon état général tant pour les eaux souterraines que pour les eaux superficielles, y compris les eaux côtières.

FICHE TECHNIQUE

MAÎTRE D'OUVRAGE : SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Degrémont (mandataire) / Razel / AAE

ASSISTANCE À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE : Sogreah/Hydratec

BUREAU DE CONTRÔLE : Qualiconsult

COORDONNATEUR SPS : Qualiconsult Sécurité

DURÉE DES TRAVAUX : 26 mois

MONTANT DU MARCHÉ TRAVAUX : 77 millions d'euros HT

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL FACE-LIFT FOR THE UPSTREAM SEINE

THIERRY LOCURATOLO, RAZEL - ALPHONSE DUONG, RAZEL - EMMANUEL L'HUILIER, RAZEL

By bringing the upstream Seine (Valenton) sewage decontamination plant of the Paris region drainage board SIAAP into compliance with UWWT¹ standards, it will be possible to optimise the facility's performance while reducing consumption of chemical reagents and fossil energy, with the plant eventually becoming autonomous. The works, over a period of 26 months, require strict scheduling in order not to interrupt or disrupt existing activity. In addition to extensive integration into the landscape and odour nuisance abatement, the project plans ahead for tomorrow's needs through the implementation of upgradeable solutions. □

1- UWWT = European directive concerning urban waste water treatment.

LIFTING MEDIOAMBIENTAL PARA SEINE-AMONT

THIERRY LOCURATOLO, RAZEL - ALPHONSE DUONG, RAZEL - EMMANUEL L'HUILIER, RAZEL

La rehabilitación según las normas DERU¹ de la estación depuradora de aguas residuales del SIAAP Seine amont (Valenton) permitirá optimizar los rendimientos de las instalaciones reduciendo al mismo tiempo los consumos en reactivos químicos así como en energía fósil, para que la planta llegue a ser autónoma. Los trabajos, de una duración de 26 meses, precisan una planificación rigurosa con objeto de no interrumpir ni perturbar la actividad existente. Estos trabajos permitirán asimismo, además de una elevada integración paisajística una reducción de las contaminaciones olfativas, anticipar las necesidades futuras mediante la implementación de soluciones evolutivas. □

1- DERU = directiva europea relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas.

UN NOUVEAU BASSIN D'ORAGE AU HAVRE : LE BASSIN LEVESQUE

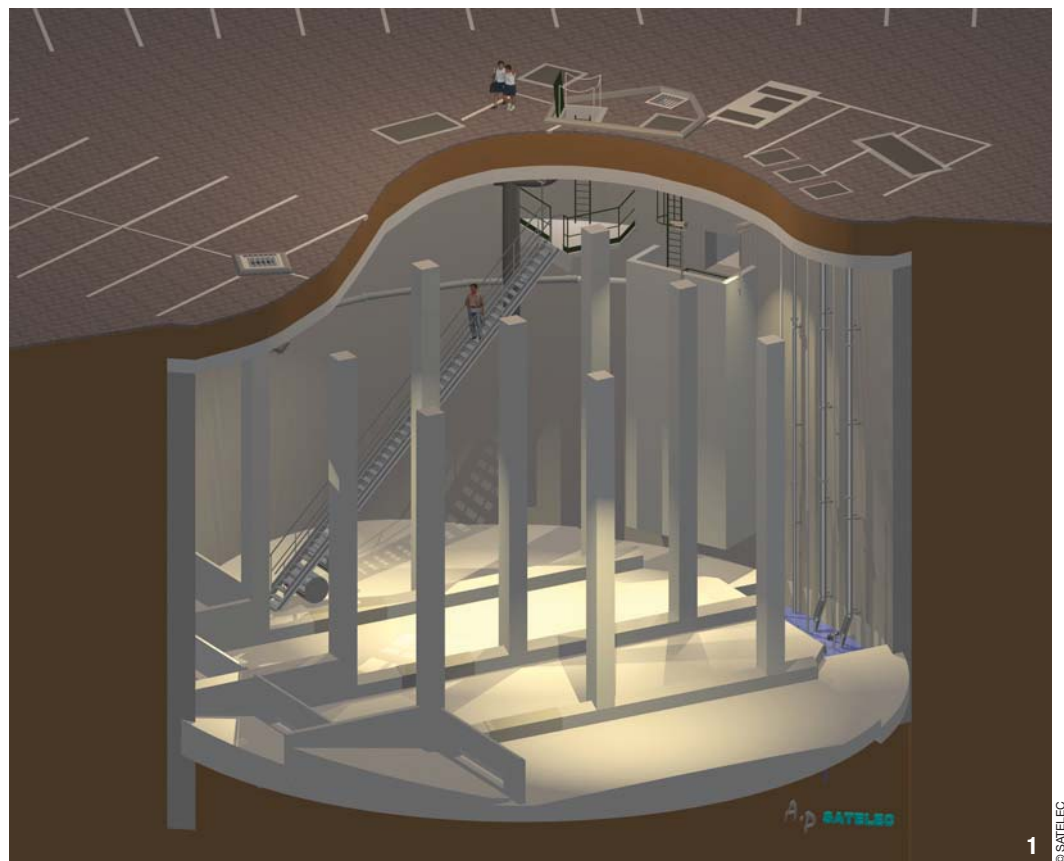
AUTEURS : BORIS CARO VARGAS, CHARGÉ D'AFFAIRES, SOLÉTANCHE BACHY - JEAN PHILIPPE BALANZAT, CHARGÉ D'AFFAIRES, SATELEC

LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE L'AGGLOMÉRATION HAVRAISE, CODAH, A LANCÉ UN VASTE PROGRAMME D'ÉQUIPEMENTS URBAINS CONSTITUÉ DE PLUSIEURS BASSINS D'ORAGE AFIN DE RÉSOUDRE LES PROBLÈMES CAUSÉS PAR LES FORTES PRÉCIPITATIONS. SOLÉTANCHE BACHY S'EST VU CONFIER EN ENTREPRISE GÉNÉRALE LA RÉALISATION CLÉS EN MAIN D'UN DES BASSINS DE STOCKAGE / RESTITUTION DE CET AMBITIEUX PROGRAMME DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS.

Le bassin Levesque est le deuxième bassin du schéma directeur de la CODAH. Il est précédé par le bassin Demidoff et suivi par le bassin Jenner, bassins pour lesquels Solétanche Bachy réalise les parois moulées et les fondations. Le Marché notifié à Solétanche Bachy concerne le lot 1, relatif à l'ensemble des travaux sur la place Levesque ; le lot 2 quant à lui concerne les travaux de canalisations à l'extérieur de la place. Le bassin Levesque, à la fois bassin de stockage et de restitution, fonctionne comme tampon de 3500 m³ de capacité pendant les précipitations importantes (sa capacité correspond à une pluie décennale) et évite l'inondation du quartier, tout en retardant l'arrivée dans le réseau aval de débits importants. En cas de pluie décennale, deux collecteurs alimentent le bassin par l'intermédiaire de déversoirs d'orage équipés de dégrilleurs. Les débits d'alimentation sont respectivement de 600 l/s et 700 l/s. L'ouvrage se situe sur les hauteurs de la ville, sous l'actuel parking, place du Docteur Levesque. La place est au cœur du commerce de proximité du quartier de Bléville et accueille le marché hebdomadaire.

UNE STRUCTURE ENTIÈREMENT SOUTERRAINE

La place du Docteur Levesque doit être restituée à l'identique à l'issue des travaux, aucun ouvrage n'est donc apparent (hormis le mât de ventilation). L'enceinte du bassin est constituée par une paroi moulée circulaire de 21 mètres de diamètre et un radier situé à 13 mètres de profondeur. Le radier, de 50 cm d'épaisseur moyenne, est ancré dans la paroi moulée. La couverture, à 1,50 m sous



le terrain naturel pour des contraintes de futurs aménagements paysagers, repose sur des poutres, elles-mêmes posées sur 9 poteaux scellés dans le radier. Un local technique souterrain, accolé au bassin, regroupe les différents équipements de gestion du bassin et l'arrivée des deux canalisations d'aménée. Un puits de chute également en béton armé, sorte de cheminée à paliers collée à la paroi moulée, permet de briser le flot d'arrivée des effluents sur toute la hauteur du bassin (figure 1).

D'autres ouvrages coulés en place complètent les travaux de génie civil :

- Dalle « balcon » de support de l'escalier flottant ;
- Murets délimitant les 4 pistes de lavage du bassin (le lavage se fait à l'aide de 4 clapets de chasse) ;
- Fosse pour les pompes au niveau du radier ;
- Nombreux édicules entre la dalle de couverture du bassin et le terrain naturel : plus de 10 trappes existent, permettant les accès au bassin, au

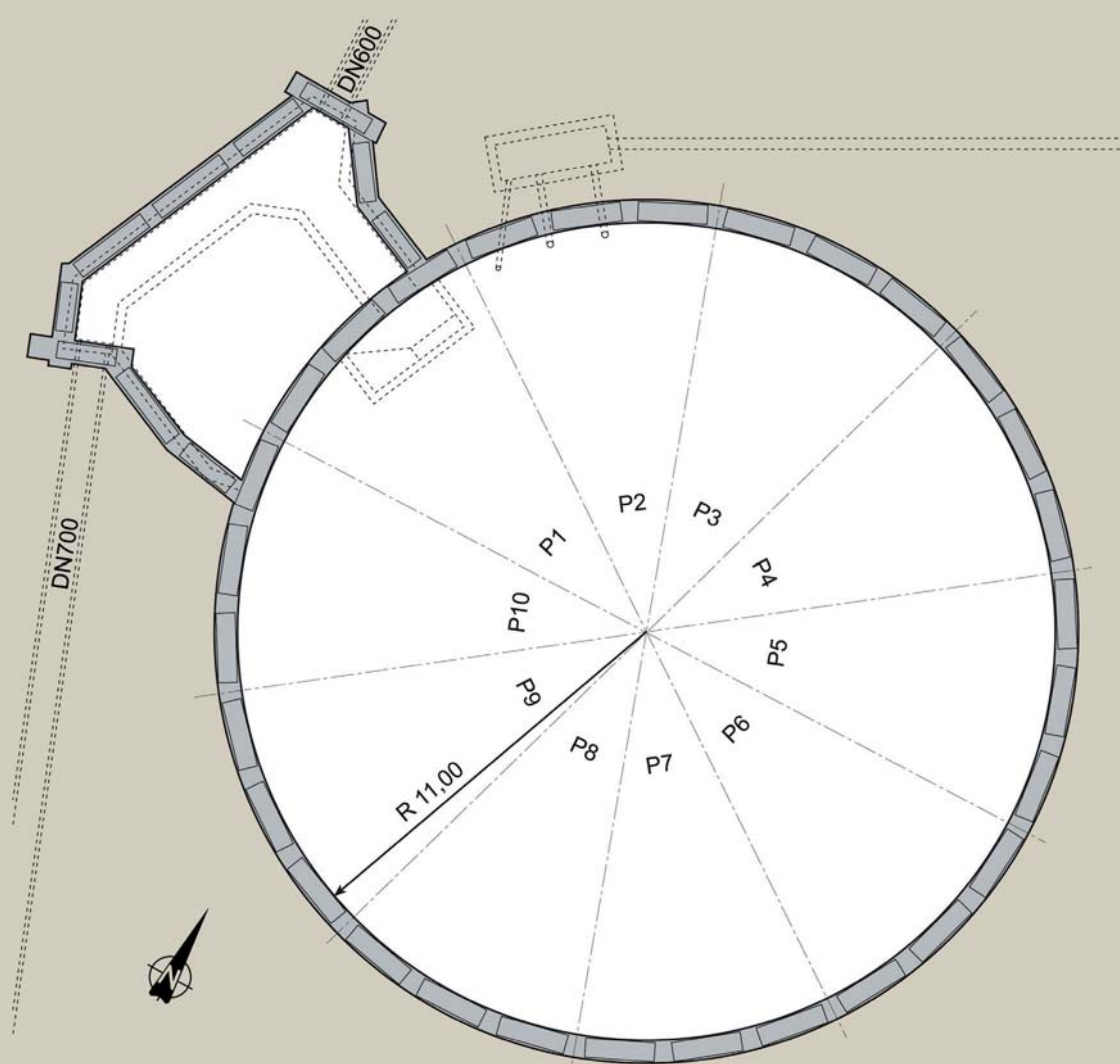
puits de chute, au local technique, aux pompes... ainsi que 2 grilles de ventilation.

Enfin, 3 canalisations constituent le réseau reliant le bassin aux réseaux d'assainissement de la ville. Le réseau d'aménée des effluents dans le bassin depuis les 2 déversoirs d'orage :

- 46 ml DN 700 en béton
- 14 ml DN 600 en béton

Et le réseau de refoulement du bassin vers le réseau extérieur :

- 16 ml de DN 300 en PVC



2

1- Schéma général du bassin.
2- Plan de panneautage de la paroi moulée de l'ouvrage.

1- General diagram of the basin.
2- Drawing of panelling of the structure's diaphragm wall.

L'ENCEINTE DU BASSIN EST CONSTITUÉE PAR UNE PAROI MOULÉE CIRCULAIRE DE 21 M DE DIAMÈTRE ET UN RADIER À 13 M DE PROFONDEUR

OPTIMISATION ET PRINCIPES FONDATEURS

Une des contraintes majeures de réalisation de l'ouvrage consistait à terminer les travaux pendant l'année 2008, afin de rendre la place aux riverains avant les fêtes de fin d'année.

Deux idées ont permis d'optimiser la structure de l'ouvrage et donc le planning :

→ La réalisation des voiles extérieures du local technique en paroi moulée : le projet initial prévoyait la réalisation du local technique à l'aide de blindages provisoires puis d'un coffrage traditionnel. Cette solution nécessitait une emprise plus importante et était surtout très longue à mettre en oeuvre. La réalisation des voiles des locaux techniques en paroi moulée a permis d'anticiper la réalisation des travaux de génie civil dans cette zone.

→ Le choix de la préfabrication pour tous les éléments principaux de structure (poutres, poteaux, prédalles) afin de réduire les temps de réalisation des travaux de génie civil.

LE PROCESS ET LES ÉQUIPEMENTS

Les équipements nécessaires au process sont principalement constitués du système de régulation, d'isolement, de vidange, de nettoyage et de désodorisation, soit :

→ 1 vanne inox hydraulique d'isolement du bassin ;

→ 4 clapets de chasse à ouverture séquentielle pour le nettoyage du radier ;

→ 2 pompes de refoulement en point bas du bassin et une pompe à boue (le bassin étant alimenté par des collecteurs d'eaux usées) ;

→ Un ensemble de canalisations en inox par lesquelles sont refoulées les eaux vers le réseau extérieur ;

→ 1 centrale hydraulique d'alimentation des clapets et de la vanne ;

→ Un ensemble de ventilation et de désodorisation permettant de traiter l'air du bassin avant le rejet sur la place par la cheminée ;

→ Un ensemble de mesures permettant de contrôler l'ensemble des réseaux (amont et aval) et le cycle de remplissage et de vidange du bassin ;

→ Une armoire électrique et un dispositif d'automates permettant une gestion autonome du bassin ;

→ Un système de télésurveillance général permettant à l'exploitant d'avoir un regard et un suivi sur l'ensemble des équipements à distance.

L'ensemble du process est ainsi automatisé et contrôlable en temps réel, à distance, via une transmission internet des indicateurs physiques.

L'instrumentalisation complète permet en effet de mesurer les débits et les niveaux d'eau en différents points du

réseau et du bassin, mais aussi de connaître l'état des différents systèmes de régulation (vannes et clapets de chasse).

DIMENSIONNEMENT

La paroi moulée est dimensionnée selon la méthode habituelle de calcul élasto-plastique et le principe de l'effet d'anneau qui assure la stabilité du soutènement sans appui en phase travaux.

Les calculs tiennent compte de l'aspect multi-facettes de l'anneau et de la déviation possible des panneaux. Les faibles dimensions des ouvertures prévues dans la paroi ne modifient pas le caractère circulaire de la paroi moulée.

Les calculs montrent que la flexion dans la paroi moulée et la compression dans l'anneau sont relativement faibles et compatibles avec une paroi d'épaisseur 0,60 m, les aciers minimum couvrant les efforts fléchissant.

L'hydrogéologie, a priori favorable (absence de nappe), et des terrains composés d'argiles à silex plus ou moins sableux, ont conduit au dimensionnement d'une paroi d'épaisseur 0,60 m descendue à 20 m de profondeur.

La dalle de couverture est composée d'une dalle de compression, de prédalles et de poutres principales. Des poutres retroussées sont de plus mises en oeuvre pour pallier les nombreuses ouvertures (> 10) et les grandes ouvertures (jusqu'à 2,40 m de large) dans la dalle. Celle-ci repose sur



3



4

des poteaux qui s'appuient eux-mêmes sur des semelles intégrées au radier. A noter enfin que l'enrobage imposé de 5 cm sur toutes les structures de génie civil (pour tenir compte de l'agressivité des effluents) entraîne une fabrication spéciale des éléments préfabriqués.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX

L'OS a été donné fin janvier et après deux mois de préparation, les travaux ont commencé fin mars. Les travaux se sont déroulés en plusieurs phases :

- Réalisation de la paroi moulée

Le bassin était composé de 10 panneaux et le local technique de 5 panneaux (figure 2). La perforation a été réalisée à l'aide d'une benne hydraulique KS3 montée sur une Liebherr 853, et le bétonnage des panneaux à l'aide d'une grue de manutention Lieb-

herr 841 équipée d'une flèche de 27 m. Une centrale à boue de capacité 150 m³/h a été installée.

Malgré une absence de nappe et des terrains a priori « faciles », une couche de craie altérée non décelée a entraîné des pertes de boue instantanées au cours de l'excavation des premiers panneaux. Cela fut sans conséquences grâce à une bonne gestion des séquences de perforation. La paroi moulée fut ainsi terminée en 3 semaines (photo 3).

- Pré-terrassement / recépage / poutre de couronnement / terrassement / rabotage

Les travaux en eux-mêmes ne présentaient pas de difficultés techniques particulières, mais il fallait enchaîner des tâches relativement courtes et gérer la coactivité des intervenants (jusqu'à 5 simultanément).

Le bon déroulement du planning, contrôlé au jour le jour, pouvait difficilement subir sans conséquence un retard de quelques jours sur le démarrage d'une activité (photo 4).

- Génie civil

Le radier est l'ouvrage le plus important du chantier : 32 tonnes d'acier, 9 semelles pour reprendre les efforts des poteaux, 850 scellements dans la paroi. Les autres éléments du bassin ont été réalisés à l'aide d'ouvrages préfabriqués :

→ 9 poteaux de dimensions 0,60 x 0,60 x 10 m

→ 12 poutres principales de dimensions 0,60 x 0,80 x 5 m

→ 36 prédalles de 0,20 x 2 x 4,50 m
Une grue de 100 tonnes a été mise en œuvre pour l'installation de ces éléments ainsi que deux nacelles.

L'ensemble de ces opérations dura moins de 3 semaines.

Les autres ouvrages annexes qui étaient « coulés » en place (puits de chute, dalle de l'escalier, locaux techniques) furent réalisés en parallèle des travaux de génie civil du bassin (photo 5). La dalle comportait en particulier 4 poutres retroussées, nécessaires étant donné la densité et la dimension des réservations, ainsi que 13 édicules de 1,50 m de hauteur (le bassin est enterré de 1,5 m).

- Etanchéité

L'étanchéité est constituée de plusieurs couches (photo 6) :

→ Un adhésif bitumineux

→ Une couche d'étanchéité

→ Une revêtement anti-poinçonnement

- Remblais

Il fut mis en place par des couches de 20 cm avec essai de plaque.



3- Excavation de la paroi moulée à l'aide d'une benne KS.

4- Terrassement et rabotage en cours.

5- Mise en place des éléments préfabriqués de la structure.

6- Pose de l'étanchéité supérieure.

3- Excavation of the diaphragm wall with a KS grab.

4- Earthworks and planing in progress.

5- Installation of prefabricated structural elements.

6- Placing the top waterproofing.

- Réalisation des travaux d'enrobés et marquages des places
- Réseaux

Deux canaux d'alimentation relient les réseaux existants au bassin, l'un de diamètre 600 mm, l'autre de diamètre 700 mm. Le tracé de ces conduites (circulaire en béton armé préfabriqué) complète les travaux du lot 2.

Ces réseaux d'amenée sont complétés par une canalisation de vidange du bassin phi 315 mm en PVC.

- Equipements

Presque un mois a été consacré à la mise en place des équipements (décrits plus haut) et du système de ventilation-désodorisation (constitué d'un caisson de charbon actif, de gaines intérieures et extérieures et d'un mât en inox de 10 m de haut).

Deux étapes importantes, les réglages de l'automate et les essais se dérou-

lent à la suite. Ils se sont terminés le vendredi 19 décembre, pour une mise en service qui a bien lieu avant la fin de l'année. □

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

VOLUME UTILE : 3 500 m³

PAROI MOULÉE : 800 m², épaisseur 0.60 m, hauteur 20 m

TERRASSEMENTS : 6 000 m³

BÉTON GC : 600 m³

ENROBÉS : 1 900 m²

4 clapets de chasse

2 pompes de refoulement 40 l/s

80 ml de canalisations

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :
COmmunauté De l'Agglomération Havraise (CODAH)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Sogreah

CSPS : ASP Ingénierie

ENTREPRISE GÉNÉRALE :
Solétanche Bachy

PAROI MOULÉE :
Solétanche Bachy

EQUIPEMENTS : Satelec Nord

GÉNIE CIVIL : ETPO

CANALISATIONS : Sade

TERRASSEMENTS : Derrey

VOIRIE : Eurovia

ETANCHÉITÉ : Etandex

RECÉPAGE/RABOTAGE : ETTB

ABSTRACT

A NEW STORMWATER BASIN IN LE HAVRE: THE LEVESQUE BASIN

BORIS CARO VARGAS, SOLÉTANCHE BACHY - JEAN PHILIPPE BALANZAT, SATELEC

The inter-municipal association of Le Havre, «CODAH», has launched a vast urban equipment programme consisting of several stormwater basins, to solve the problems caused by heavy precipitation. Solétanche Bachy has been awarded the main contract for turnkey execution of one of the storage/stilling basins of this ambitious flood control programme. □

NUEVO DEPÓSITO DE RETENCIÓN EN LE HAVRE: EL DEPÓSITO LEVESQUE

BORIS CARO VARGAS, SOLÉTANCHE BACHY - JEAN PHILIPPE BALANZAT, SATELEC

La Mancomunidad urbana de la aglomeración de Le Havre, CODAH, inició un amplio programa de equipamientos urbanos que comprende varios depósitos de retención de aguas pluviales con el objetivo de resolver los problemas derivados de las fuertes precipitaciones. Solétanche Bachy ha conseguido en empresa general la ejecución llave en mano de uno de los dos depósitos de almacenamiento / restitución de este ambicioso programa de lucha contra las inundaciones. □

POUR DES « CHANTIERS PROPRES » A LA DEFENSE (92)

AUTEURS : FRANÇOIS PIGAUX, CADET INTERNATIONAL (GROUPE SETEC), RESPONSABLE D'AGENCE -
DAVID BIROT, CADET INTERNATIONAL (GROUPE SETEC), INGÉNIEUR D'ÉTUDES

LE RENOUELEMENT DU QUARTIER D'AFFAIRES DE LA DÉFENSE EN RÉGION PARISIENNE A ÉTÉ CONFÉ PAR L'ÉTAT À L'OPÉRATEUR HISTORIQUE, L'ÉTABLISSEMENT PUBLIC D'AMÉNAGEMENT DE LA DÉFENSE (EPAD). OBJECTIF : CONFORTER LA COMPÉTITIVITÉ DU QUARTIER SUR LE PLAN INTERNATIONAL GRÂCE À LA MODERNISATION ET L'EXTENSION DES SURFACES DE BUREAUX AUJOURD'HUI OBSOLÈTES, AFIN QU'ELLES RÉPONDENT AUX STANDARDS LES PLUS RÉCENTS. DANS LE CADRE DE CES TRAVAUX, L'EPAD A MIS AU POINT UN GUIDE DE PRÉCONISATIONS ENVIRONNEMENTALES APPLICABLES AUX DIFFÉRENTS CHANTIERS.

LA DÉFENSE FACE À UNE PROBLÉMATIQUE AIGUË

Le quartier d'affaires de La Défense est promis à brève échéance à un profond renouvellement. Celui-ci a été bâti à partir de la fin des années 1960 et les tours qui le constituent abritent des bureaux (près de 200 000 personnes travaillent sur site) mais également des logements et des commerces. 20 000 résidents vivent ainsi dans le quartier.

De nombreux travaux ont permis de rompre l'isolement du quartier jadis organisé autour de la vaste dalle piétonne constituée par le parvis et enclavée par le boulevard périphérique. Cet axe routier marquait la frontière avec le reste du territoire des communes le constituant : Courbevoie, Nanterre et Puteaux.

L'aménagement de cet axe routier a permis de rétablir certaines continuités urbaines et d'effacer les aspects les plus brutaux d'un urbanisme maintenant révolu. Associé à certaines opérations immobilières ponctuelles mais de grande envergure (Tours Société Générale, Immeuble Cœur Défense) il a contribué à ouvrir le quartier à une nouvelle modernité seule susceptible de confirmer l'attrait exercé par le quartier sur les grandes entreprises.

Fort de cette nouvelle dynamique, confirmée par une recrudescence de grands projets : Tours Phare, Signal, Generali, etc. L'Etat a confié à l'opérateur historique, l'Établissement Public d'Aménagement de la Défense (EPAD),



1- Travaux de rehausse de la tour CB 31.

1- Heightening works on tower CB 31.

la conduite du « Plan de relance » qui vise au confortement de la compétitivité du quartier sur le plan international.

Cette compétitivité repose entre autres sur le renouvellement et l'extension des surfaces de bureaux aujourd'hui obsolètes afin qu'elles répondent aux standards les plus récents. Comme le quartier ne dispose plus d'aucune réserve foncière, la création de nouveaux locaux doit se traduire notamment par la (re) construction d'immeubles de grande hauteur (photo 1).

Ces « grands travaux » s'accompagneront de la poursuite des aménagements sur la portion du boulevard périphérique non modifiée à ce jour et d'une multitude de travaux de moindre ampleur. Même échelonnés dans le temps, ces travaux vont maintenir le quartier en chantier permanent. Or, le quartier s'étend sur une emprise limitée et du fait de cette proximité, tout nouveau chantier génère des nuisances auxquelles sont donc soumis de nombreux voisins, habitants ou personnels travaillant sur le site (photos 2 et 3).

L'EPAD est conscient de cette problématique susceptible de ternir l'image du quartier et le confort de ses habitants ou usagers. Elle est notamment régulièrement évoquée lors des réunions dites de « Gouvernance » que l'EPAD organise en vue d'informer et d'échanger avec les associations de résidents. Chaque nouveau projet d'envergure ne manque pas, à La Défense plus encore qu'ailleurs, de susciter appréhension voire opposition qui s'expriment notam-

ment lors des enquêtes publiques prévues par la réglementation.

L'EPAD s'est engagé depuis longtemps pour une meilleure prise en compte du développement durable, comme en atteste sa décision de respecter les standards internationaux que sont le LEED et le BREAM pour toute nouvelle création d'immeuble. Parmi ces engagements, la définition d'un Guide de préconisations environnementales ou de « chantiers propres » est désignée comme une priorité permettant d'améliorer l'acceptation des grands projets d'ores et déjà programmés ou futurs.

LE GUIDE DES « CHANTIERS PROPRES »

L'EPAD souhaite disposer d'un Guide qui permette de cadrer les interventions des différentes parties contribuant à la réalisation de grands projets depuis la conception jusqu'à l'achèvement des travaux. Ce document a donc pour vocation de s'adresser aussi bien aux promoteurs, aux architectes et maîtres d'œuvre qu'aux entreprises de travaux : ensembleurs, entrepreneurs de gros ou de second œuvre.

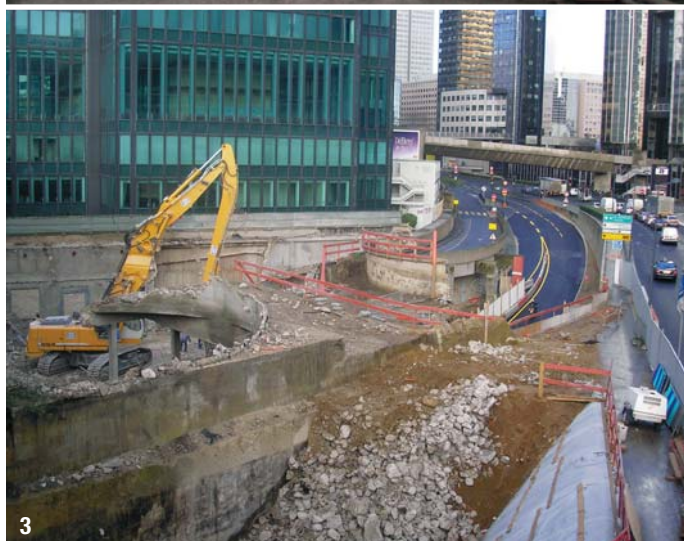
A ce titre, il doit amener ces différents acteurs à prendre en compte la complexité des lieux sur lesquels ils vont intervenir et la sensibilité accrue des populations aux travaux. L'EPAD compte par ailleurs lui donner une dimension contractuelle et imposer aux promoteurs de l'utiliser dans leur appel d'offres de recrutement d'entreprises de travaux.

Cette sensibilisation doit leur permettre de définir des axes d'amélioration en matière de développement durable et ce, au-delà des exigences minimales définies par le type de chantier visé. C'est sur la base de ces solutions techniques qu'ils pourront être jugés puis sélectionnés. Si le Guide correspond à l'engagement environnemental pris par l'EPAD, sa vocation est également de répondre à une dimension sociale. En effet, il était primordial que le contenu du Guide réponde aux préoccupations légitimes des riverains.

Du fait de ce double niveau de lecture, il était attendu que sa compréhension reste aisée. Idéalement, son utilisation doit pouvoir servir de base à une concertation entre les usagers du site et les entreprises en charge de chantier sur place. Etant entendu qu'une grande transparence en matière d'objectifs, de moyens de réduction des nuisances, et de modalités de contrôle participerait à une meilleure acceptation de la présence permanente des travaux par les populations locales.



2



3

2- Travaux de création de la salle des marchés.

3- Un chantier de déconstruction d'accès difficile, situé entre bureaux, habitations, le Boulevard Circulaire et un autre chantier.

2- Works for creation of the trading room.

3- A hard-to-access deconstruction site, located among offices, dwellings, the Boulevard Circulaire (ring road) and another construction site.

DES IMPACTS REDOUTÉS PAR LES HABITANTS

Les nuisances habituellement générées par les différents chantiers sont connues. Néanmoins le point de vue des riverains de chantiers se déroulant actuellement a été pris en compte.

C'est durant des réunions dites de « Gouvernance » qu'il a été possible de prendre conscience des craintes exprimées par les riverains et surtout de leur hiérarchisation. Sociologiquement, la population du quartier ne connaît pas un grand renouvellement. Elle vieillit et redoute la dégradation de la qualité de vie offerte actuellement par le quartier dans une réelle proximité avec la capitale. La Défense profite d'une excellente desserte notamment depuis Paris, de nombreux commerces, de salles d'exposition et de cinémas à proximité et d'animations régulières sur le parvis. Enfin hors des périodes d'intenses activités les journées de semaine, le quartier présente une grande tranquillité traduite par un niveau de bruit peu élevé.

La première crainte qui vient à l'esprit des riverains est liée au bruit et aux vibrations notamment en raison des travaux se déroulant en fin de journée et/ou durant les week-ends.

Ensuite ils évoquent spontanément les perturbations d'usages. Du fait de l'exiguïté des lieux, les travaux s'étendent régulièrement sur la voie publique et les cheminements piétons viennent régulièrement à être largement entravés aux abords des chantiers. Les perturbations peuvent également être liées à des coupures des différents réseaux (distribution d'eaux, téléphonique, etc.).

Les véhicules des différentes entreprises, voire les espaces nécessaires aux livraisons ou à la gestion des déchets inhérents aux chantiers, diminuent l'offre de stationnement ou encore peuvent gêner l'accès des parkings. Ces contraintes pour rejoindre l'école du « petit dernier » ou son bureau de tabac préféré perturbent tout particulièrement une population urbaine notablement pressée. Cette gêne est ressentie brutalement quand les perturbations n'ont pas été préalablement signalées et que les contournements ne sont pas fléchés (photo 4).

En outre, les riverains évoquent la saleté induite par les chantiers, qui résulte de l'utilisation à fins d'affichage des palissades, des envois ou des chutes de matériaux depuis des chantiers réalisés en surplomb ou encore des dépôts sauvages que ne manquent pas d'attirer les chantiers. De manière associée, ▷

les espaces voisins aux chantiers sont ressentis comme peu sûrs et mal fréquentés, et contribuent à un sentiment de dépossession d'espaces pourtant familiers, accentué quand aucune visibilité n'est rendue possible sur le dit chantier.

En ce sens le Guide des « chantiers propres » conçu à l'attention de l'EPAD ne s'attache donc pas uniquement à rappeler classiquement les contraintes réglementaires qui s'appliquent aux chantiers en matière de protection de l'environnement. Il veille également à amorcer une réflexion aboutissant à des prescriptions plus poussées et adaptées à une coexistence plus harmonieuse entre les nécessaires travaux de développement du quartier et les usagers du site (habitants, salariés des sociétés travaillant à La Défense, promeneurs).

UN OUTIL TRAVAILLÉ EN CONSÉQUENCE

Afin de répondre à l'ensemble des thèmes traduisant une application concrète d'une politique de développement durable à la problématique des chantiers, le guide réalisé est composé de fiches thématiques des différentes préconisations environnementales. Ce choix de présentation en fiches synthétiques est justifié par la volonté de rendre le document accessible et donc opérationnel. L'objectif est que chaque acteur dans sa fonction (prescription par les promoteurs, application par les entrepreneurs, contrôle par la maîtrise d'ouvrage) puisse aisément vérifier ce qu'il doit faire ou contrôler.

Ces fiches thématiques embrassent l'ensemble des domaines qui nous ont paru relever d'un chantier bien géré, concourant à la limitation des nuisances, des impacts éventuels et des risques induits.

Les thématiques concernant les nuisances sont :

La réduction des bruits et vibrations

Du fait de la densité du quartier d'affaires, les constructions à vocation tertiaire, de commerces et d'habitations se joutent. Entreprendre des travaux sur un immeuble ou sa desserte implique ainsi une proximité immédiate avec des personnes venant travailler dans la journée ou à domicile en soirée. L'urbanisation en dalle engendre une propagation facilitée des vibrations dans un quartier qui, aussi bruyant qu'il puisse paraître en journée du fait de la circulation au niveau du boulevard circulaire, est calme le soir venu.

La problématique du bruit en prove-



4- Contournement couvert pour les piétons.

5- Dispositif contre les chutes et les envois.

6- Accès sécurisé entre chantier et cantonnements.

4- Covered bypass for pedestrians.

5- System to protect against falls and fly ash.

6- Secure access between site and construction camps.

nance des chantiers est donc l'une des difficultés majeures à prendre en considération.

Le maintien de la propreté du chantier

Selon les opérations menées et les conditions climatiques, les chantiers peuvent être source de poussières, de salissures de chaussées (boues) ou encore d'envols de matériaux.

La mise en œuvre de zone technique de stockage voire de la base-vie s'accompagne parfois de formation de dépôts sauvages.

Par ailleurs, les palissades nécessaires à la limitation de l'accès du chantier au public sont parfois vandalisées par des personnes malveillantes (vols, dégradations) ou indélicates (collage d'affiche ou de tracts) et ainsi restent dans un état dégradé.

Le manque de propreté d'un chantier induit souvent pour le public une désaffection des espaces mitoyens évidemment mal perçue des habitants (photo 5).

La minimisation de la perturbation des usages

Tout chantier dans le quartier peut, du fait du manque d'espace, entraîner une gêne aux accès qu'ils soient routiers (desserte, accès aux parkings, aux entrepôts, circulations des bus ou des camions de collecte des déchets) ou piétons (accès à la dalle, à certains commerces, aux écoles).

Par ailleurs, le site de La Défense est complexe et parcouru de nombreux réseaux concourant aux activités nombreuses et gérés par des concessionnaires variés (Telecom, Energie, Eau, ...). La réalisation des travaux nécessite ou provoque parfois la coupure de ces réseaux.

La perturbation de ces usages peut causer un profond désagrément aux riverains.

La gestion des déchets de chantier

Les chantiers génèrent des déchets au même titre que toute activité et comme pour toute activité leur nature est fonction des travaux à réaliser.

La réglementation distingue les déchets inertes (gravats, verre, fraisats de chaussée...), des déchets non dangereux (déchets de restauration, de conditionnement...) et dangereux (amiante, fluide de transformateur, déchets d'entretien des engins...).

Selon le type de déchet, il est impératif de les collecter et de les isoler afin de procéder à leur traitement spécifique ou encore de les trier afin de permettre leur valorisation dans le cadre du chantier ou ultérieurement.



7- Panneau d'information du public.

7- Public information notice board.

La traçabilité de l'ensemble du devenir des différents déchets qu'ils soient réemployés, recyclés, valorisés ou traités est impérative.

La réduction des consommations de ressources

Les chantiers sont, selon leur nature, consommateurs d'énergie (gasoil, électricité) et de matières premières (granulats, bitume, matériaux de construction) dont l'utilisation doit être minimisée afin de diminuer l'incidence environnementale du projet. Cette optimisation résulte le plus souvent d'une réflexion initiée préalablement à la réalisation des travaux qui s'accompagne d'autres bénéfices en matière de limitation des transports et de l'ensemble des nuisances classiquement associées à la conduite des chantiers.

La lutte contre les pollutions de l'air, des eaux et du sol

De toute activité, il résulte un effet sur l'environnement.

A titre d'exemple, par les choix techniques retenus en matière de gestion de l'eau ou d'utilisation de procédés ou de produits potentiellement polluants, une construction génère un impact plus ou moins limité.

Il est nécessaire que soient prises en compte les sensibilités liées à l'environnement humain, constructif, naturel et physique voisin afin de définir les mesures compensatoires nécessaires à la protection de l'environnement, de l'attractivité du site et de la sécurité des personnes qui l'animent et le font vivre.

La préservation de la biodiversité

Le quartier de La Défense n'est pas un « désert minéral » ; des réflexions poussées ont été menées concernant les essences d'arbres qui constituent les plantations effectuées sur l'ensemble de son territoire appréciées notamment par des espèces patrimoniales d'oiseaux.

Cette présence qui procure une vraie satisfaction aux usagers du site est rare donc précieuse.

La gestion des risques liés à l'accès au site

Du fait de l'exiguïté des sites, il est parfois difficile de cantonner le public à distance de l'accès à d'un chantier à toutes ses phases. Or, selon la configuration du site et la nature des travaux, des risques de chutes d'objets en provenance du chantier, ou d'accidents sur le chantier voire au-delà de la limite physique du chantier existent tant pour les riverains, le public que pour le personnel du chantier se rendant de sa base-vie à son poste de travail (photo 6).

La gestion des risques liés aux transports

La desserte classique d'un chantier est effectuée par voie routière. Néanmoins, le quartier de La Défense souffre plus que tout autre de la problématique de congestion de la circulation et de pénurie de stationnement observée aux abords immédiats de Paris.

Toute utilisation de mode de transport alternatif et de solution de limitation des transports revêt dans le cas des chantiers du quartier de La Défense un intérêt tant financier que technique.

Ces thèmes regroupant nuisances, impacts et risques ont été hiérarchisés par ordre de priorité pour chacune des catégories de chantiers. Une exigence supplémentaire et transversale est apparue nécessaire à une prise en compte adaptée par la population riveraine de ces différentes thématiques : la communication et l'information.

Il est apparu primordial que, durant les différentes phases travaux de déroulement d'un chantier (préparation, réalisation, mise en service), les riverains soient régulièrement informés :

- Des travaux qui seront réalisés lors du chantier,
- Des périodes de réalisation,
- Des techniques employées,
- Des nuisances qui pourront apparaître lors des travaux, et rapidement en cas d'aléa de chantier non anticipé, susceptible de provoquer des nuisances. ▷

Des modalités de communication et d'information entre les différents acteurs ont ainsi été consignées dans une fiche thématique spécifique (photo 7).

UNE FORME ADAPTÉE

Afin de faciliter la prise en compte des préconisations de l'EPAD en matière de gestion des chantiers propres, une présentation en fiches recouvrant l'ensemble des thématiques a été retenue. Chaque fiche thématique précise 4 types de mesures à mettre en place afin de réduire les nuisances, impacts ou risques inhérents aux chantiers, et donc de concourir à la réalisation d'un chantier à faibles nuisances.

Ces mesures sont :

→ Des mesures d'évitement. L'entreprise intervenant sur le chantier devra tout mettre en œuvre afin d'éviter la génération de nuisances. Dans certains cas l'évitement des nuisances n'étant pas possible, l'entreprise cherchera à les réduire.

→ Des mesures de réduction. Mise en place de tous procédés ou techniques permettant de réduire les nuisances.

→ Des mesures de suivi. Tout moyen et toute planification permettant de suivre l'évolution des mesures mises en place.

→ Des mesures de contrôles afin de vérifier la bonne application des prescriptions. Les quatre types de mesures sont distingués par les appellations « obligatoire » et « très performant ». Les mesures d'ordre « obligatoire » s'imposent au titulaire de chantier quels que soient le type de chantier

«
**LES PROMOTEURS
 ET ENTREPRENEURS
 DOIVENT ÉTABLIR
 UNE "NOTICE
 RELATIVE AU
 CHANTIER PROPRE"
 QUI FAIT PARTIE
 INTÉGRANTE
 DE LEUR OFFRE
 TECHNIQUE ET
 FINANCIÈRE**
 »

et la sensibilité de l'environnement, en s'appuyant sur des normes et les réglementations actuelles.

A travers des mesures de niveau « très performant » les préconisations présentées dans les fiches incitent les entreprises à aller au-delà de la réglementation actuelle dans la mise en œuvre de mesures permettant d'accéder à un niveau de performance élevée dans le cadre d'un chantier propre.

L'imposition de ces mesures très performantes ne peut être systématique et doit répondre à une sensibilité spécifique au chantier clairement identifiée dès l'amont du chantier.

Les mesures indiquées comme de niveau « très performant » sont donc communiquées dans le guide à titre d'exemple afin de préciser la philosophie du maître d'ouvrage en la matière.

Les modalités de contrôle externes et internes ainsi que le fonctionnement des pénalités ont parachevé le détail des règles de fonctionnement entre les différents intervenants.

Pour répondre aux différentes mesures présentées dans le guide lors des appels d'offres, les promoteurs et entrepreneurs doivent établir une « notice relative au chantier propre » qui fait partie intégrante de leur offre technique et financière.

Dans cette notice, ils doivent s'engager à respecter les mesures obligatoires et proposer éventuellement des mesures très performantes.

L'analyse des sensibilités de l'environnement local et le choix des mesures

deviennent ainsi des critères d'appréciation des offres sur lesquels elles sont sélectionnées.

Outre la définition de fiches récapitulatives des thématiques à traiter, la méthodologie s'est attachée à définir les modalités de mises en œuvre ainsi que les champs de responsabilité des différents intervenants : entreprises, aménageur, gestionnaire de l'espace, concessionnaires.

Le guide dans un dernier chapitre précise thème par thème les indicateurs qualitatifs qui seront utilisés afin de s'assurer du suivi des moyens mis en place pour la réduction des nuisances et bien évidemment des résultats obtenus. Les riverains ont exprimé leur souhait pour que l'EPAD transforme cette méthodologie des « chantiers propres » en un outil coercitif où le suivi des indicateurs permettrait l'application de pénalités dissuasives.

Le guide définit effectivement des pénalités en cas de dysfonctionnements mais présente surtout une méthodologie à suivre par les différents intervenants pour ne pas avoir à les subir.

Il paraît dès lors évident que la communication reste le principal moteur de l'implication des entreprises dans la conduite d'un chantier propre sur un site « vitrine » comme le quartier de La Défense.

En effet le choix de s'engager dans une telle démarche dépend plus de la volonté de démontrer un savoir-faire et de véhiculer une image favorable que d'éviter l'application de pénalités aussi sévères soient-elles. □

ABSTRACT

FOR «CLEAN CONSTRUCTION SITES» IN THE DÉFENSE BUSINESS AREA NEAR PARIS

FRANÇOIS PIGALUX, CADET INTERNATIONAL - DAVID BIROT, CADET INTERNATIONAL

Over the coming years, the La Défense district will experience an upsurge in major works projects for its modernisation. *In this context, the district development board «Établissement Public d'Aménagement de la Défense» (EPAD) decided to design a guide to environmental recommendations applicable to the various construction sites. This Guide of course reviews technical issues of pollution and accident risks. However, as a result of consultation with representatives of the nearby residents, it takes into account their legitimate concerns regarding nuisances and disruption of use. The Guide defines as desirable a contractual framework requiring preliminary identification of sensitivities and the corresponding definition of appropriate measures. It also outlines the method to succeed, as of project selection, in defining means to prevent nuisances and monitoring and communication procedures, which is the only way to obtain improved acceptance of the works by frontage residents.* □

PARA UNAS «OBRAS LIMPIAS» EN LA DÉFENSE (92)

FRANÇOIS PIGALUX, CADET INTERNATIONAL - DAVID BIROT, CADET INTERNATIONAL

El barrio de negocio de La Défense será objeto en los años venideros un aumento de grandes obras con miras a su modernización. *En este contexto, el Establecimiento Público de Ordenación de La Défense (EPAD) ha deseado definir una Guía de recomendaciones medioambientales aplicables a las distintas obras. Naturalmente, esta Guía contempla los problemas técnicos de riesgos de contaminaciones y de accidentes. No obstante, gracias a la concertación con los representantes del vecindario, la Guía integra sus legítimas aprehensiones en materia de molestias y de perturbaciones en la vida diaria. La Guía define así como deseado un marco contractual que presupone la identificación previa de las sensibilidades y la definición de que resulta de medidas adaptadas. Además, se expone en esta guía el método para alcanzar, desde la selección de los proyectos, hasta la definición de los medios de lucha contra las contaminaciones y de las modalidades de control y de comunicación, única condición que permite una mayor aceptación de las obras por parte del vecindario.* □

BARRIÈRE PERMEABLE REACTIVE POUR TRAITER UNE NAPPE ARSENIÉE

AUTEURS : CHRISTIAN ILLE, DIRECTEUR TECHNIQUE, SOL ENVIRONMENT - ANNETTE ESNULT FILET, CHEF DE PROJET R&D, SOLETANCHE BACHY

UN SITE INDUSTRIEL HISTORIQUE A FAIT L'OBJET D'UNE POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES PAR DE L'ARSENIC. SOL ENVIRONMENT, FILIALE DE SOLÉTANCHE BACHY DANS LE DOMAINE DE L'ENVIRONNEMENT, A DÉVELOPPÉ UNE SOLUTION DE TRAITEMENT BASÉE SUR LA MISE EN ŒUVRE D'UNE BARRIÈRE PERMÉABLE RÉACTIVE PERMETTANT DE CAPTER CES EAUX ET D'ENLEVER L'ARSENIC AVANT REJET AU MILIEU NATUREL EN AVAL. DES PORTES FILTRANTES ENTERRÉES, CONSTITUÉES DE FILTRES SÉLECTIFS PLACÉS EN SÉRIE, SONT INSTALLÉES SELON LE PRINCIPE DU PANNEAU-DRAIN® ET RELIÉES À LA BARRIÈRE PERMÉABLE AMONT.

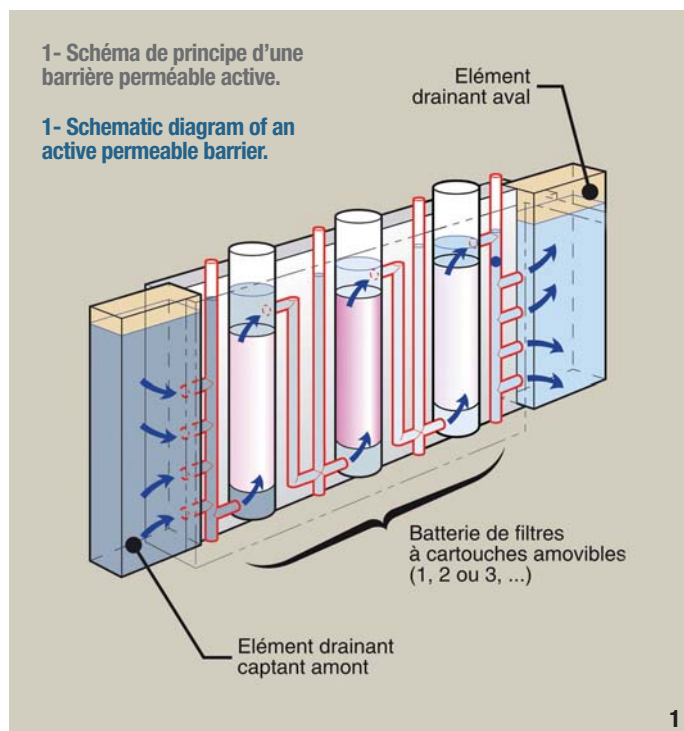
Un ancien site industriel situé en bordure de rivière a fait l'objet d'une pollution des eaux souterraines par de l'arsenic.

Cette pollution a amené le responsable actuel du site à lancer un appel à idées dès 2000 pour la réalisation des travaux nécessaires à l'arrêt de cette pollution. La solution et la démarche proposées par Sol Environment a été retenue par le client et son ingénieur conseil.

Le principe général de la solution technique consiste en l'interception du flux d'eaux polluées au moyen d'une tranchée drainante et dans le traitement de ce flux par une porte filtrante souterraine capable de retenir l'arsenic, selon le principe des Barrières Perméables Réactives (BPR) (figure 1). Après des phases d'études successives réparties sur plusieurs années, le projet est arrivé fin 2008 dans sa phase opérationnelle.

UN MILIEU COMPLEXE DIFFICILEMENT MODÉLISABLE

L'écoulement de la nappe dans un tel environnement est très complexe car l'organisation d'un site industriel de plus de 100 ans n'a rien de bien ordonné. D'un point de vue hydraulique, le dimensionnement d'une barrière perméable réactive nécessite de connaître en particulier le débit de la nappe à traiter. Or, si les premières modélisations avaient montré qu'une simple tranchée drainante pouvait suffire à collecter l'ensemble des eaux contaminées de la nappe, il est apparu également qu'il était très difficile d'évaluer le débit de



manière suffisamment précise. En effet, en fonction des hypothèses retenues, la valeur calculée pouvait varier d'un facteur de 1 à 100. Cette incertitude ne permettait donc pas de dimensionner le système de traitement de l'eau.

Ainsi, le client a-t-il accepté le principe de ne réaliser, dans une première phase, que la tranchée drainante et de différer l'installation de la porte filtrante, afin d'observer le débit et la qualité des eaux collectées.

UNE TRANCHÉE DRAINANTE SOUS SURVEILLANCE

La tranchée drainante a été mise en service fin 2002 (photo 2). Une surveillance du fonctionnement hydraulique de la tranchée a été mise en œuvre pendant 9 mois et a permis de corréler les informations recueillies sur le débit de la tranchée drainante (valeur quotidienne) avec la pluviométrie locale, les niveaux piézométriques et la concentration en arsenic dans l'eau (prélèvements

hebdomadaires). Il est ainsi apparu au cours de ces observations que les flux à traiter étaient significativement différents de ce qui avait été préalablement pris en compte et que, si l'augmentation du débit dans la tranchée apportait une baisse de la concentration en arsenic dans l'eau, cette baisse ne compensait pas l'augmentation du débit, l'exhaure ou le flux d'arsenic s'établissant ainsi à un niveau supérieur. Les plages de variation du débit et de la concentration en arsenic ont ainsi pu être recalées pour aboutir à un bilan réaliste du fonctionnement hydraulique et chimique du système constitué de l'hydrogéologie du site et de la tranchée drainante.

LE TRAITEMENT DE L'ARSENIC

La détermination du mode de traitement de l'arsenic a fait l'objet de deux études distinctes :

→ Une étude de laboratoire, avec l'eau prélevée sur le site, pour déterminer les matériaux de traitement les plus appropriés ;

→ Des essais sur site, dans une unité pilote de traitement, pour le dimensionnement final du dispositif.

Au cours des études en laboratoire réalisées durant la période d'observation, une caractérisation physico-chimique complète de l'eau du site a été effectuée. Elle a déterminé notamment que l'arsenic était présent principalement sous forme pentavalente, pour un pH généralement supérieur à 10. Les matériaux rétenteurs étudiés ont été choisis parmi les résines échangeuses ▷



2



3

d'ions, matériaux adsorbants tels que les oxy/hydroxydes de fer et autres. De nombreux phénomènes de compétition ont été mis en évidence au cours de cette étude, notamment en raison de la présence de phosphates. L'influence du pH a également été confirmée. De nombreux essais réalisés d'abord en batch puis en colonnes ont ainsi abouti à la sélection d'une résine comme matériau rétenteur avec correction du pH de l'eau pour le maintenir dans la zone de meilleure efficacité de la rétention.

LA PORTE FILTRANTE

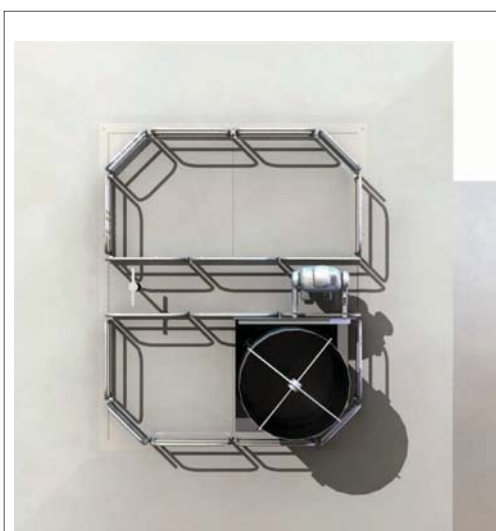
Afin de dimensionner correctement la future porte filtrante, une unité pilote de filtration a été installée sur le site (photo 3). Son fonctionnement a été suivi pendant une dizaine de mois. Assez rapidement, des anomalies ont été enregistrées au niveau des pertes de charges dans le système. Il a été constaté après analyse qu'un précipité s'était formé dans les résines.

Le phénomène a été recréé et analysé au laboratoire : il s'agit d'une formation de gel liée à l'acidification de l'eau en présence de silice dissoute à une concentration plus forte que mesurée précédemment lors de la période de surveillance de la tranchée drainante. L'unité pilote a donc été modifiée pour intégrer en amont un système de traitement complémentaire permettant de ramener la silice à un niveau suffisamment bas pour éviter les risques de gélification après acidification. Le suivi du fonctionnement montrait

alors des résultats satisfaisants permettant d'envisager le passage à l'échelle industrielle. La stratégie de traitement était alors arrêtée : fixation de la silice / régulation du pH / fixation de l'arsenic. Ces différentes étapes de traitement sont possibles in situ grâce à la technologie des BPR par panneau-drain® selon le brevet de Solétanche Bachy, qui permet l'installation de plusieurs filtres de natures différentes en série. Cette flexibilité permet le traitement de pollution complexe et l'installation de véritables réacteurs de traitement in situ.

La troisième phase des travaux a consisté dans la construction de la porte, sa mise en place, le suivi et la maintenance du système depuis 2008. La porte est entièrement réalisée en acier inoxydable, tandis que les filtres sont constitués d'une association d'acier inoxydable et de polyéthylène haute densité (PEHD). Le système de régulation du pH procède par injection de CO₂, ce qui présente une grande flexibilité d'utilisation (figure 4).

Les travaux de mise en place de la porte commencent par la préparation du terrain et la réalisation d'une dalle béton. Vient ensuite l'excavation sous coulis bentonite-ciment d'un panneau dans lequel la porte est introduite. Celle-ci est immergée dans le coulis et calée avec précision (photo 5). Le coulis assure l'étanchéité entre la porte et le terrain. Dans un deuxième temps, la porte est mise en communication avec la tranchée drainante et avec l'aval en ré-excavant localement le panneau de



4

2- Réalisation de la tranchée drainante à la tranchée.

3- Unité pilote de filtration des eaux.

4- Conception de la porte filtrante.

5- Mise en place de la porte filtrante.

6- Barrière perméable réactive en fonctionnement.

2- Execution of the drainage trench by trencher.

3- Pilot water filtration unit.

4- Design of the filter gate.

5- Installation of the filter gate.

6- Reactive permeable barrier in operation.



5



6

coulis et plaçant un matériau drainant entre la porte et la tranchée drainante déjà réalisée. Cette dernière opération est réalisée sous boue biodégradable afin de préserver la bonne perméabilité du massif drainant.

Le suivi du fonctionnement de la BPR s'effectue en grande partie à distance, hormis le contrôle des concentrations en arsenic en sortie de porte filtrante. Ce suivi correspond au contrôle du flux traité, de la qualité chimique des eaux en amont, dans chaque compartiment et en aval de la porte, au contrôle du stock de CO₂ et du bon fonctionnement de l'unité de régulation du pH. La maintenance de la BPR concerne les

« **L'ENSEMBLE DU DISPOSITIF FONCTIONNE DE MANIÈRE AUTONOME ET PASSIVE D'UN POINT DE VUE HYDRAULIQUE** »

éléments de mesure et de régulation, au changement des charges filtrantes et de leur élimination hors site en filière de traitement agréée.

La conception et la réalisation de la solution de décontamination de ce site a donc inclus plusieurs phases : création du système de collecte des eaux, observation du système site-barrière perméable, installation pilote sur site pour valider le procédé, construction et mise en place de la porte et enfin suivi et maintenance des installations (photo 6).

Une telle démarche pragmatique est commandée par la complexité du milieu et la difficulté à le modéliser.

Elle a été jugée nécessaire pour atteindre de manière fiable les objectifs du traitement et permettre à Sol Environnement de s'engager sur le résultat dans le cadre d'un contrat de maintenance sur le long terme. □

QUANTITÉS

VOLUME D'EAU TRAITÉE DE JUILLET 2008 À JUILLET 2009 :
3 500 m³

CONCENTRATION SORTIE BPR :
0,05 mg/l As

ABSTRACT

REACTIVE PERMEABLE BARRIER FOR TREATING ARSENIC-CONTAMINATED GROUNDWATER

CHRISTIAN ILLE, SOL ENVIRONMENT - ANNETTE ESNAULT FILET, SOLETANCHE BACHY

An historic industrial site has sustained groundwater contamination by arsenic. *Sol Environment, an environmental engineering subsidiary of Solétanche Bachy, has developed a treatment solution based on setting up a Reactive Permeable Barrier capable of collecting this water and removing the arsenic prior to discharge into the natural environment downstream. Underground filter gates, consisting of selective filters positioned in series, are installed according to the drain panel® principle and linked to the permeable barrier upstream.* □

BARRERA PERMEABLE REACTIVA PARA TRATAR UNA CAPA CONTAMINADA POR ARSÉNICO

CHRISTIAN ILLE, SOL ENVIRONMENT - ANNETTE ESNAULT FILET, SOLETANCHE BACHY

Instalaciones industriales históricas provocaron una contaminación de las aguas subterráneas por el arsénico. *Sol Environment, filial de Solétanche-Bachy en el sector del medio ambiente, ha desarrollado una solución de tratamiento fundada en la puesta en aplicación de una Barrera Permeable Reactiva que permite captar estas aguas y retirar el arsénico que se vertía antes aguas abajo en el medio natural. Puertas filtrantes enterradas, formadas por filtros selectivos ubicados en serie, van instalados acorde al principio del panel-dren® y conectados con la barrera permeable aguas arriba.* □

POTENTIEL DE RELARGAGE DE CERTAINS COULIS ET BOUES UTILISES DANS LES FORAGES ET LES FONDATIONS

AUTEURS : LUCIEN CALLIER, BRGM, SERVICE ENVIRONNEMENT ET PROCEDÉS - HUBERT HAAS, BRGM, SERVICE MÉTROLOGIE, MONITORING, ANALYSE

L'EMPLOI D'ADJUVANTS, POLLUANTS POTENTIELS, DANS LES BOUES DE FORAGE OU DANS LES COULIS DE PAROIS OU D'INJECTION, PEUT GÉNÉRER LORS DE LEUR ÉVACUATION PARTIELLE DANS LES EAUX D'ESSORAGE OU PAR DIFFUSION, UN IMPACT SUR LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES AU DROIT DU CHANTIER.

TROIS COULIS (F1, F2 ET F3) ET UN MORTIER (F9) DE PAROIS, TROIS BOUES DE FORAGE (F4, F5 ET F6) ET DEUX COULIS D'INJECTION (F7 ET F8) ONT ÉTÉ TESTÉS EN LABORATOIRE PAR LE BRGM¹, À PARTIR DE FORMULATIONS FOURNIES ET MIS EN ŒUVRE SOUS CONTRÔLE DU SOFFONS².

UNE DÉMARCHE EN TROIS ÉTAPES

L'étude s'est déroulée en trois phases principales :

→ La recherche des polluants potentiels en fonction des adjuvants utilisés dans les boues et coulis ;

→ L'appréciation des flux convectifs des polluants potentiels relargués par les eaux d'essorage (ressuage et filtration), au cours des 7 premiers jours de prise des coulis.

Il s'agit dans ce cas d'appréhender la masse de chacun des polluants libérés au cours du temps, liés aux eaux rejetées spontanément par le matériau mis en place ;

→ L'appréciation des flux diffusifs des polluants potentiels relargués au fil du temps dans le milieu naturel après l'induration des matériaux laissés dans le sous-sol (coulis de paroi et d'injection). Dans ce cas, il n'y a plus libération d'eau en excès par le matériau, mais échange ionique de polluant entre le matériau mis en place et le sous-

sol encaissant ; ce relargage est plus lent que lors de l'évacuation des eaux d'essorage.

RECHERCHE DES POLLUANTS POTENTIELS

La liste des polluants potentiels contenus dans les matériaux étudiés est établie à partir des fiches techniques et de sécurité des substances, organiques ou non, entrant dans la composition des boues et des coulis, livrées par les fournisseurs.

Des analyses ont été réalisées sur les eaux d'essorage et sur les lixiviats des tests de lixiviation des éprouvettes des matériaux étudiés. Le tableau A synthétise les éléments (parmi ceux analysés) potentiellement libérés dans les nappes, dont la concentration pourrait inciter les services compétents, dans certains contextes tels que la proximité d'un captage d'Alimentation en Eau Potable (AEP), à recommander une surveillance de la qualité des eaux souterraines.

APPRÉCIATION DES FLUX CONVECTIFS POTENTIELS RELARGUÉS PAR LES EAUX D'ESSORAGE

Deux paramètres sont nécessaires pour estimer le flux convectif d'un polluant :

→ Le volume des eaux pouvant être essorées du matériau,

→ La concentration du polluant concerné dans l'eau essorée.

Estimation des volumes d'eau d'essorage

Les eaux d'essorage (ressuage et filtration) sont celles qui, théoriquement s'évacueraient dans le milieu souterrain lors de la mise en œuvre des matériaux. Elles peuvent être considérées comme potentiellement les plus polluantes, au moment du chantier.

Les eaux de ressuage s'expriment spontanément, au fil du durcissement des trois coulis de parois (F1 à F3), ou de l'utilisation d'une (F4) des trois boues de forage testées et d'un (F7) des deux coulis d'injection étudiés. Les eaux de filtration s'expriment sous l'effet d'une

pression, laquelle est de plus en plus forte avec la profondeur de la tranchée ou du forage où sont utilisés les coulis et les boues. Des essais de filtration ont été réalisés, sur des préparations fraîches avec une pression appliquée de l'ordre de 0,7 MPa ou 700 kPa (100 psi), qui correspond grossièrement à une pression subie par le matériau à une profondeur de 350 m, poussée jusqu'à essorage complet, afin de connaître le volume maximal d'eau pouvant être obtenu dans les conditions du test.

Calcul des flux convectifs et commentaires

Le calcul du flux convectif est fait à partir du volume maximal d'eau essoré et des concentrations les plus fortes mesurées au cours des divers tests.

Les flux convectifs potentiels calculés sont alors comparés aux seuils à ne pas dépasser prescrits par l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux rejets des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à

© H. HAAS - BRGM



autorisation. Il faut cependant souligner que les chantiers de forages ou de fondations ne sont pas des ICPE et ne relèvent pas de l'arrêté précité, mais c'est le seul élément de comparaison proposé en France. Sur la base de ces éléments de calcul, et pour une utilisation de 100 m³/jour de coulis de parois (F1 à F3) ou de boue de forage (F4 à F6), et 5 m³/jour de coulis d'injection (F7), les flux convectifs des éléments, parmi ceux analysés visés par l'arrêté du 2 février 1998, sont inférieurs à ceux préconisés par cet arrêté. Il faut cependant souligner que les résultats de cette étude menée en laboratoire sur les eaux d'essai, ne permet pas de les extrapoler directement au milieu naturel.

TABLEAU A

Type de boue et coulis		Éléments libérés au cours du durcissement des coulis ou de l'utilisation des boues (notion de flux convectif)		Éléments libérés après durcissement des coulis (notion de flux diffusif)
		Ressuage	Filtration	Lixiviations (selon NF EN 12457-2 qui remplace la NFX 31 210) et lessivages (selon NF X 31 211)
Coulis de parois	Formulation 1	MES, DCO, AOX, Na, Chlorures, Sulfates, NH ₄ , NO ₂ , Cr		DCO, AOX, Na, NH ₄ , NO ₂
	Formulation 2	MES, DCO, AOX, Na, Chlorures, Sulfates, NH ₄ , NO ₂ , Cr		DCO, AOX, Na, NH ₄
	Formulation 3	MES, DCO, AOX, Na, Sulfates, NH ₄ , NO ₂ , Pb, Cr		DCO, AOX, Na, sulfates, NH ₄ , NO ₂
Boues de forage	Formulation 4	DCO, AOX, Na, NH ₄		Lixiviations et lessivages non pertinents, car ces matériaux ne durcissent pas et ne restent pas dans le sous-sol
	Formulation 5	Pas de ressuage dans ces boues	DCO, AOX, Na, NH ₄ , NO ₂	
	Formulation 6		DCO, AOX, Na, NH ₄ , NO ₂	
Coulis d'injection	Formulation 7	MES, DCO, AOX, Na, Cr, As, NH ₄ , NO ₂	Pas de filtration possible dans ces coulis à prise rapide	DCO, AOX, Na, NH ₄ , NO ₂
	Formulation 8	Pas de ressuage dans ce coulis		DCO, AOX, sulfates, NH ₄

APPRECIATION DES FLUX DIFFUSIFS POTENTIELS RELARGUÉS PAR LES MATÉRIEAUX INDURÉS

Après quelques essais de lixiviation classiquement utilisés en France (tableau A), il est apparu opportun de mettre en œuvre le « test statique de longue durée » pratiqué aux Pays-Bas (cf. norme NEN 7345), afin de voir les variations des concentrations au fil du temps d'un coulis mis en place dans un bain aux caractéristiques données. Ce test a été mis en œuvre sur des éprouvettes de matériaux solides de trois formulations : F1 coulis de paroi, F9 mortier de paroi, et F7 coulis d'injection.

LE POTENTIEL DE RELARGAGE DES MATÉRIEAUX TESTÉS A DONC PU ÊTRE INTERPRÉTÉ SANS FAIRE RÉFÉRENCE À D'ÉVENTUELLES VALEURS SEUILS DE QUALITÉ À RESPECTER.

D'une façon générale, les constats suivants sont faits, communs aux trois formulations F1, F7 et F9. Le pH et la Conductivité décroissent régulièrement au fil des divers bains de trempage. Nous constatons aussi que la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la fraction soluble (FS) et les concentrations en ammonium (NH₄), en azote Kjeldhal

- 1- Fabrication, en laboratoire d'une boue ou d'un coulis, à l'aide d'un agitateur à hélice.
- 2- Conditionnement de la boue pour la mesure des eaux de ressuage.
- 3- Appareils « Filtre Press » utilisés pour extraire sous pression une partie de l'eau contenue dans une boue.
- 4- Formation après 7 jours de repos d'une tranche d'eau dite « eaux de ressuage ».
- 5- Éprouvettes préparées pour les essais de lixiviation ou le test NEN 7345.
- 6- Pour l'essai de lixiviation, l'éprouvette est détruite et réduite en élément inférieur à 4 mm.

- 1- Laboratory production of a mud or a grout, using a propeller stirrer.
- 2- Mud conditioning for the measurement of bleed water.
- 3- «Filter Press» devices used to extract under pressure part of the water contained in a mud.
- 4- Formation after 7 days rest of a layer of water known as 'bleed water'.
- 5- Test specimens prepared for the leaching tests or the NEN 7345 test.
- 6- For the leaching test, the test specimen is destroyed and reduced to elements smaller than 4 mm.

PRINCIPES DU TEST NEN 7345

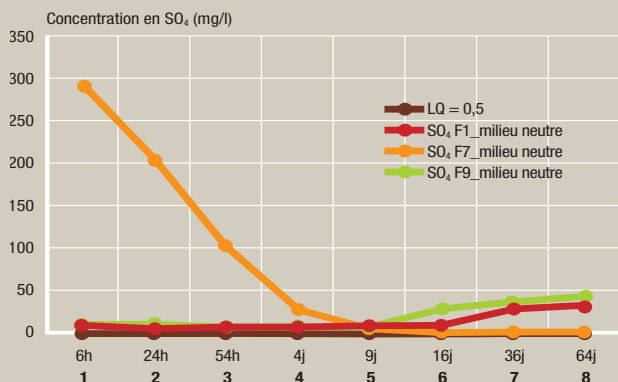
Dans ce protocole normé, la même éprouvette entière est successivement mise dans un bain neuf ayant chaque fois les mêmes caractéristiques initiales, aux périodes de temps prédéfinies ci-après : 6h, 1 jour, 2j+6h, 4j, 9j, 16j, 36j, 64j. Les concentrations des éléments relargués sont analysées dans chacun des bains successifs. Ce test a été fait avec un pH compris entre 6,5 et 7, pour correspondre à celui le plus couramment rencontré dans les eaux des nappes de sub surface du milieu naturel. Ce test normé permet d'interpréter in fine le comportement de l'élément ou paramètre analysé dans les bains de trempage des éprouvettes, comme résultant d'une lixiviation (par rapport à la surface d'échange) définie en termes de « rinçage de surface », de « diffusion », de « solution », ou d'« épuisement ».

(NKJ) et en sodium (Na) décroissent progressivement au fil du temps tout au long du test, certaines d'entre elles tendant, in fine, vers des valeurs proches de la limite de quantification. Pour les organiques halogénés adsorbables (AOX), les relargages varient au fil des diverses durées de trempage, sans qu'on puisse distinguer une tendance générale en termes de hausse ou de baisse des concentrations au fil des 64 jours de trempage. Plus particulièrement, pour ce qui concerne le comportement des coulis de parois F1 et F9, les évolutions des concen-

trations mesurées dans les bains de trempage et les interprétations faites à partir des calculs sur le potentiel de relargage, sont semblables pour ces deux matériaux. Pour les sulfates (SO₄), on peut noter que les concentrations sont stables et faibles (5 à 9 mg/l) pour des durées de trempage faibles (de 6h à 42 heures), mais augmentent (27 à 42 mg/l) en fin de test pour les durées de trempage plus longues (de 7 à 28 jours). Par ailleurs, sur tous les éléments concernés par l'interprétation du potentiel de relargage par rapport à la surface d'échange (mg/m²) il appa- ▷

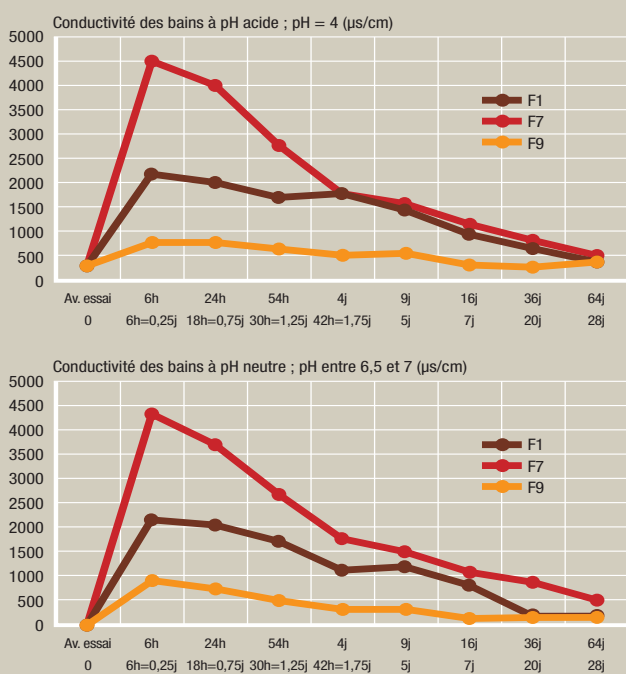


EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN SO₄ (EN MG/L) DANS LES EAUX DE TREMPAGE DES BAINS 1 À 8 (DE 6H À 64J) POUR 3 COULIS DIFFÉRENTS.



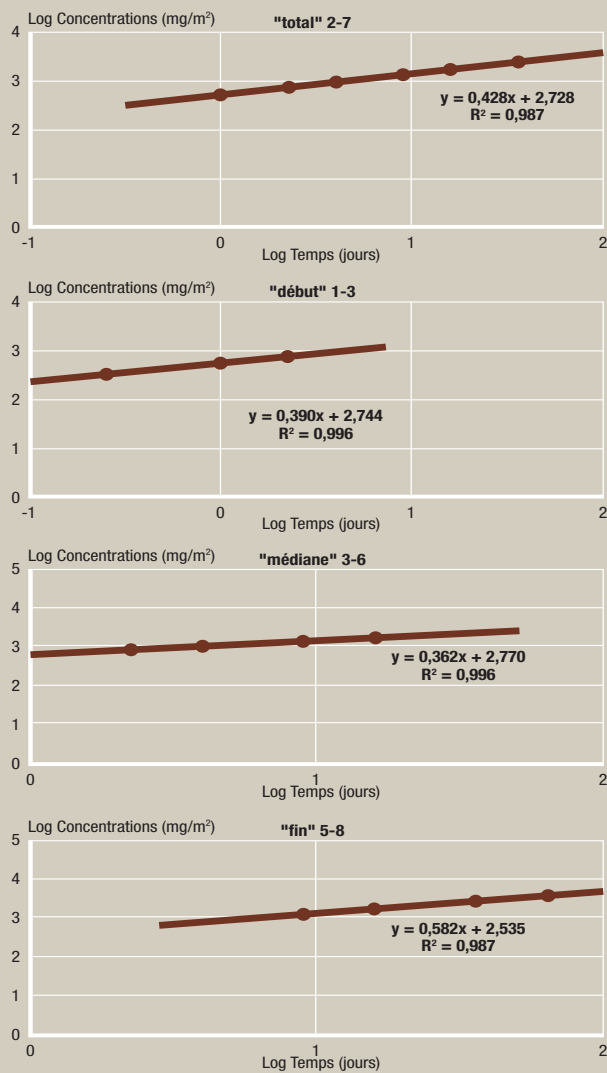
7

EVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ À 25°C (EN µS/CM) DANS LES EAUX DE TREMPAGE DES BAINS 1 À 8 (DE 6H À 64J) POUR 3 COULIS DIFFÉRENTS.



8

COURBES DE TENDANCE, ILLUSTRANT L'ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN SULFATES DANS LES EAUX DE TREMPAGE DES BAINS 1 À 8 (DE 6H À 64J) POUR UNE FORMULATION DE COULIS. CHAQUE COURBE PERMET DE CARACTÉRISER LE TYPE D'ÉCHANGE, ENTRE L'ÉPROUVETTE ET L'EAU, SUIVANT UNE CHARTE DÉFINIE DANS LA NORME HOLLANDAISE NEN 7245, DURANT LA TOTALITÉ DE L'ESSAI OU, EN DÉBUT, MILIEU ET FIN DE TEST.



SOURCE : ETUDE BRGM

9

raît que seuls les sulfates continuent à diffuser jusque dans les derniers bains du test avec une augmentation notable des concentrations. Pour les autres éléments, le potentiel de relargage est dû à des phénomènes

de « rinçage de surface » ou de « diffusion » au début, voire au milieu des essais, mais tend vers « l'épuisement » au fil des trempages jusqu'au 8^e bain à 64 jours. Pour ce qui concerne le comportement du coulis d'injection testé

F7, les évolutions des concentrations mesurées dans les bains de trempage et les interprétations faites montre que le potentiel de relargage décroît et tend vers « l'épuisement » au fil des trempages jusqu'au 8^e bain à 64 jours. □

- 1- BRGM = Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- 2- SOFFONS = Syndicat des Entrepreneurs de Sondages, Forages et Fondations Spéciales.

ABSTRACT

POTENTIAL FOR RELEASE OF CERTAIN GROUTS AND MUDS USED IN DRILLING AND FOUNDATIONS

LUCIEN CALLIER, BRGM - HUBERT HAAS, BRGM

Adjuvants, used in drilling muds and wall or injection grouts, are potential contaminants which can, when partially discharged in drained waters or by diffusion, have an impact on the quality of ground water at the site level. Three wall grouts (F1, F2 and F3) and a mortar (F9), three drilling muds (F4, F5 and F6) and two injection grouts (F7 and F8) were tested in laboratory by the BRGM¹, based on mix designs provided and processed under the supervision of SOFFONS². □

POTENCIAL DE ALARGAMIENTO DE ALGUNAS LECHADAS Y LODOS UTILIZADOS EN LAS EXCAVACIONES Y LAS CIMENTACIONES

LUCIEN CALLIER, BRGM - HUBERT HAAS, BRGM

El empleo de aditivos, contaminantes potenciales, en los lodos de excavación o en las lechadas de paredes o de inyección, puede generar en el momento de su evacuación parcial en las aguas de lavado o por difusión, un impacto sobre la calidad de las aguas subterráneas en la obra. Tres lechadas (F1, F2 y F3) y un mortero (F9) de paredes, tres lodos de excavación (F4, F5 y F6) y dos lechadas de inyección (F7 y F8) fueron sometidas a prueba en laboratorio por el BRGM¹, a partir de formulaciones proporcionadas y puestas en aplicación bajo el control del SOFFONS². □