

Travaux

SEPTEMBRE 2006

◆ UNITÉ DE NIT./DÉNIT. SEINE AVAL

TRAVAUX

n° 833

- Enjeux et défis d'un projet hors du commun

- Organisation du groupement

- Spécificités architecturales

- Process et équipements pour le traitement de l'eau

- Travaux de génie civil

- Études d'exécution

- Travaux en partenariat

- Les hommes et les femmes du chantier

Unité de nitrification – dénitrification Seine Aval

N°833

La revue *Travaux* consacre ce numéro à une étape importante de la mise à niveau du traitement des eaux usées en région parisienne. Ce dossier devrait permettre au lecteur de mieux comprendre les enjeux de cette opération en termes de protection de l'environnement, d'économie et de technologie.

Avec la mise en place de ce traitement de "nitrification-dénitrification" sur la station "Seine-Aval" à Achères, la plus grande station d'épuration d'Europe, qui traite quotidiennement près de 2 millions de mètres cubes d'eaux usées, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) poursuit une modernisation nécessaire entamée depuis plusieurs années, avec l'aide de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, visant à atteindre le "bon état écologique" fixé par la Directive Cadre sur l'Eau pour 2015.

En effet, les travaux engagés, décrits dans les pages qui suivent, vont permettre de supprimer les rejets d'azote ammoniacal, la forme la plus toxique pour la faune et la flore aquatiques. Ils vont aussi assurer le traitement d'un tiers des nitrates qui sont produits par la phase de nitrification, ce qui est un effort louable... mais insuffisant et qui devra effectivement être poursuivi pour pouvoir atteindre aussi rapidement que possible des rejets compatibles avec le respect de la Directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines.

A cet égard la Cour de justice des communautés européennes s'est prononcée en septembre 2004, soit très peu de temps après le démarrage (en août 2004) de ces travaux et a condamné la France pour n'avoir pas classé le bassin de la Seine en zone sensible à l'eutrophisation, dont sont responsables les rejets de nitrates et de phosphates.

Le SIAAP a heureusement déjà prévu ou fait réaliser sur

toutes ses stations les travaux nécessaires pour le traitement du phosphore. Le décret interdisant les phosphates dans les lessives ménagères – que j'ai transmis au Conseil d'État pour examen et que je devrais donc signer avant la fin de l'année – devrait aussi aider à atteindre le résultat escompté.

Restent les nitrates... Si les autres stations devraient, dans des délais compatibles avec une bonne application de l'arrêt de la CJCE, traiter intégralement l'azote, "Seine-Aval" doit faire un effort tout particulier. La Commission européenne a montré son intransigeance dans d'autres dossiers, par exemple

celui de la taille des filets de pêche. Elle a condamné notre pays à s'acquitter d'une astreinte de 57 M€ par semestre. Les amendes et astreintes que la France encoure sont considérables et justifient que tous les moyens soient mis en œuvre pour atteindre **dans les meilleurs délais** les niveaux de rejets autorisés.

J'ai conscience que ces travaux, qui vont mobiliser, selon la solution retenue, plus d'un milliard d'euros, vont nécessiter un engagement indéfectible des collectivités locales et de l'Etat via son établissement public – l'Agence de l'Eau Seine-Normandie – ainsi que le soutien des millions d'utilisateurs raccordés au réseau de collecte des eaux usées. Les solutions retenues devront aussi intégrer les

préoccupations de développement durable et ne pas générer de nuisances supplémentaires pour les riverains de la station.

Voilà un programme qui a tout du "challenge" mais dont je ne doute pas un instant qu'il soit réalisable, pourvu que toutes les (bonnes) volontés soient mobilisées.

La protection de notre environnement a besoin du soutien de tous et je le répète : Il n'y a pas de petits gestes quand on est 60 millions à les faire...



■ NELLY OLIN
**Ministre
de l'Écologie
et du Développement
durable**



Maurice Ouzoulias
Président du Syndicat
Interdépartemental
pour l'Assainissement
de l'Agglomération Parisienne
(SIAAP)

Responsabilité

Depuis plusieurs années, le SIAAP s'est engagé dans un vaste programme pensé à l'échelle de l'agglomération parisienne. C'est ce que nous avons appelé le "Scénario C", cadre de référence du Contrat de bassin, synonyme pour notre institution d'une amélioration constante des conditions et de la qualité de notre activité de dépollueur des eaux usées.

Les projets, couchés sur le papier après des débats, des études et des analyses menés avec nos partenaires institutionnels et économiques, sont devenus de grands chantiers et pour certains des réalisations achevées. Tous ces travaux, conduits par un SIAAP bâtisseur qui rénove, modernise et construit, nous ont conduits à faire le choix de nous concentrer progressivement sur notre mission de maître d'ouvrage.

Le chantier de la nouvelle unité de nitrification-dénitrification est à cet égard emblématique. L'importance de l'investissement – 450 millions d'euros –, et la complexité de la technologie à mettre en œuvre pour répondre aux objectifs en matière de traitement, sont représentatifs de la problématique d'avenir posée au SIAAP par l'évolution de l'usine Seine Aval, la plus importante en Europe et la plus ancienne aussi. La réalisation de cette unité constitue de fait une première étape vers la mise en œuvre de normes de rejet conformes à l'objectif du bon état écologique de la Seine visé par la directive-cadre européenne.

Déjà très mobilisé sur la lutte contre le phénomène d'eutrophisation de la mer du Nord et plus généralement sur la qualité de la Seine et de la Marne, le SIAAP avait fait le choix en 2002 de dépasser les critères du Contrat de bassin, anticipant sur les obligations de la DERU rappelées par la condamnation de la France. Pour Seine Aval, il sera ainsi en capacité d'être en conformité pour le traitement du phosphore d'ici à mi-2007 et à terme pour l'ensemble des pollutions azotées.

Première entreprise publique pour l'assainissement au service des Franciliens et principal acteur de la dépollution des eaux usées sur la zone de l'estuaire et de la basse vallée de la Seine, le SIAAP a conscience d'écrire une nouvelle page de son histoire, avec les efforts mais aussi les satisfactions inhérents à une activité toujours plus rigoureuse.

On sait que la modernisation de Seine Aval constitue un programme très important tant sur le plan financier que sur le plan technique. Compte tenu de l'ampleur des investissements à réaliser, le SIAAP a la volonté d'assumer ses responsabilités mais il ne pourra pas le faire seul. Chacun devra prendre les siennes car au bout de la chaîne, les enjeux sont bien ceux de la protection de l'environnement et de notre engagement vis-à-vis des générations futures.

Traiter moins et traiter pour Seine Aval

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) est le plus grand syndicat d'assainissement de France. Sa création est le fruit de la réforme administrative de la Région parisienne en 1970 et non d'une limite géographique d'un bassin ou de plusieurs bassins versants.

L'origine de cette particularité, voire de cette différence majeure avec les autres usines d'épuration, s'explique principalement par l'histoire de la construction du réseau d'assainissement à Paris et ses environs. Tout a commencé vers 1860, lorsque l'ingénieur Eugène Belgrand a décidé d'élaborer un réseau de collecte centralisé des effluents pollués et leur rejet dans la Seine, loin de Paris, à hauteur de Clichy. Cette décision était surtout le fruit de la volonté de repousser au plus loin les pollutions des habitations et donc d'éviter les épidémies qu'a connues cette région au début du XVIII^e siècle.

Usine Seine Aval : vue partielle des bassins de décantation primaire et de l'unité de clarifloculation

Seine Aval plant : Partial view of the primary settling basins and the clarifloculation unit



■ TRAITER AU PLUS PRÈS LES EAUX USÉES

Tous les schémas d'assainissement qui ont suivi ont appliqué ce grand principe et l'ont même renforcé en collectant les eaux usées pour les envoyer encore plus à l'aval de Paris dans une usine d'épuration, créée à Achères dès 1940. Les premières dérogations à ce principe apparaîtront en 1968, où il est décidé de construire des stations dans l'est parisien pour éviter d'envoyer "tout à l'aval". Cette évolution marque la fin du principe d'éloigner les pollutions des habitations qui est remplacé par le principe de traiter les pollutions au plus près.

Ce principe du tout à l'aval, même s'il est remis en cause, explique en partie l'importance du SIAAP. Ainsi la majorité des collectivités de l'est d'Achères se sont regroupées pour que leurs eaux usées soient traitées dans cette station et éviter ainsi des rejets proches du tissu urbain dense. Le SIAAP rassemble donc aujourd'hui les départements de la Petite Couronne (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne), la Ville de Paris et 180 communes des départements de la Grande Couronne (Seine-et-Marne, Yvelines, Essonne et Val-d'Oise). Un tel regroupement de collectivités conduit au gigantisme des chiffres. Le SIAAP a ainsi pour mission d'assurer le transport et l'épuration de plus de trois millions de mètres cubes par jour d'eaux usées produites par 12 millions de Franciliens avant leur rejet aux milieux naturels : tâche gigantesque et évolutive. Cette mission ressemble fort à une course-poursuite entre les quantités d'eaux produites et les capacités de transport et d'épuration dont dispose le SIAAP.

Pour tenter de disposer de moyens suffisants et de devancer les volumes à traiter, le syndicat a mis en place un schéma directeur de grande ampleur. Compte tenu de l'importance et du nombre important d'acteurs, une étude a été lancée sous l'égide du ministère de l'Environnement, en collaboration avec le Conseil régional, l'Agence de l'Eau Seine Normandie, le SIAAP et l'Etat (représenté par la DIREN et le SNS). Les conclusions de cette étude dite "étude zone centrale", rendues en 1998, ont abouti à un schéma directeur pour les années à venir appelé "scénario C". Ce nom provient du choix réalisé entre les différentes options proposées à la fin de l'étude.

Ce schéma directeur était articulé à partir des axes majeurs suivants :

- ◆ améliorer les niveaux d'épuration des eaux collectées par temps sec ;
- ◆ rééquilibrer les volumes à traiter en limitant le principe du "tout à l'aval", et donc en traitant au plus près ;
- ◆ stocker puis traiter les eaux pluviales pour des événements arrivant en moyenne tous les 6 mois ;
- ◆ maîtriser les flux par une gestion dynamique de ces derniers et assurer un maillage entre les grands émissaires.

Ces axes ont ensuite été déclinés en équipements à réaliser, et ont donc conduit à fixer le schéma directeur du SIAAP pour les quinze années suivantes.

C'est dans ce cadre que la modernisation complète de la station d'Achères a été intégrée pour améliorer la qualité des rejets de cette station dans la Seine.

mieux, le nouvel enjeu

Michel Thibaut



**DIRECTEUR GÉNÉRAL
ADJOINT
SIAAP**



**Aménagements paysagers
devant la future unité
(simulation)**

**Landscaping
in front of the future unit
(simulation)**

■ UNE UNITÉ À L'ÉCHELLE DES VOLUMES À TRAITER

Comme on vient de le voir, le principe développé par Eugène Belgrand a conduit à construire une usine de traitement le plus à l'est. C'est ainsi que s'est développée la station d'Achères (site Seine Aval) qui est maintenant la plus ancienne usine du SIAAP, mais aussi la plus grande d'Europe. Ainsi près de 70 % des eaux usées "confiées" au SIAAP y sont traitées aujourd'hui.

Les conséquences du "scénario C" sur cette usine sont triples :

- ◆ réduction progressive des débits ;
- ◆ traiter mieux ;
- ◆ traiter les eaux pluviales.

La réalisation de l'unité de la nitrification-dénitrification répond aux deux derniers objectifs. En effet, cette unité a pour fonction principale de traiter la pollution azotée et de traiter les débits par temps de pluie.

Sur le premier point, elle s'appuie sur deux procédés biologiques. Le premier (la nitrification) conduit à transformer l'azote ammoniacal des eaux usées en nitrate. Le second (la dénitrification) conduit à transformer ces nitrates en azote gazeux. Il faut noter que cette dénitrification restera partielle (30 %) et sera complétée dans le cadre de la refonte complète de l'usine qui devrait avoir lieu à partir de 2012.

Sur le second point, cet équipement est dimensionné pour prendre en charge les débits suivants :

- ◆ 24 m³/s par temps sec ;
- ◆ 45 m³/s par temps de pluie ;

◆ 52 m³/s lors de pointes exceptionnelles. De tels volumes à traiter ont conduit à concevoir un ouvrage sur plus de 10 hectares. Les différentes facettes de ce projet déclinent cette échelle.

■ LES COMPOSANTES FINANCIÈRES

Un marché d'un montant de 390 millions d'euros (valeur janvier 2002) attribué à un groupement d'entreprises où l'on retrouve de grandes entreprises françaises de traitement de l'eau et de génie civil. Un partage du financement entre les acteurs franciliens majeurs en matière d'assainissement :

- ◆ 40 % Agence de l'Eau Seine Normandie ;
- ◆ 20 % Région Ile-de-France ;
- ◆ 40 % SIAAP.

Un mode de marché construit pour sensibiliser tous les acteurs aux respects des délais et des montants. A ce jour, aucun dépassement du montant initial n'est constaté, et sauf imprévu de dernière heure, le budget initial sera respecté.

■ UN CALENDRIER STRICT

Compte tenu de l'importance de cet équipement pour la qualité de la Seine, de la volonté de limiter les nuisances au voisinage et du respect des coûts, un calendrier d'exécution très strict a été mis en œuvre :

- ◆ obtention du permis de construire : mars 2004 ;

Entrée de la future unité
de traitement des pollutions
azotées (simulation)

*Entrance of the future
nitrogenous pollution
treatment unit
(simulation)*



Unité de clariflocculation pour le traitement des eaux pluviales
Clariflocculation unit for rainwater treatment



- ◆ phase travaux : 30 mois, de juillet 2004 à décembre 2006 ;
- ◆ mise en route : 10 mois, de janvier 2007 à octobre 2007 ;
- ◆ réception : novembre 2007.

A ce jour, seul un décalage de quinze jours a été constaté, correspondant aux jours d'intempérie qu'a subis le chantier.

C'est le plus grand chantier d'Ile-de-France, dont les chiffres qui suivent donnent l'ampleur :

- ◆ mobilisation de plus de 100 ingénieurs en phase conception ;
- ◆ plus de mille personnes en période de pointe travaillant sur le chantier ;
- ◆ 150 000 m³ de béton, plus de 15 000 t d'armatures, 900 t de tuyauteries ;
- ◆ près de vingt grues.

Il a également été réalisé suivant la notion de chantier "vert" qui régit notamment la circulation des véhicules aux abords du chantier, le bruit et les déchets émis.

■ UN CHANTIER DÉTERMINANT POUR L'AVENIR

Le SIAAP va disposer d'un équipement majeur pour améliorer la qualité de Seine.

La conception s'est appuyée sur les principes suivants :

- ◆ insertion environnementale ;
 - ◆ nuisances zéro en matière de bruits et d'odeurs ;
 - ◆ prise en compte d'une politique de développement durable (utilisation du biogaz, mise en place de turbines hydrauliques, etc.) ;
 - ◆ exploitation en régie ;
 - ◆ anticipation sur les normes européennes en matière de rejet de nitrates dans le milieu naturel.
- Pour le SIAAP, il reste à vérifier le respect de ces principes et à en tirer une expérience pour ses autres grands chantiers qui devraient avoir lieu dans les prochaines années, dont la modernisation complète de ce site.

Un marché hors du commun

Christine Voisine



DIRECTRICE DES ÉTUDES
ET DE LA
PROGRAMMATION
SIAAP



Façade nord du bâtiment de nitrification.
Process Biostyr®
(simulation)

Northern facade of the nitrification building.
Biostyr® process
(simulation)

Dans la continuité de l'adoption du scénario C en 1997, le cas de l'usine Seine Aval, a été l'objet d'un développement particulier : "l'étude du devenir de la station d'épuration d'Achères".

Cette étude a été rendue en décembre 2000. Réalisée par le bureau d'études Bonnard et Gardel pour le compte de l'Etat via l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, en concertation et avec la participation de la Région Ile-de-France et du SIAAP, elle avait pour objectif de définir l'alternative d'évolution de cette station d'épuration. Il s'agissait d'assurer la meilleure cohérence avec les différentes échéances du programme d'action pour l'assainissement de la zone centrale de la région d'Ile-de-France horizon 2015. Le bilan diagnostique de l'usine Seine aval a consisté en une analyse des différents moyens d'épuration de l'usine, moyens en fonction (filières eau et boue), en construction (clarifloculation) ou testés à l'échelle pilote (nitrification, dénitrification). Cette analyse a mis en évidence les potentialités et limites de ces différents ouvrages, en fonction des flux actuels ou futurs aux différentes échéances, et a conduit à présenter plusieurs propositions.

■ PRINCIPES DE DÉVELOPPEMENT DE LA STATION D'ÉPURATION D'ACHERES

Considérant les propositions contenues dans l'étude du devenir de la station d'épuration d'Achères, le comité de pilotage avait retenu les principes suivants :

◆ l'horizon 2005, consistant en un tronc commun ouvert sur une évolution en 2015 vers deux alter-

natives possibles et comprenant la nitrification des effluents par temps sec, les exigences de nitrification n'étant pas fixées par temps de pluie, avec des valeurs de rejet à définir en fonction des performances des équipements ;

◆ l'horizon 2015, la nitrification et dénitrification des effluents étant exigées par temps sec et par temps de pluie, seul un volume identique au temps sec devant être dénitrifié. Une déphosphatation poussée (1 mg P/l) par temps sec et modérée (2 mg P/l) par temps de pluie.

C'est ainsi qu'en application de cette décision et de la signature du contrat de bassin 2000-2006 avec l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et la Région Ile-de-France, le SIAAP s'est trouvé en 2001 dans la perspective d'engager un chantier estimé alors à 2300 MF HT.

Il s'agissait de compléter les installations existantes par une nouvelle unité permettant de traiter l'ammonium par temps sec et d'affiner le traitement des eaux excédentaires par temps de pluie. Les débits à traiter et la qualité des rejets étaient fixés dans le cadre de l'étude du devenir d'Achères.

La nouvelle unité était située à l'ouest des installations actuelles du traitement des eaux. Elle devait permettre de traiter 1 700 000 m³/j par temps sec et 2 900 000 m³/j en temps de pluie.

■ LE SIAAP CHOISIT L'APPEL D'OFFRES SUR PERFORMANCES

Pour la mise en œuvre de cette unité de nitrification et compte tenu de son importance et des délais imposés, le SIAAP pouvait porter son choix sur plusieurs procédures figurant au Code des Marchés publics :

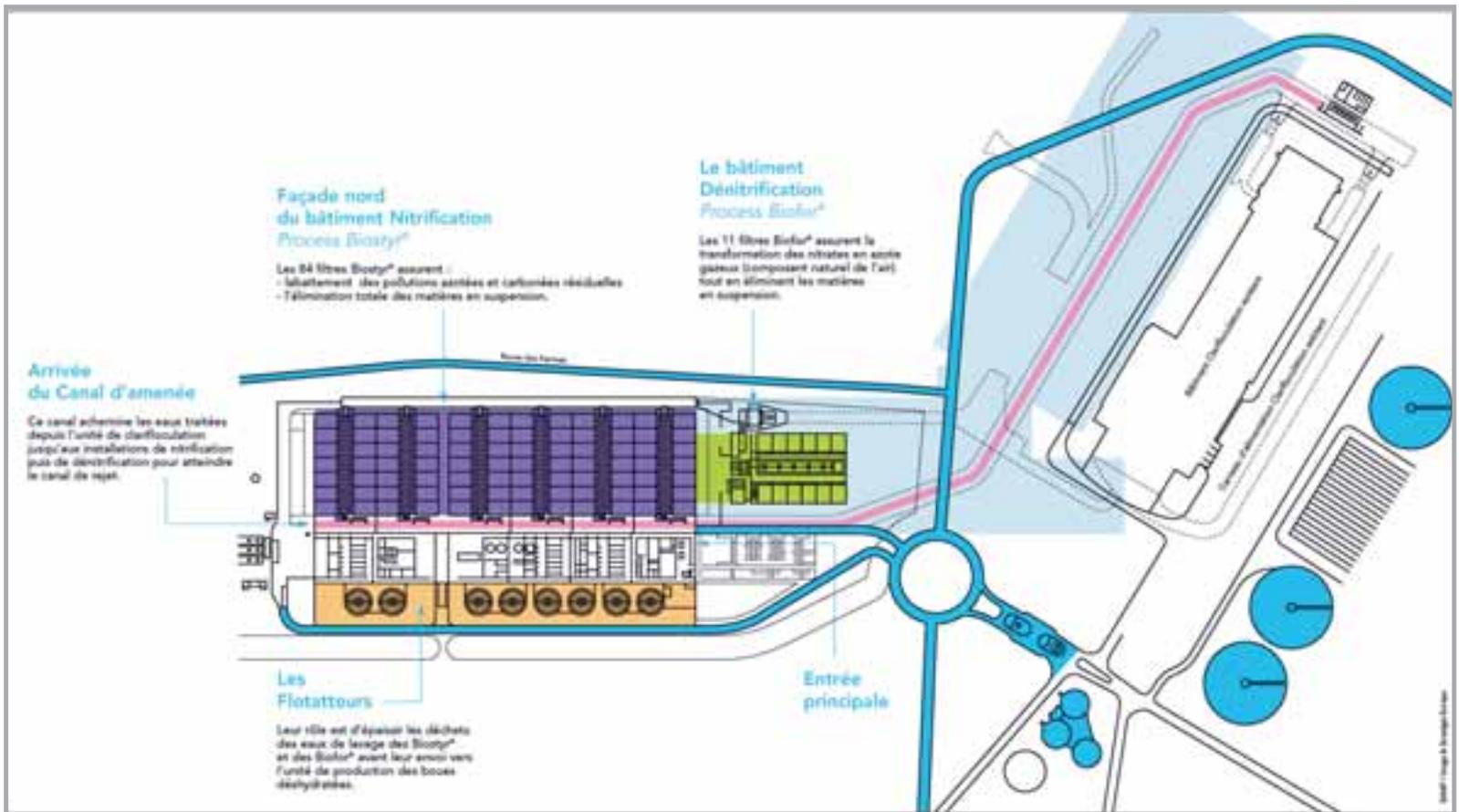


Figure 1
Usine de traitement
des eaux
Water treatment plant



◆ un allotissement, comme pour le chantier de l'extension de l'usine Seine amont (Valenton II), ne résolvait pas le problème délicat de l'interfaçage entre des lots distincts, avec le risque de voir des incompatibilités et des chevauchements ou même des "vides" entre les différents marchés d'une part, et présentait une difficulté multipliée d'intégration aux installations existantes d'autre part. Cette difficulté était encore accentuée par la nécessité de faire évoluer différents titulaires dans un site en exploitation. Dans un contexte de délais serrés, cela laissait présager des dérapages sur les plannings et sur les coûts ;

◆ les autres possibilités étaient le concours de conception-réalisation, suivi d'un marché passé avec le lauréat ou l'appel d'offres sur performances (procédure devenue depuis "dialogue compétitif"). Le propre de ces marchés est de déléguer la maîtrise d'œuvre à un groupement réunissant un architecte, les constructeurs et les équipementiers, à charge pour eux de définir les moyens à mettre en œuvre pour respecter les impératifs "programme-coût - délais".

La complexité des technologies à mettre en œuvre pour répondre aux objectifs fixés dans le respect des exigences du maître d'ouvrage ne permettait pas au SIAAP de déterminer les moyens à prescrire afin de ne pas privilégier une technique par rapport à une autre, mais bien à laisser chaque constructeur, en fonction des brevets qu'il détient, apporter sa réponse.

Dans ce cas précis, la procédure d'appel d'offres sur performances a été utilisée, conformément au Code des Marchés publics, car la personne res-

ponsable du marché "n'était pas en mesure, soit de définir les moyens permettant de satisfaire ses besoins, soit d'évaluer les solutions techniques ou financières disponibles". Le maître d'ouvrage n'assume pas de coordination, n'ayant affaire théoriquement qu'au mandataire du groupement. Il n'en garde pas moins la maîtrise générale de l'opération par un contrôle permanent sur son déroulement. Si les résultats ne sont pas atteints, l'appel d'offres sur performances est favorable au maître d'ouvrage, car le groupement doit alors effectuer à ses frais les travaux correctifs ou se voit appliquer une réfaction de sa rémunération.

Pour cette opération consistant en l'établissement du projet et l'exécution des installations de nitrification par cultures fixées à l'usine d'épuration Seine aval (équipement et génie civil), le bureau du conseil d'administration du SIAAP réuni le 20 février 2001 a donc autorisé pour la première fois le lancement d'un appel d'offres sur performances, conformément aux dispositions de l'article 303 du Code des Marchés publics.

La grande aventure commençait... défi pour le SIAAP et pour les entreprises!

■ DES PERFORMANCES ET DES PRESCRIPTIONS DE HAUTE EXIGENCE

Nouvelle pièce qualitative de l'usine de traitement des eaux, l'unité de "nitrification" projetée se devait d'être exemplaire du soin qu'apporte le SIAAP à la lutte contre la pollution et à la valorisation

de l'environnement. Au sein d'un paysage de caractère rural, cette installation se situe en face de l'entrée de l'usine existante et de sa nouvelle unité de décantation accélérée. Elle se place au contact du futur parc paysager programmé au bord de la Seine (figure 1).

Un appel à candidatures lancé du 26 avril au 5 juin 2001 a permis de retenir trois groupements auxquels a été envoyé le dossier de marché; les offres devant être remises pour février 2002.

Le "PFD" (programme fonctionnel détaillé) décrivait les prestations à réaliser en vue de la conception et la réalisation des équipements répondant aux besoins à satisfaire. Il y était rappelé les contraintes et objectifs ci-après.

L'unité devra permettre de traiter par temps sec et par temps de pluie des débits avec des qualités de rejets précises (performances visées à l'horizon 2005) (voir article suivant "Au cœur du traitement des eaux").

De plus, des exigences majeures ont été demandées en matière d'exploitation et d'ergonomie des postes de travail pour le futur personnel.

Des performances complémentaires portant sur la qualité des sous-produits, des émergences sonores, de la ventilation et la désodorisation, l'exploitation et la sûreté de fonctionnement, seront également exigées. Les liaisons hydrauliques à prévoir permettront un fonctionnement de l'unité de nitrification soit en aval soit en amont de l'unité de clarifloculation.

Les concurrents devront démontrer la compatibilité du projet réalisé pour 2005 avec les deux possibilités retenues pour 2015 du devenir du site Seine aval (conservation des bassins biologiques



Flottateurs
(simulation)

Flotation units
(simulation)

actuels et construction de nouvelles installations complémentaires par cultures fixées **ou** suppression des bassins actuels avec remplacement par de nouvelles installations de traitement par cultures fixées).

A cette échéance, il est prévu d'améliorer le traitement des eaux : dénitrification et déphosphatation des effluents par temps sec et leur nitrification complète par temps de pluie.

> **La solution de base** prévoit que par temps sec, les effluents passent d'abord sur les bassins de boues activées (carbone), puis sur les ouvrages de clarifloculation (affinage et phosphore), avant d'ali-



Projet nitrification-dénitrification.
Passerelle extérieure
(simulation)

Nitrification-dénitrification project.
Outdoor foot bridge
(simulation)

► menter les nouveaux ouvrages de cultures fixées (affinage et ammonium).

> **La variante obligatoire** consiste à permettre à la fois, selon la configuration de fonctionnement souhaitée par l'exploitant, que les installations soient alimentées :

◆ comme dans la solution de base : par temps sec, les effluents passent d'abord sur les bassins de boues activées (carbone), puis sur les ouvrages de clarifloculation (affinage et phosphore), avant d'alimenter les nouveaux ouvrages de cultures fixées (affinage et ammonium);

◆ mais aussi, selon un schéma différent d'alimentation : les effluents passent d'abord sur les bassins de boues activées (carbone), puis sur les nouveaux ouvrages de cultures fixées (affinage et ammonium), et enfin sur les ouvrages de clarifloculation (affinage et phosphore).

> **Options obligatoires :**

◆ dénitrification partielle dès 2005;

◆ désinfection par temps sec (l'été);

◆ aménagement d'une voirie souterraine.

Enfin, pour son insertion sans nuisances, et pour la sécurité d'exploitation, de fortes prescriptions étaient imposées.

D'une façon générale, l'ensemble de l'installation de traitement sera "confiné". La totalité de l'air

pollué sera traitée sur une installation de désodorisation. Ceci impose naturellement des contraintes spécifiques, à la fois sur la qualité à obtenir pour le traitement de l'air à l'intérieur des locaux (protection du personnel et préservation des ouvrages et équipements) et vis-à-vis de l'extérieur pour le rejet à l'atmosphère après traitement (nuisances olfactives dans l'environnement).

Dans tous les cas, les ensembles de traitement des airs viciés (ventilation, lavage de l'air...) devront obligatoirement être secourus de manière à respecter les performances visées et la fiabilité annoncée.

Les offres, reçues en février 2002, ont été soigneusement examinées et les candidats auditionnés à plusieurs reprises avant que soit choisie mi-2002, sur la base de sa réponse technique et économique, l'offre du groupement emmené par OTV France pour un montant de 390 millions d'euros.

Les démarches administratives, mise au point du marché, études de réalisation... ont pris place ensuite et les travaux ont pu débuter en mars 2004 pour une réception prévue en novembre 2007.

L'histoire continuera pour l'atteinte dans les années à venir de la conformité à la DERU puis des objectifs de la directive-cadre européenne sur l'eau dans la perspective d'une refonte globale du site.

Au cœur du traitement des eaux

Philippe Janneteau



CONDUCTEUR
D'OPÉRATION
SIAAP



Vue partielle de l'usine Seine Aval (unité de clarifloculation et bassins)

Partial view of the Seine Aval plant (clarifloculation unit and basins)

L'usine d'épuration Seine Aval, dont la capacité nominale de temps sec est de 2080 000 m³/j, traite les eaux usées d'une grande partie de l'agglomération parisienne.

La mise en service récente de nouvelles installations de traitement des eaux usées et l'amélioration de la qualité des réseaux de collecte ont conduit à réduire le débit journalier traité par temps sec à l'usine Seine Aval.

Le traitement des eaux sur le site d'Achères fait appel à l'épuration biologique par boues activées pour le traitement de la pollution carbonée, complétée par une clarifloculation (processus physico-chimique favorisant l'agrégation des micelles et des matières en suspension).

La clarifloculation permet le traitement par temps de pluie des eaux excédentaires par rapport à la capacité des ouvrages d'épuration biologique, et un affinage du traitement des eaux par temps sec. Les installations de la clarifloculation ont été achevées au début de l'année 2000.

Le traitement des boues issues du traitement des eaux est réalisé en deux étapes successives : un épaissement des boues biologiques par flottation, une stabilisation par digestion de boues mixtes, puis un conditionnement thermique et une déshydratation. La majeure partie des boues déshydratées est valorisée en agriculture, le reste étant mis en décharge.

L'usine d'épuration est découpée en deux sites distincts. Le premier regroupe les ouvrages de traitement des eaux et de stabilisation des boues (Unité de production des eaux et des irrigations - UPEI) ; le second, situé à 3 km, concerne les ouvrages de traitement des boues (Unité de production des

boues déshydratées). Ces sites se sont implantés progressivement à la place des terrains d'épandage organisés à la fin du XIX^e siècle pour épurer les eaux usées de Paris et de sa banlieue (Parc agricole d'Achères).

■ INTÉGRATION ET REFONTE DE L'ENSEMBLE

Les ouvrages réalisés s'inscrivent dans une perspective d'évolution à l'horizon 2015, pour atteindre des objectifs renforcés, notamment en ce qui concerne la dénitrification et la déphosphatation des effluents par temps sec et leur nitrification par temps de pluie. L'exploitation de ces ouvrages sera assurée par la régie du SIAAP, qui exploite déjà les installations existantes sur site.

La prise en main de la conduite et de la maintenance de ces nouveaux ouvrages dans l'organisation et les installations existantes nécessitent d'anticiper suffisamment tôt les évolutions et les adaptations techniques à mettre en place sur le site. A savoir : les compétences et les organigrammes, le plan de formation et de recrutement, la modification de l'architecture du système de communication du site, la conduite en 2x8... Le groupement chargé de la conception et de la réalisation participe activement à la définition de ces évolutions et met en place les moyens contractuels nécessaires pour répondre à cette finalité d'exploitation.

Un appel d'offres sur performances a été attribué en juillet 2002 à un groupement d'entreprises – dont le mandataire est OTV France – constitué de :

Paramètres	Charges en t/j
MES (1)	460
DBO ₅ (2)	420
DCO (3)	860
NTK (4)	80
P _{Total} (5)	16

Tableau I
Charges maximales entrantes sur la station pour la semaine la plus chargée
Maximum loads entering the station for the most heavily loaded week

- (1) MES = Matières en suspension
- (2) DBO₅ = Demande biologique en oxygène sur 5 jours
- (3) DCO = Demande chimique en oxygène
- (4) NTK = Azote kjedhal
- (5) P_{Total} = Phosphore total

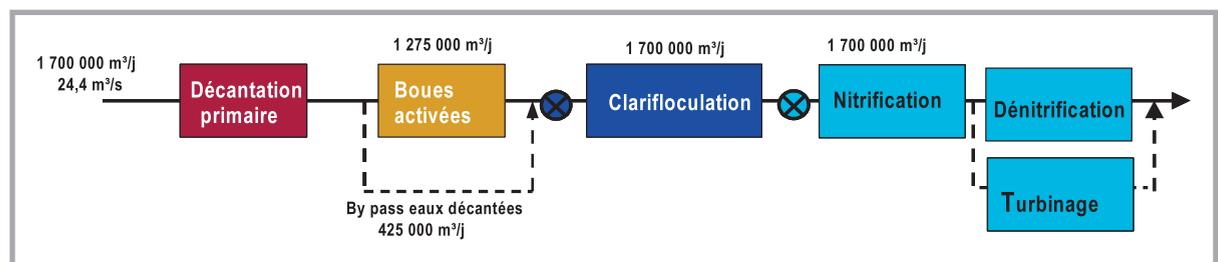
Paramètres	Concentration maximum sur 24 heures consécutives	Rendement minimum sur 24 heures consécutives	Valeurs rédhitoires
MES (1)	18 mg/l	92%	50 mg/l
DBO ₅ (2)	15 mg/l	92%	40 mg/l
DCO (3)	90 mg/l	78%	200 mg/l
N-NH ₄ ⁺ (*) (4)	9 mg/l	-	-
N-NH ₄ ⁺ (**)	4,2 mg/l	-	-
NTK (*) (5)	14 mg/l	65%	22 mg/l
NTK (**)	8 mg/l	78%	14 mg/l
NGL (6)	37 mg/l	20%	-
P _{Total} (7)	3 mg/l	60%	-

- (1) MES = Matières en suspension
- (2) DBO₅ = Demande biologique en oxygène sur 5 jours
- (3) DCO = Demande chimique en oxygène
- (4) N-NH₄⁺ = Ammonium
- (5) NTK = Azote kjedhal
- (6) NGL = Azote global
- (7) P_{Total} = Phosphore total

(*) : période hivernale et 12 °C < T° eff < 18 °C, avec T°= température des effluents mesurée dans les étages biologiques où s'effectue le traitement de l'azote
(**) : période estivale et T° eff > = 18 °C, avec T°= température des effluents mesurée dans les étages biologiques où s'effectue le traitement de l'azote

Tableau II
Performances pour des volumes et des charges entrantes inférieures ou égales aux valeurs de référence
Performance for incoming volumes and loads less than or equal to the reference values

Figure 1
Fonctionnement par temps sec. Configuration 1
Operation in dry weather. Configuration 1



- ◆ OTV France et Ondéo-Degrémont, rassemblés en sous-groupement dont le mandataire est OTV France;
 - ◆ Campenon Bernard TP, Eiffage TP, GTM Construction, rassemblés en sous-groupement dont le mandataire est Campenon Bernard TP;
 - ◆ Luc Weizmann, société d'architecture.
- Le projet retenu s'intègre et complète la filière de traitement existante au sein de l'UPEI. Quelles que soient les conditions de traitement, le projet assure un rejet et un comptage unique de l'UPEI, actuellement équipée de quatre canaux de rejets. Les objectifs visés par ce projet concernent, en premier lieu, la conception et la réalisation des ouvrages nécessaires à l'obtention des performances de traitement visées à l'horizon 2007. L'arrêt d'exploitation et de rejet étant en cours d'élaboration, les performances réglementaires rappelées ci-après sont données à titre indicatif.

LES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DITES DE TEMPS SEC

A titre d'exemple, les conditions de fonctionnement dites de temps sec – détaillées ci-après – permettent

- d'apprécier la modularité des ouvrages entre eux et la variété des configurations de traitement qui seront adaptées en fonction des charges et des flux entrants :
- ◆ volume de référence : 1 700 000 m³/j;
- ◆ débit moyen : 19,7 m³/s;
- ◆ débit de pointe : 24,4 m³/s;
- ◆ charges maximales entrantes sur la station (pour la semaine la plus chargée) (cf. tableaux I et II).

FONCTIONNEMENT PAR TEMPS SEC

Configuration n° 1 (figure 1)

Après une décantation primaire assurant le des-sablage, le déshuilage, et le dégrillage des effluents, la pollution carbonée est traitée sur quatre tranches d'ouvrages par un procédé de boues activées (A1, AII, AIII, AIV). Placés à l'aval de la clarifloculation qui assure dans ces conditions la déphosphatation des effluents, les ouvrages de nitrification et de dénitrification sont constitués en deux étages de biofiltres. Les effluents sont transférés vers la nouvelle unité de traitement de la sortie Actiflo® (clariflocula-

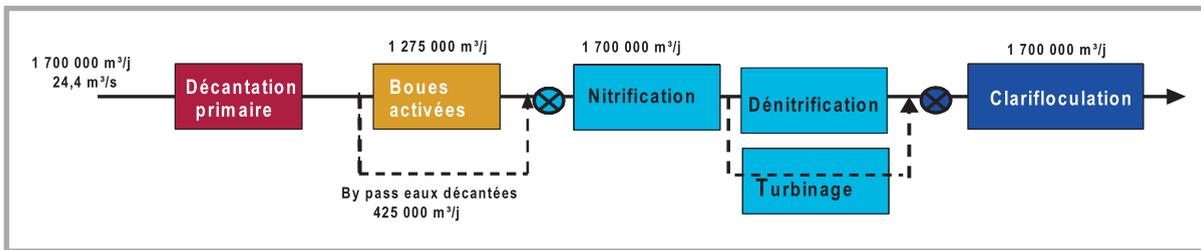


Figure 2
Fonctionnement
par temps sec.
Configuration 2
Operation in dry weather.
Configuration 2

tion) via un canal d'une capacité de 52 m³/s séparé en trois sections. Les six batteries de quatorze cellules Biostyr® (nitrification) de 173 m² unitaires fonctionnent en milieu aérobie et sont équipées de leur propre poste de relèvement (3 + 1 pompes). L'eau nitrifiée est ensuite acheminée soit vers les ouvrages de dénitrification partielle réalisée par onze cellules Biofor® de 147 m² unitaires en milieu anaérobie, soit vers un poste de turbinage.

Le substrat carboné nécessaire au développement des bactéries dénitrifiantes est assuré par une injection de méthanol au niveau des biofiltres dénitrifiants, avec un stockage de 350 m³ en trois réservoirs.

Configuration n° 2 (figure 2)

Dans cette configuration, les ouvrages de nitrification et de dénitrification sont placés à l'amont de la clarifloculation.

Les effluents sortant de la filière biologique rejoignent le canal de liaison Actiflo® - Biostyr® via un poste de pompage (5 + 1 pompes) de 25 m³/s (Q pointe temps sec). Dans cette configuration il

n'est pas utile d'apporter un complément de substrat carboné au niveau des cellules Biofor®.

L'eau nitrifiée est ensuite dirigée vers le relèvement de la clarifloculation existante avant rejet en Seine.

■ UN PROJET EXEMPLAIRE

Ce qui rend ce projet exemplaire procède de plusieurs considérations.

La qualité du plan général d'implantation qui reste très lisible pour des ouvrages de cette ampleur, associée à la qualité de réalisation des ouvrages qui fait largement appel à des matériaux nobles (bois, inox, verre bétons désactivés, panneaux artistiques...), et la qualité de traitement des abords entre forêt et parc paysager confèrent à l'ensemble une inscription harmonieuse dans son environnement.

La réflexion permanente conduite tout au long de la conception et de la réalisation de ce projet entre exploitants et constructeurs s'appuie sur un travail méthodique et thématique mené par différents groupes d'experts. Par exemple :

- ◆ REX, réunions de retour d'expérience ;



Parcours de visite –
Vue de la passerelle
s'ouvrant
sur les aménagements
paysagers, la Seine
et les coteaux
de la Frette,
entre deux batteries
de biofiltres Biostyr®
(simulation)

Path for visitors –
View of the foot bridge
opening
onto the landscaping,
the Seine
and the Frette hillsides,
between two banks
of Biostyr® biological
filters (simulation)

Parcours de visite - Vue de la passerelle au-dessus de la rue centrale (300 m) en cours de réalisation, délimitant la partie supérieure des biofiltres Biostyr® et le bâtiment technique fournissant les utilités nécessaires au fonctionnement de ces biofiltres

Path for visitors – View of the foot bridge above the central street (300 m) undergoing construction, bounding the upper part of the Biostyr® biological filters and the process building supplying the utilities required for operation of the filters



- ▶ ◆ GEMMA, définition des modes de fonctionnement de l'unité;
- ◆ AFD, conduite des analyses fonctionnelles des systèmes;
- ◆ IHM, mise en place des interfaces hommes/machines;
- ◆ ORH, définition de l'organisation des ressources humaines d'exploitation et de maintenance, dimensionnement et organigramme, plan de recrutement;
- ◆ OMR, définition de l'organisation de la mise en route dont formation et accompagnement des agents. Les approches macro et micro-ergonomiques, les études des flux et des circulations verticales et horizontales, les épures et plans de manutention... ont été autant d'outils et de clefs de lecture qui ont permis de s'assurer de la pertinence de la conception et répondre à la nécessité de mettre la machine au service de l'homme et non l'inverse. Un seul exemple : la manipulation des centrifugeuses au pont roulant se fait après 10 minutes de décapotage...

Le calendrier contractuel distinguait deux phases : la première conceptuelle, se référant au CCAG-PI (Cahier des clauses administratives générales applicables aux marchés publics de prestations intellectuelles), la seconde de réalisation se référant au CCAG travaux (Cahier des clauses administratives générales). Ces phases sont séparées par une période non définie nécessaire à l'obtention

des autorisations administratives – qui a été réduite au strict minimum (8 mois). Sauf incident ou accident majeur, les échéances prescrites seront tenues. Le CAT, certificat d'achèvement, devrait être signé le 12 janvier 2007, et la réception devrait être prononcée le 12 novembre 2007.

Pour ce projet, repartant de ses expériences antérieures et se recentrant sur son rôle de maître d'ouvrage, le SIAAP a souhaité confier dès septembre 2001 le management de ce projet à une conduite d'opérations, chargée de le mener à bien dans toutes ses dimensions, techniques, financières, réglementaires, humaines... Aujourd'hui les délais, le programme et les coûts restent circonscrits aux enveloppes initiales, les organisations d'exploitation se mettent en place : les premières mises en eau devraient intervenir en novembre 2006.





L'organisation du groupement

La nature de l'appel d'offres lancé par le SIAAP (appel d'offres sur performances, en groupement d'entreprises, avec des délais restreints) a orienté fortement l'organisation du groupement vers un schéma peu pratiqué à l'ordinaire.

En effet, en plus de l'obligation de constitution d'un groupement comprenant des entreprises spécialistes de l'épuration, des entreprises de génie civil et un architecte, le SIAAP a décidé de répartir les missions de maîtrise d'œuvre, telles que définies par la loi MOP, entre sa Direction des Grands Travaux (DGT SIAAP) et le groupement titulaire du marché.

Dès la soumission, soit en février 2002, les entreprises constituant le groupement ont donc décidé d'une organisation spécifique pour réaliser ce marché, organisation effectivement mise en œuvre depuis le début du projet :

- ◆ le rôle de mandataire du groupement, classiquement dévolu dans ce type d'opération au directeur de projet des épurateurs, a été dissocié des directions de projet "Epurateurs" et "Génie civil". De ce fait, le groupement a mis en place, sous la responsabilité d'OTV France, une organisation dédiée à la fonction de mandataire, constituant ainsi une direction du contrat dissociée des directions "Epurateurs" et "Génie civil";

- ◆ le contrat déléguant diverses missions de maîtrise d'œuvre au groupement, celles-ci ont été majoritairement regroupées dans une cellule de maîtrise d'œuvre qui a été rattachée au mandataire.

■ PRINCIPE D'ORGANISATION FONCTIONNELLE DU GROUPEMENT

Il est basé sur l'articulation de cinq composantes fonctionnelles : trois entités assurent les activités spécifiques : "Equipements", "Génie civil" et "Architecture" ; l'ensemble est coordonné par le mandataire commun assisté d'une cellule de maîtrise d'œuvre (figure 1). Les modalités de fonctionnement et d'organisation du groupement, les rapports et obligations de chacun de ses membres vis-à-vis du maître d'ouvrage, des autres membres du groupement, du mandataire et des tiers, sont sous la responsabilité du mandataire.

■ RÉPARTITION DES RÔLES DE MAÎTRISE D'ŒUVRE

Trois maîtres d'œuvre se répartissent les rôles, sur le projet :

- ◆ le SIAAP, au travers de sa DGT, a conservé la ma-

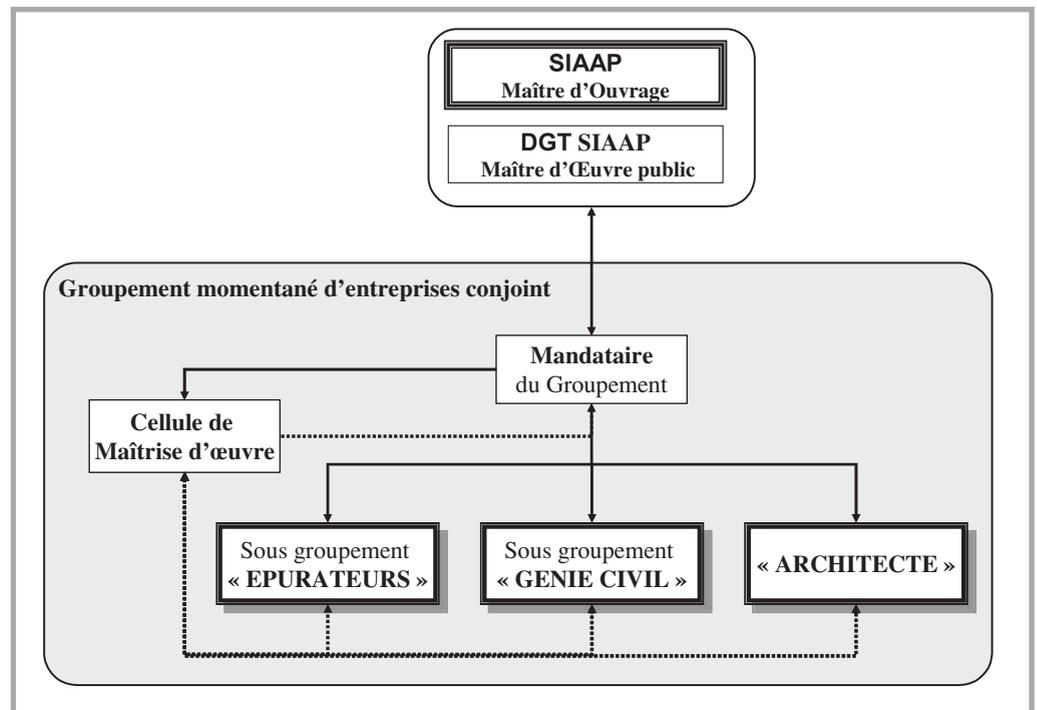


Figure 1
Organisation fonctionnelle
du groupement
*Functional organisation
of the consortium*

trise d'œuvre "administrative" (suivi des dossiers administratifs : PC, autorisation d'exploiter, autorisation de rejet ; établissement des ordres de service ; vérification des décomptes mensuels...) et une part de la maîtrise d'œuvre "technique" (examen de la conformité au marché ; Visa...) :

- ◆ la cellule de maîtrise d'œuvre s'assure également de la conformité au marché des études et de la réalisation, assure l'OPC et la synthèse, participe (sous l'égide du maître d'œuvre public) à la direction de l'exécution des travaux (DET), assiste le maître d'œuvre public lors des constats d'achèvement de travaux et des opérations préalables à la réception...

- ◆ l'architecte est chargé de suivre plus particulièrement les travaux de "bâtiment", suivant cet aspect du chantier (études, travaux) en contrôlant notamment la conformité au PC.

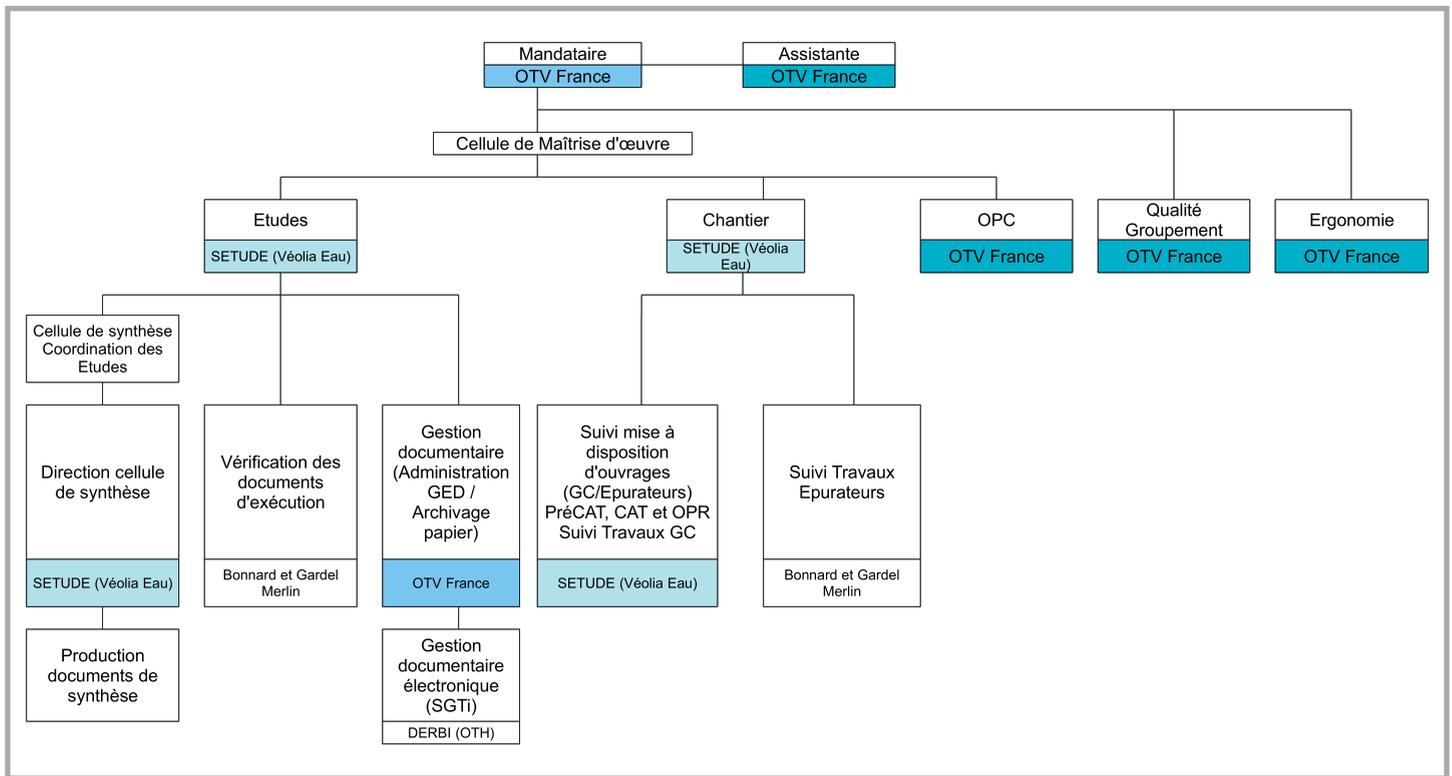
Bien que complexe au plan contractuel, cette répartition des rôles de maîtrise d'œuvre entre trois entités a fait l'objet d'une traduction opérationnelle assurant une efficacité maximale des moyens mis à disposition par chaque partie.

Tout en conservant à chacun ses prérogatives contractuelles, les trois composantes de la maîtrise d'œuvre du projet (auxquelles on pourrait rajouter le bureau de contrôle) se sont coordonnées, et ajustées en permanence, de façon à démultiplier les énergies, évitant autant que possible les redondances.

L'intérêt général du projet a ainsi, en permanence, guidé la coordination entre ces trois maîtres d'œuvre, au-delà des éventuels intérêts particuliers de cha-

Figure 2
Organisation
du mandataire
et de la cellule
de maîtrise d'œuvre

Organisation
of the leader
and the project
management unit



cun, au-delà du clivage maîtrise d'œuvre publique-
maîtrise d'œuvre privée.

A titre d'exemple, les contrôles de la conformité de
la réalisation n'ont généralement été effectués que
par l'un des maîtres d'œuvre, les deux autres bé-
néficiant des constats effectués.

La taille du projet dans le délai imparti, et le volume
des actions à réaliser pour le mener à bien, ont éga-
lement incité la maîtrise d'œuvre à anticiper au maxi-
mum ses interventions.

Par exemple, les actions à réaliser, liées à la ré-
ception du marché, ont fait l'objet de réflexions dès
la phase études.

Grâce à la participation active des entreprises compre-
nant l'intérêt de la démarche, un processus d'ac-
ceptation progressif des ouvrages – ne se substituant
toutefois pas au processus du contrat, mais le pré-
parant – a été mis en place.

Très rapidement, les ouvrages devenant inacces-
sibles du fait de l'avancement du chantier (ex. : bio-
filtres) ont fait l'objet de PréCAT (préconstats
d'achèvement de travaux).

Plus globalement, il a été décidé, pour chaque zone
du projet (une vingtaine en tout), de préparer son
CAT (constat d'achèvement de travaux) par un pro-
cessus en trois temps, cohérent avec le planning
du projet, chaque étape préparant la suivante :

- ◆ dans un premier temps, après réalisation de
constats internes au groupement, établissement
de PréCAT. A ce moment-là, une majorité des tra-
vaux est terminée ;

- ◆ dans un deuxième temps, la maîtrise d'œuvre di-
ligente des OPCAT (opérations préalables aux CAT),
après réalisation de la quasi-totalité des travaux ;

- ◆ enfin, dans un troisième temps, établissement
des CAT permettant la mise en route du process.

Ce processus qui animera les six derniers mois des
travaux a pour objectif de limiter la quantité de re-
marques émises lors des CAT, en permettant aux

entreprises d'anticiper le niveau attendu de finition
des ouvrages.

■ ORGANISATION DU MANDATAIRE ET DE LA CELLULE DE MAÎTRISE D'ŒUVRE (figure 2)

Pour répondre, tant aux besoins du marché, qu'aux
besoins opérationnels qui se sont fait jour lors du
déroulement du projet, OTV France a :

- ◆ déployé des compétences internes, assumant
ainsi directement le rôle de mandataire et les mis-
sions d'OPC, d'assurance qualité, d'ergonomie (voir
article spécifique), et d'administration de la gestion
documentaire ;

- ◆ fait appel à des partenaires extérieurs, bureaux
d'études réputés dans leurs domaines pour les
autres missions (coordination des études, synthèse,
vérification de la conception et des documents d'exé-
cution, direction de chantier et conformité de la réa-
lisation, gestion documentaire électronique : GED).
Tout au long du projet, c'est donc une équipe d'une
quinzaine de personnes qui a constitué la structure
mandataire/cellule de maîtrise d'œuvre, s'adaptant
en permanence aux besoins de l'instant.

Epine dorsale de tous les échanges documentaires,
l'outil de GED (SGTi) retenu par le groupement a
permis de partager, tant au sein du groupement
qu'avec le SIAAP, plus de 50 000 documents.

Cet outil, accessible via internet, a été mis en pla-
ce, et paramétré aux besoins spécifiques du projet
et de son organisation, dès le début de l'affaire.

Bien que n'ayant pas remplacé la diffusion "papier"
qui est restée le seul mode officiel, il a fiabilisé l'en-
semble des processus d'échange documentaires,
de transmission et utilisation de données, de visa
des documents, devenant très rapidement indis-
pensable au bon fonctionnement du projet.

Présentation architecturale

Vue perspective lointaine du projet
dans le paysage
*Remote perspective view
of the project in the landscape*



Vue rapprochée du projet
dans le paysage côté forêt
de Saint-Germain-en-Laye

*Close-up view of the project
in the landscape
on the Saint-Germain-en-Laye forest
side*

■ PRÉAMBULE

Dans l'histoire du développement de l'usine d'épuration Seine-Aval, le nouveau projet d'unité de nitrification par cultures fixées prend un relief particulier tant par son implantation à l'entrée du site de l'usine de traitement des eaux, dans un paysage naturel remarquable, que par la spécificité de sa fonction : il appartient à cette nouvelle génération d'usines dont l'identité a changé du fait d'une plus grande compacité et technicité du process technique, de la maîtrise des risques de nuisances auditives et olfactives, d'une intégration réfléchie dans le grand paysage.

Tout le travail architectural sur le projet a été effectué dans la logique d'une requalification progressive de l'image du site Seine Aval, et au-delà, avec le souci de donner, par l'architecture des ouvrages eux-mêmes, une représentation positive de l'activité d'assainissement, une valorisation de la lutte contre la pollution, d'une technologie avancée mise au service de l'environnement, de la préciosité de l'eau.

La conception architecturale d'une telle usine est

totallement indissociable des études de process et de génie civil : le projet est ainsi le fruit d'un travail effectué en amont par une équipe pluridisciplinaire intégrant des compétences techniques multiples, regroupant ingénieurs et architectes dans une même dynamique de conception.

Quatre objectifs majeurs ont présidé à son élaboration :

- ◆ la recherche d'une forte cohérence entre la logique fonctionnelle du process, l'optimisation du génie civil et l'expression architecturale du projet ;
- ◆ une insertion maîtrisée dans l'environnement en faveur de l'unité paysagère de l'ensemble du site, développant le concept d'une usine intégrée dans un parc ;
- ◆ une organisation fonctionnelle simple et rigoureuse, permettant des conditions d'exploitation de qualité, et l'intégration des différentes entités dans une logique homogène ;
- ◆ un traitement architectural des bâtiments sobre, avec l'emploi de matériaux nobles et pérennes, qui affirme le projet comme un équipement public de qualité.

■ PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONCEPTION ARCHITECTURALE

Le présent projet a été conçu dans la recherche d'une cohérence vraie entre les dimensions paysagères, techniques et architecturales que suppose une usine de cette ampleur ; une multiplicité de contraintes techniques de tous ordres est à prendre en compte : servitudes d'urbanisme,

du projet



Plan de masse du projet
avec ses aménagements
paysagers

*Layout plan of the project
with its landscaping*

contraintes hydrauliques et géotechniques, spécificités liées au process retenu, contraintes de génie civil, de structure, de chantier, de sécurité, de maintenance et d'exploitation, nécessité d'optimisation financière de l'ensemble...

Le travail de l'architecte consiste en une recherche de synthèse de ces différentes données dans le souci de concilier une logique de quantité, de grande échelle avec le souci d'une qualité, d'une humanisation et d'une lisibilité des espaces; il intègre les finalités suivantes :

- ◆ la recherche d'une lisibilité de la mise en espace des canaux et des liaisons hydrauliques, et des différentes fonctions de l'usine en résonance avec le paysage naturel environnant;

- ◆ la volonté de dégager une certaine forme de simplicité et d'évidence dans le dessin de la volumétrie de l'usine au profit d'une qualité et d'une force dans les effets architecturaux produits; la grande dimension de l'usine, les effets d'allongement, de répétition, induits par le rythme régulier des ouvrages et des équipements favorisent en effet l'expression d'un ordonnancement unitaire à l'échelle du paysage;

- ◆ la recherche d'un traitement de qualité des espaces de circulation et d'exploitation : facilité de repérage, présence de lumière naturelle, lisibilité des espaces intérieurs, intégration des contraintes ergonomiques d'accès et de manutention...;

- ◆ l'organisation par l'architecture même, d'un circuit de visite qui traverse l'usine, en donnant à voir la logique du process, et au-delà, en permettant une communication plus générale sur de grands thèmes environnementaux dont le SIAAP, maître d'ouvrage, est porteur.

Le projet architectural porte ainsi autant sur les modalités d'organisation spatiale des différentes fonctions du process que sur l'expression plastique des

volumétries qui en résultent, dans le souci d'une certaine mise en scène du lent mouvement des eaux, du processus de leur traitement et de leur retour au milieu naturel.

■ L'ORGANISATION FONCTIONNELLE DU PROJET

Implantation et principes d'organisation spatiale du projet

L'unité de nitrification s'organise en un ensemble compact composé de deux entités distinctes :

- ◆ les six ensembles de biofiltres nitrifiants regroupés dans un volume unitaire au nord, côté Seine;
- ◆ le bâtiment technique au sud, qui abrite les différents locaux fonctionnels et les flottateurs ainsi que les locaux d'exploitation et de maintenance de l'usine.

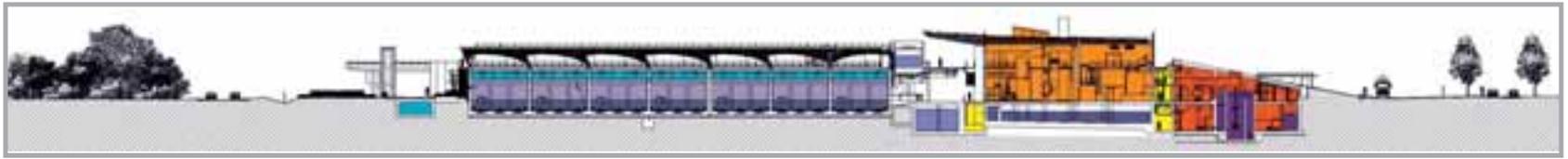
Les ouvrages de dénitrification ainsi que le local turbines trouvent place à l'est.

L'implantation permet de dégager, au pourtour des ouvrages, des espaces paysagers, notamment le long des routes; à l'est, se dégage un parvis d'entrée pour l'ensemble de la station.

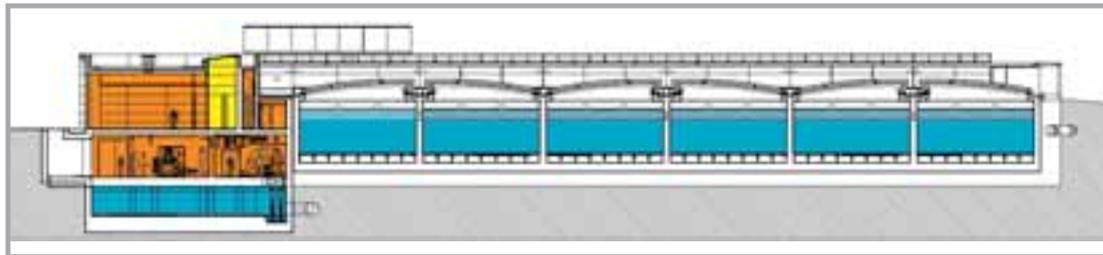
Organisation fonctionnelle des ouvrages

Le canal d'amenée des effluents à traiter est implanté à l'interface du bâtiment technique et des ensembles de biofiltres nitrifiants : il dessert, par six installations de pompages, les canaux d'alimentation des bassins, l'ensemble du traitement étant ensuite effectué gravitairement.

Les eaux traitées rejoignent, par l'intermédiaire de déversoirs implantés en façade nord, le canal de



Unité de nitrification (Biostyr®). Coupe sur bassins, bâtiment technique et flottateurs
Nitrification unit (Biostyr®). Cross section of basins, process building and flotation units



Unité de dénitrification (Biofor®). Coupe sur bâtiment technique et bassins
Denitrification unit (Biofor®). Cross section of process building and basins

Vue depuis la rue centrale
View from the central street



► sortie qui alimente le cas échéant l'ensemble des biofiltres de dénitrification, le poste de turbines, le poste de comptage, avant le rejet en Seine. Le bâtiment technique intègre en infrastructure les bâches d'eaux sales des biofiltres nitrifiants qui alimentent les flottateurs implantés au sud du bâtiment technique. Il regroupe en superstructure, sur deux niveaux, les différents locaux afférents au fonctionnement du process : surpresseurs d'air, transformateurs et salles électriques, bâches de stockage du matériel, mais aussi les ouvrages de centrifugation, les installations de ventilation et de désodorisation, les diverses utilités. Il comprend aussi, les locaux d'exploitation et de maintenance, organisés en deux ensembles distincts : les espaces d'accueil des visiteurs, les bureaux, salle de commande et laboratoire d'une part, les ateliers, magasins et locaux de stockage, les bureaux et salle de supervision d'autre part. Chaque

ensemble possède des sanitaires et vestiaires adaptés à l'effectif du personnel.

Les ouvrages de dénitrification forment un ensemble compact partiellement enterré, organisé perpendiculairement à la façade orientée Est des biofiltres nitrifiants.

Les trois niveaux de référence

Trois niveaux de référence sont nettement différenciés sur l'ensemble du projet ; ils permettent de distinguer la circulation lourde de maintenance et d'entretien, la circulation "propre" du personnel et des visiteurs, et la circulation technique des réseaux en infrastructure, afin d'assurer une exploitation de l'usine efficace et sécurisée tout en favorisant un repérage rapide dans l'espace :

◆ **le niveau intermédiaire** (RdC), calé sur le niveau des abords ; c'est le niveau de circulation des véhicules d'exploitation et de maintenance : il permet la desserte de plain-pied du niveau bas de l'ensemble des locaux techniques et des ouvrages, pour les livraisons, le dépotage, l'entretien des différents équipements. Il assure aussi l'accès à des engins de levage pour les opérations de maintenance lourde ;

◆ **le niveau haut** (l'étage), qui correspond au niveau d'acrotère des bassins de biofiltres : il assure la desserte directe, pour le personnel, du niveau haut des différents locaux techniques et des passerelles d'accès aux bassins ; il permet, en outre, l'aménagement d'un circuit de visite, indépendant des zones à risques de l'usine, en dégagant une découverte panoramique de l'ensemble des ouvrages ;

◆ **le niveau bas** (sous-sol) ; en complément de la rue couverte et de la cour de service, un réseau de galeries techniques irrigue l'intérieur du bâtiment principal : elles reprennent un niveau inférieur qui permet la circulation aisée de l'ensemble des fluides et réseaux techniques.

La rue centrale et la cour de service

L'espace compris entre le bâtiment technique et l'ensemble des bassins est organisé comme une rue couverte qui, sur la longueur de l'usine, forme l'espace de référence, véritable épine dorsale de l'ensemble du projet ; ce lieu symbolique, ouvert sur le ciel, surplombe le canal d'amenée des effluents :

◆ au niveau bas, il dessert directement les six galeries techniques des ensembles des bassins nitrifiants et les différents locaux du bâtiment principal.

Son large dimensionnement permet d'assurer une circulation de véhicules, une circulation sécurisée pour les piétons, et la création d'aires de stationnement pour les véhicules de service et d'exploitation.

Il est recoupé par une cour de service semi-couverte sur laquelle s'ouvrent les espaces d'ateliers, de magasins et de stockage, ainsi que l'aire de dépotage des réactifs et de livraison des polymères. Cette cour permet la giration, le stationnement des véhicules de service en toute discrétion par rapport à l'environnement.

Dans le prolongement de la cour de service, une circulation transversale est aménagée entre les bassins pour permettre un accès aisé vers le nord du terrain et interrompre l'effet de masse des bassins ;

- ◆ au niveau haut, une passerelle linéaire couverte par un auvent assure la communication directe des différents locaux techniques, des passerelles d'exploitation des bassins avec les bureaux et les locaux du personnel. Elle est recoupée perpendiculairement par une passerelle transversale qui s'oriente, entre les bassins, vers les aménagements paysagers et la Seine.

■ LA STRUCTURE ET LA COUVERTURE DES BÂTIMENTS ET DES OUVRAGES

La structure et la couverture du bâtiment technique

A la répartition fonctionnelle des différentes entités du projet, répond une trame structurelle rigoureuse, prenant en compte le principe d'une logique constructive simple et répétitive : cette trame reprend, pour l'ossature du bâtiment technique, le rythme des six ensembles de biofiltres, selon un ordonnancement régulier de poteaux porteurs en béton ; chaque galerie technique transversale correspond, dans l'axe du joint de rupture des bassins, à une demi-trame qui intègre un joint de dilatation.

Une série de fermes en bois lamellé-collé forme la charpente de la couverture du bâtiment, sans point d'appui intermédiaire en partie courante, pour éviter de contraindre l'aménagement des locaux techniques ; elles reprennent, en console au nord, l'auvent qui couvre la rue centrale. La couverture est traitée par un panneau bois isolant, recouvert d'une membrane PVC pour le corps de bâtiment, et d'un bac aluminium laqué pour l'auvent.

En fonction des besoins liés aux contraintes de sécurité incendie, d'isolation phonique et thermique, ou de portance des équipements, cette couverture légère est doublée par des voiles et une dalle en béton.



Verrière sur l'auvent de la rue centrale

Flat skylight on the canopy of the central street



Conduits de rejet d'air des turbocompresseurs

Turbocompressor air discharge ducts

Des trémies ponctuelles sont ménagées dans la couverture pour répondre à la fois aux nécessités fonctionnelles (désenfumage) et de qualité d'ambiance des espaces intérieurs, favorisant notamment l'amenée de lumière naturelle.

Au droit de chaque galerie technique transversale, la couverture, traitée en béton, est décaissée de façon à permettre, en toute discrétion, des prises et rejets d'air directs, pour les besoins du process et la ventilation des locaux.

La passerelle de la rue centrale est constituée de prédalles en béton désactivé, reprises par une ossature mixte béton/acier inox, sur les poteaux du bâtiment technique d'une part et sur un portique voile longitudinal d'autre part.

La couverture des flottateurs et des locaux techniques attenants est assurée par une dalle béton inclinée, supportant une toiture-terrasse végétali-



Salle de désodorisation
Deodorising room

Vue de la charpente
métallique support
des couvertures
des bassins nitrifiants

View of the steel
structure supporting
the nitrification basin
covers



Vue générale de la couverture des bassins de biofiltres
nitrifiants

General view of the cover of the nitrifying biological filter
basins



sée, d'où émergent les portions de cylindres en ossature inox et couverture composite démontable, qui recouvre le volume des flottateurs : l'accès à l'équipement du flottateur est ainsi permis par le biais d'une grue postée sur la route de service qui longe le bâtiment sud.

La genèse de la charpente bois lamellé collé

D'une longueur totale de 40 m, dont 10 m de porte-à-faux et une portée entre appui de 30 m, ces fermes étaient l'objet d'un cahier des charges très contraignant. Leur hauteur hors tout ne devait pas dépasser 1,40 m. L'arase supérieure, contrainte par le gabarit hors tout du bâtiment, imposé par le règlement de consultation au titre de l'intégration environnementale, l'arase inférieure, contrainte par le volume hors tout de certains équipements devant prendre place en dessous. Le choix constructif, après diverses modélisations aux éléments finis, s'est porté sur un système de bipoutre d'une section courante hors tout de 50 x 120 cm, composé de deux poutres d'épaisseur 160 mm et un vide de 180 mm. Certaines fermes plus fortement sollicitées de par leur situation en extérieur, ont reçu en renfort, une âme pleine de 180 mm en lieu et place du vide.

La couverture des bassins de biofiltres nitrifiants

Principe de conception

La couverture des bassins a fait l'objet d'une étude tout à fait spécifique qui a pris en compte la particularité du cahier des charges imposé par les contraintes liées au process :

- ◆ couvrir les ouvrages, afin de créer une pénombre qui empêche le développement d'algues à la surface de l'eau ;
- ◆ permettre une ventilation naturelle importante au-dessus de la surface de l'eau, sans qu'il n'y ait toutefois la nécessité de désodoriser l'air ; cette ventilation a pour objet l'évacuation naturelle de l'air process, le renouvellement de l'air ambiant, mais aussi la limitation des phénomènes de condensation en sous-face de couverture ;
- ◆ favoriser une perception la plus globale possible de l'ensemble des bassins, pour faciliter un contrôle de l'exploitant rapide et sécurisé ;
- ◆ conférer à l'ensemble du projet une identité positive en harmonie avec le paysage environnant, allégeant l'effet de masse procuré par le volume des bassins eux-mêmes et par la hauteur des canaux d'alimentation.

La couverture des bassins consiste en une superstructure métallique, de hauteur légèrement in-

férieure à celle des canaux d'alimentation des bassins, afin d'intégrer l'ensemble dans un volume unitaire à l'échelle du site.

Cette superstructure, constituée d'une ossature en acier inoxydable, reprend la trame des bassins, et trouve appui sur le rythme régulier de leurs voiles séparatifs.

Chaque bassin se trouve couvert par une double surface gauche en toile tendue opaque et bicolore : gris clair nacré à l'extérieur, afin d'éviter toute chauffe intempestive ; bleu à l'intérieur, pour contribuer à créer une ambiance sombre dans le volume des bassins.

La répétition de ces différents éléments procure un effet sculptural à cette couverture, en ménageant de vastes ouvertures triangulaires sur leurs tympans, des sortes d'"ouïes" permettant à l'air de circuler librement.

Compte tenu de l'organisation du projet dans le site, l'orientation nord de ces ouvertures empêche tout apport d'ensoleillement direct qui serait préjudiciable pour les conditions de pénombre nécessaire sur les bassins.

La disposition volumétrique envisagée permet une circulation à couvert pour l'exploitant, tout en dégageant une vue sur la longueur des bassins.

Les tympans des "ouïes" et des façades de rive, sont traités en toile tissée tendue, permettant le passage de l'air, une filtration de l'entrée de la lumière, tout en préservant une certaine translucidité laissant percevoir les sous-faces des éléments de couverture.

Dans la perception tant lointaine que proche, l'effet de légèreté des toiles et la sensation de transparence contribuent à donner au projet une identité à la fois discrète et positive, en contrepoint de l'opacité des volumes des bassins.

Cette référence à la tente, au campement, renvoie à la présence d'une eau nomade, en permanent mouvement durant son traitement.

La genèse de la couverture mixte des bassins nitrifiants

L'expression de la charpente métallique (support des couvertures en toiles), a fait l'objet d'une définition tout à fait inhabituelle pour ce type d'ouvrage.

Sur la base d'une charpente de type industriel, étudiée avec le bureau d'études Arcora, et répétée 84 fois, il a été développé, en partenariat avec l'entreprise Eiffel, une écriture des détails, platines d'appui, dessin et assemblage des tubes de laçage périphérique, études des contreventements et porte d'accès, qui donne à lire une qualité de dessin et de réalisation relevant du vocabulaire de la serrurerie, tout en restant dans le cadre du savoir-faire et du marché d'un ouvrage de charpente métallique. Le dessin de cette charpente est la résultante du dessin et de la forme retenus pour les couvertures en toile tendue. Ces toiles, de type membrane compo-



Vue de la charpente métallique support des couvertures des bassins nitrifiants
View of the steel structure supporting the nitrification basin covers



Détail de la couverture en membrane composite au droit des tympans

Detail of the composite diaphragm cover at the level of the spandrels

site précontraint, produit développé par Ferrari, ont été modélisées, dessinées, façonnées, assemblées, afin de correspondre le plus fidèlement possible à l'expression de la légèreté et l'idée de lévitation que souhaitait l'architecte. La section et l'orientation des lés, la largeur des soudures, la définition des sandows et drisses de laçage, ont fait l'objet d'une mise au point détaillée avec l'entreprise Esmerly Caron, en charge de la fabrication et de la pose de ces toiles.

La couverture des ouvrages de dénitrification

La couverture des bassins eux-mêmes est intégrée dans un talus planté qui en traite le pourtour : l'ensemble des bassins assure ainsi une transition volumétrique de l'unité de nitrification vers l'entrée du site.

Le volume des biofiltres est traité en couverture rapprochée : coques composites en résine armée et *gelcoat* gris clair, dont certains éléments couliissants, permettent de percevoir globalement la surface de chaque bassin.

Les verrières linéaires éclairant la galerie technique

Panneau béton
matricé
des bassins dénitrifiants

*Matrix concrete panel
of the denitrification
basins*



Vue rapprochée du projet dans le paysage côté Seine

Close-up view of the project in the landscape on the Seine side



Vue des bassins nitrifiants

View of the nitrification basins

basse, réduisent l'impact des façades longitudinales du canal d'amenée, traitées en béton préfabriqué matricé à partir de tiges de bambous.

Des corniches préfabriquées en béton poli finissent le couronnement de l'ensemble.

La couverture des locaux techniques et des canaux, dont l'impact lointain reste sensible, est traitée en terrasses végétalisées, dans lesquelles des cheminements d'accès pour l'exploitant sont aménagés en dalles béton désactivé.

LE TRAITEMENT ARCHITECTURAL DES FAÇADES DU PROJET

A la simplicité et à la compacité volumétrique du projet, répond la volonté affirmée d'une qualité et d'un raffinement dans le détail du traitement architectural du projet : emploi de matériaux pérennes, mise en œuvre éprouvée, prise en compte des problèmes de vieillissement, de corrosion, d'entretien. Chaque façade du projet possède ainsi son identité spécifique en relation avec l'espace auquel elle fait face, selon un jeu d'effets sobres à partir de matières contrastées, exprimant la réalité des fonctions.

La façade des bassins nitrifiants au nord

Elle se compose linéairement, dans un rapport de frontalité direct avec un espace paysager, dont elle forme, en retrait derrière des groupes d'arbres, la limite. Elle est perçue en perspective depuis la route qui la longe.

Elle est scandée par les volumes parallélépipédiques incurvés des déversoirs d'eaux traitées, qui présentent face à la Seine, le fruit, en quelque sorte, de l'activité de l'usine.

Le soubassement en béton formé par le volume émergeant des bassins est couronné par la courbe de circulation en console. Il s'interrompt au droit des déversoirs, sur des façades vitrées donnant accès aux galeries techniques des biofiltres. L'effet de masse du béton est valorisé par deux interventions particulières :

- ◆ le traitement des volumes des déversoirs en panneaux de béton poli bleu clair, colorés dans la masse ;

- ◆ la mise en place de panneaux de béton préfabriqués matricés en façades : une expression plastique en bas-relief moulé dans le béton évoque le traitement et le mouvement de l'eau à l'intérieur des bassins ; le bas-relief répétitif a été réalisé par Jean-Paul Philippe, artiste-sculpteur.

La plantation en premier plan, légèrement décollée de la façade, d'alignements de bambous, forme une assise végétale mouvante; les lignes des bambous, mobiles sous l'effet du vent assurent ainsi l'évocation de la filtration, d'une certaine fragilité aussi de l'élément végétal au-devant de l'infrastructure minérale.

Les tympans légèrement inclinés des superstructures de couverture des bassins, forment un couronnement dont la translucidité contraste avec l'opacité du béton.

La genèse des panneaux de façade en béton préfabriqué

A l'origine du projet, sont prévus des panneaux de béton préfabriqué, avec l'incorporation au coulage d'une matrice à motifs en relief.

En partenariat avec le groupement génie civil, il est décidé de faire intervenir pour la définition des motifs, Jean-Paul Philippe, qui développe alors un projet artistique et pédagogique, visant à faire lire de façon allusive l'image du procédé de traitement de l'effluent.

Après plusieurs dessins préparatoires et la fabrication d'échantillons, un prototype de type positif et réalisé en plâtre. A l'appui de celui-ci, un contre-moule, toujours en plâtre, sert à la réalisation du premier panneau béton préfabriqué. Discussion et mise au point entre l'architecte, le maître d'ouvrage et le sculpteur, Jean-Paul Philippe réalise alors le contre-moule définitif, 6 m x 1,50 m en plâtre, dans un temps imparti très court lié à la durée de prise du plâtre (en 4 heures). Sur la base de cette réalisation est alors réalisée par la société Rékli, la matrice originale en élastomère qui servira de base à la duplication afin d'obtenir le nombre de matrices requises, dans le cadre du planning de réalisation du chantier.

La façade du bâtiment technique au sud

Elle s'établit dans un rapport direct avec la route centrale du site Seine-Aval, mais aussi avec l'espace agricole qui se prolonge au sud jusqu'à la limite de la forêt. Elle revêt à ces deux titres une importance particulière.

Elle est composée de deux entités nettement distinctes :

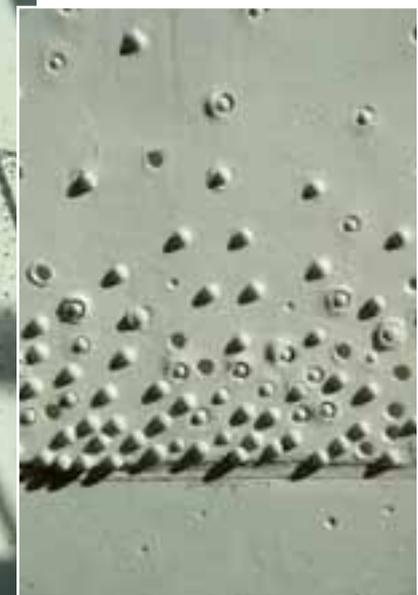
- ◆ un grand soubassement végétal, qui forme un talus engazonné; il semble prolonger le mouvement du paysage jusque dans l'usine même. En émergent uniquement les volumes vitrés des cylindres tronqués qui éclairent les vastes salles de flottateurs : l'image très marquée des cylindres en béton des flottateurs, caractéristiques d'une perception souvent négative des stations d'épuration, est ainsi inversée au profit d'une transparence qui joue en contrepoint de l'espace du talus;
- ◆ la façade verticale du bâtiment technique : elle



Panneaux de béton poli bleu clair des déversoirs
Light blue polished concrete panels of the weirs



Panneau béton matricé des bassins nitrifiants
Matrix concrete panel of the nitrification basins



Détail de l'intervention artistique de Jean-Paul Philippe
Detail of the artistic work by Jean-Paul Philippe

forme une longue ligne de verre qui semble émerger derrière le talus.

Elle est composée d'éléments verriers fixes, de largeurs variables, qui possèdent trois degrés de transparence différenciés : transparence totale, sérigraphie peu dense, sérigraphie dense : le jeu de l'alternance des largeurs d'éléments et des finitions de surface, provoque, à partir d'un principe simple, un effet de complexité et de variations de matière multiples; sous l'action du soleil, il donne, en contraste avec le talus engazonné en avant-plan, un caract-



Vue de la façade sud, avec en premier plan les cylindres vitrés des flottateurs

View of the southern facade, with in the foreground the glazed cylinders of the flotation units



Vue de la façade vitrée et sérigraphiée du bâtiment technique

View of the glazed and silk-screened facade of the process building



Détail de l'intervention sérigraphiée
Detail of the screen-printing work

▶
tère tout à fait intéressant à la façade, évocateur d'un rapport du propre : le transparent, avec le sale : le translucide.

Sur la longueur de l'ensemble, une interruption unique marque l'entrée de la cour de service, et redonne ainsi un élément d'échelle à l'ensemble relativement abstrait qui forme cette façade ; ainsi que cela a été précisé ci-avant, aucune émergence technique, aucun accès spécifique ne perturbe cette expression d'une maîtrise pleine et entière du traitement de l'eau dans l'usine.

La genèse de la façade vitrée

La façade sud a fait l'objet d'un travail spécifique sur la finition des verres. A partir d'un système de type VEC, il a été retenu trois formats de verre de largeur 40, 60 et 90 cm, répartis de façon aléatoire sur les 250 ml de son déroulé.

Avec la participation de Guillaume Saalburg, concepteur verre, ont été développées, après la réalisation de plusieurs échantillons et prototypes grandeur, trois sérigraphies à base de céramique, adaptées chacune, aux trois formats de verre.

Ces sérigraphies consistent en la juxtaposition de bandes verticales de trois degrés de translucidité, séparées chacune par des interstices transparents.



Vue perspective de la façade sud et du hall d'entrée

Perspective view of the southern facade and the entrance hall



Vue perspective de la façade nord depuis les aménagements paysagers côté Seine

Perspective view of the northern facade from the landscaping on the Seine side

Afin d'accentuer l'effet d'ondulation et de frémissement, les rives de ces bandes sont découpées non pas de manière rectiligne, mais de façon écorchée, proche d'une découpe manuelle à l'aide de ciseaux.

Au rythme de l'ensoleillement et des nuages, des transparences sur les locaux ou espaces extérieurs des cours de service, cette façade se perçoit tantôt sombre, tantôt lumineuse et miroitante, tantôt bleue, tantôt verte, autant de perceptions qui semblent la fondre dans son environnement en perpétuel changement.

Les façades est et ouest

La façade à l'Est forme la façade perceptible depuis l'entrée des visiteurs ; elle évoque, telle une coupe, l'organisation générale du projet :

- ◆ les bassins de biofiltres nitrifiants, dont le traitement de la façade nord se retourne selon des principes identiques : soubassement de panneaux en béton matricé, corniche formée par la coursive haute en béton préfabriqué poli, façade des superstructures en toile tissée de teinte gris métallisé ;
- ◆ la rue couverte au centre, qui révèle en perspective toute la profondeur du projet, avec notamment la présence des postes de pompage ;

- ◆ l'élévation latérale du bâtiment technique : la façade se retourne horizontalement, et forme comme un cadre ouvert vers la Seine, prolongé par le porte-à-faux de l'auvent qui abrite la rue centrale ; cet effet directionnel qui forme un porche d'entrée, est appuyé par le tympan triangulaire du talus de la façade sud. Elle est traitée, en contraste avec le volume des bassins de biofiltres, comme une façade-rideau entièrement vitrée, qui laisse percevoir l'intervention artistique et l'espace intérieur du hall d'entrée, ouvert sur toute la hauteur du bâtiment.

Intervention artistique

Cette façade est évocatrice de l'activité dans l'ensemble du bâtiment ; face au rond-point et à l'entrée principale, elle revêt une importance particulière ; une intervention artistique, réalisée par le sculpteur Jean-Paul Philippe, évoquant le cycle de l'azote dans les différents états, est intégrée dans le tympan que forme le mur intérieur du hall d'entrée.

La façade Ouest du projet est traitée de façon similaire, hormis pour ce qui concerne l'élévation latérale du bâtiment principal n'abritant que des locaux techniques fermés. L'auvent permet d'abriter discrètement le stationnement de véhicules de service.

Vue
depuis le parcours
de visite

View
from the visitors' path



► ■ LE PARCOURS DE VISITE

Principe architectural d'organisation des visites

Toute l'architecture de l'usine est organisée en cohérence avec les principes mêmes du process de traitement des eaux et des fonctions qui lui sont associées ; le principe de distinction d'une circulation haute, surplombant l'ensemble des ouvrages permet une découverte panoramique sécurisée de l'ensemble de l'usine, en toute indépendance par rapport à la circulation des engins lourds et de livraisons au niveau bas.

Aussi, l'aménagement d'un parcours de visite peut-il s'inscrire presque naturellement au cœur de l'usine, donnant à percevoir et à voir toute la réalité du cheminement de l'eau, de la fonctionnalité des équipements, et de l'intérêt environnemental du projet.

Le circuit de visite s'organise linéairement, selon le sens d'arrivée et de circulation des effluents, profitant d'une découverte progressive des espaces principaux :

- ◆ après l'arrivée extérieure sur le parvis, les groupes de visiteurs sont accueillis dans le hall d'entrée près de la salle multimédia, aménagée pour une présentation audiovisuelle de l'usine et de son exploitation ;
- ◆ ils peuvent accéder au niveau intermédiaire, sur une mezzanine surplombant la salle multimédia : ils découvrent là, une maquette de l'usine à grande échelle, et deux maquettes détaillées illustrant le process ;
- ◆ ils accèdent ensuite au niveau supérieur de la

rue centrale, qui se donne à voir dans toute sa longueur, et permet de plain-pied et dans une continuité logique, de découvrir progressivement :

- le volume des têtes des postes de pompage et le principe des canaux d'alimentation des bassins,
 - l'ensemble des bassins de biofiltres nitrifiants dans leur fonctionnement, avec une perception directe de l'eau, avec un accès sous la couverture des bassins et la perception du mouvement de l'eau, de la logique de son traitement,
 - les locaux techniques, en vis-à-vis, qui complètent le fonctionnement des biofiltres : surpresseurs, transformateurs et salles électriques...
 - les locaux de centrifugation, et le traitement des boues,
 - la salle de désodorisation, et le traitement de l'air,
 - la cour de service centrale, avec ses ateliers, ses aires de livraisons, et la vie des techniciens et de l'exploitant sur le site,
 - un complément d'information est rendu possible pour des visiteurs plus informés ou spécialisés : une salle est réservée pour la présentation de pilotes figurant le fonctionnement détaillé des process en mouvement dans l'usine,
 - les groupes de visiteurs empruntent ensuite la passerelle transversale qui s'implante entre les superstructures des bassins et se projette en belvédère au-dessus des aménagements paysagers vers la Seine : cette promenade transversale donne à voir toute la longueur des bassins.
- Depuis le porte-à-faux de la passerelle au nord, se perçoit le paysage environnant, la façade des bassins, avec les déversoirs des eaux traitées, le principe de collecte des eaux, et au loin le poste de turbines et les bassins dénitrifiants.

La visite se poursuit à l'intérieur du bâtiment technique des bassins dénitrifiants. Les visiteurs descendent au niveau bas afin de découvrir la grande galerie technique, et l'ensemble de ses équipements et process, valorisés par une mise en lumière spécifique.

L'ensemble du circuit de visite est sécurisé en matière d'accès et de sorties de secours, de garde-corps, d'éclairage, etc.

Une accessibilité aux personnes handicapées est aménagée sur tout le parcours, l'organisation complètement horizontale simplifiant évidemment le déplacement des personnes.

Le projet scénographique du parcours de visite

En complément de la découverte architecturale et technique de l'usine, sont prévus un projet scénographique, une intervention signalétique, dont le rôle est à la fois de fournir des informations aux visiteurs mais aussi des repères à l'exploitant et aux personnels extérieurs susceptibles d'intervenir dans l'usine. La conception de ce projet a été élaborée par Brigitte Bouillot et Benoît Millot, scénographes. Le projet scénographique propose, sur la base des différentes étapes du circuit de visite, une intervention sous forme d'événements lumineux et sonores qui ponctuent dans l'espace chaque étape de traitement : des projections directes d'images, de films accompagnés de commentaires sur les volumes du projet se succèdent en présentant à la fois les différents niveaux de traitement de l'usine elle-même mais aussi des thèmes plus généraux sur l'environnement que le maître d'ouvrage souhaite développer dans le cadre de sa politique de communication. Ce principe de scénographie permet aisément une évolution dans le temps du contenu des messages transmis.

ABSTRACT

Architectural overview of the project

L. Weizmann, X. Constant

In keeping with the history of the Seine Aval site, the new attached growth nitrification unit was given special architectural and landscaping treatment, with a view to achieving coherence of all the technical constraints to be taken into account for a plant on this scale. The work of the Architect, in close cooperation with the engineering teams, involved reviewing the various process and civil engineering data, with a concern for architectural quality and the humanisation and a certain poetic quality of functional areas and public reception areas.

The project was accordingly worked out as a public facility in its own right, integrated into the natural landscape of the Seine Valley.

RESUMEN ESPAÑOL

Presentación arquitectónica del proyecto

L. Weizmann, X. Constant

Como prosecución de la historia del emplazamiento Seine Aval, la nueva Unidad de nitrificación mediante cultivos fijados ha sido objeto de un procesamiento arquitectónico y paisajístico particular, según la búsqueda de una coherencia de todos los imperativos técnicos a tener en cuenta para una planta de semejante envergadura. El trabajo del arquitecto, en colaboración estrecha con los equipos de ingenieros, se ha referido en una síntesis de los distintos datos de proceso y de ingeniería civil, con el afán de una calidad arquitectónica, de una humanización y de una cierta poesía de los espacios funcionales y de acogida del público. Así, el proyecto se ha elaborado como si se tratase de un verdadero equipamiento público, integrado en el paisaje natural del valle del Sena.

L'unité de nitrification-

Restaurer la qualité écologique des milieux aquatiques d'ici à 2015, c'est l'impératif fixé par la réglementation européenne. Transcrite en droit français, elle impose de nouveaux défis aux professionnels de l'eau. C'est la raison pour laquelle l'unité de nitrification-dénitrication de Seine Aval devancera les normes européennes en matière de rejets d'azote dans le milieu naturel. Elle viendra compléter les installations existantes de traitement de la pollution carbonée (filrière biologique) et du phosphore (clarifloculation) par un traitement de la pollution ammoniacale (nitrification puis dénitrification partielle). Les solutions techniques retenues sont les procédés Biostyr® d'OTV et Biofor® de Degrémont.

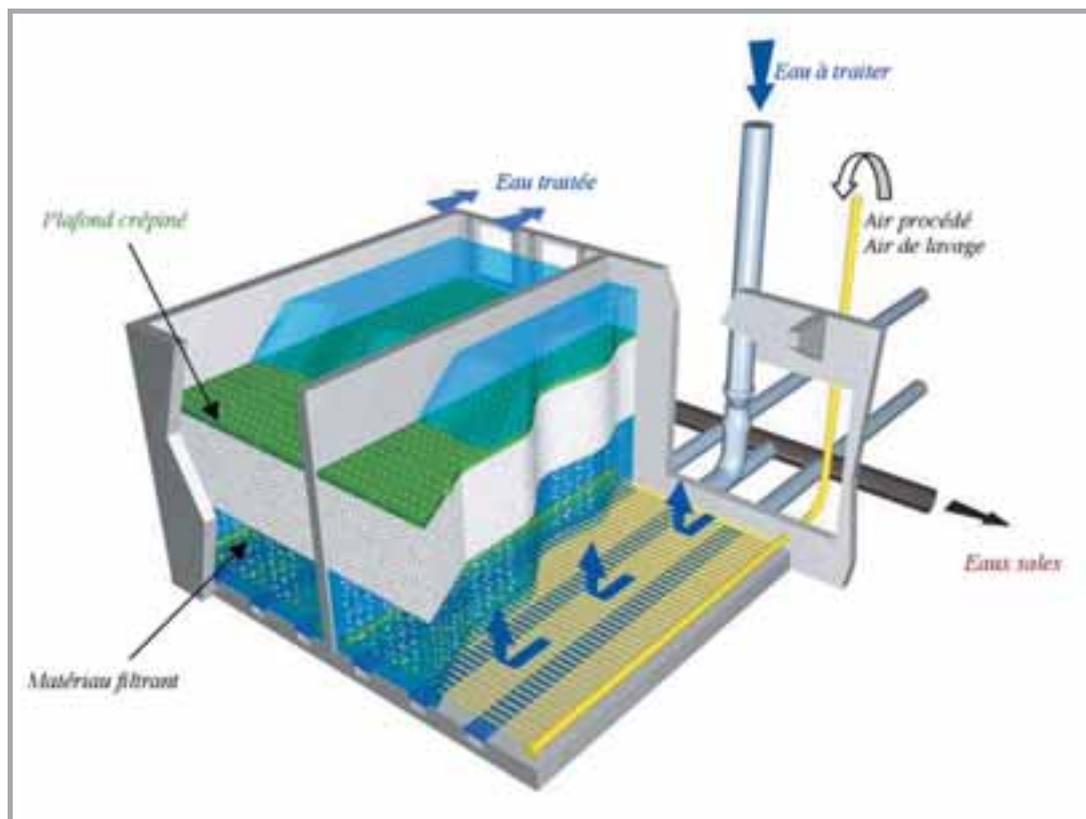


Image de synthèse d'une cellule Biostyr®

Composite image of a Biostyr® cell

L'unité de nitrification-dénitrication va permettre de restituer à la Seine une eau sans nitrate. Elle est dimensionnée pour prendre en charge un débit de :

- ◆ 24 m³/s par temps sec ;
- ◆ 45 m³/s par temps de pluie ;

◆ 52 m³/s lors de pointes exceptionnelles. Situé à l'aval de l'unité de production des eaux industrielles de Seine Aval, cet équipement comporte, en outre, un bâtiment technique long de 300 m, large de 60 m et haut de trois étages regroupant la production d'énergie, le traitement des boues, la ventilation, la désodorisation ainsi que l'exploitation et la partie administrative. L'unité de nitrification-dénitrication sera opérationnelle en 2007, et après une période de mise en route et d'observation, exploitée en régie directe.

■ DEUX PROCÉDÉS BIOLOGIQUES

Le traitement des nitrates s'appuie sur deux réactions biologiques : nitrification et dénitrification. La première consiste à transformer les ions ammonium en nitrates et la deuxième transforme les nitrates en azote gazeux, gaz inodore et inoffensif, déjà présent dans l'atmosphère.

Formule chimique simplifiée : $\text{NH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Remplissage d'un Biostyr® avec des billes de Biostyrène

Filling a Biostyr® with Biostyrene beads



dénitrification

Jean-Paul Fournier



DIRECTEUR
DU GROUPEMENT
DES ÉPURATEURS
OTV France

Arnaud Caby

ADJOINT AU DIRECTEUR
DU GROUPEMENT DES ÉPURATEURS
Degrémont



Installation de crépines
Installing filter screens



Plancher crépiné
d'une cellule Biostyr®
Filter-screened floor
of a Biostyr® cell

De nombreuses réalisations de ce type fonctionnent avec succès depuis plusieurs années dans le monde.

Pour dénitrifier 30 % des effluents : Biofor®

La dénitrification : transformation des nitrates en azote gazeux

Situés à l'aval des Biostyr®, les 11 filtres Biofor® de Degrémont recevront jusqu'à 450 000 m³/j. Les bactéries fixées sur la biolite (billes d'argile expansée) assureront la dénitrification des effluents, c'est-à-dire la transformation des nitrates en azote gazeux (N₂), un composant naturel de l'air.

Système de filtration biologique aérobie en flux d'air et d'eau ascendants, le Biofor® peut assurer le traitement biologique du carbone, de l'azote ammoniacal et des nitrates, tout en éliminant les matières en suspension des eaux résiduaires. Depuis sa mise au point en 1985, plus de 150 installations et plus de 1 000 unités Biofor® ont été installées dans le monde.

De par sa conception, le procédé Biofor® est très bien adapté à la post-dénitrification. Il peut en effet fonctionner à des vitesses élevées en filtration tout en offrant une forte capacité de rétention des boues et donc des durées de cycles compatibles avec une exploitation aisée.

L'effluent à traiter entre en continu par le bas du réacteur et traverse le matériau filtrant qui retient les matières en suspension. L'élimination de la pollution carbonée et azotée se fait par prolifération bactérienne, entraînant la formation d'une biomasse sur le matériau. Régulièrement un lavage du matériau est déclenché afin de restaurer la capacité filtrante du biofiltre et de fixer sa biomasse.

Le système dit à "co-courant ascendant" permet

Pour nitrifier la totalité des effluents : Biostyr®

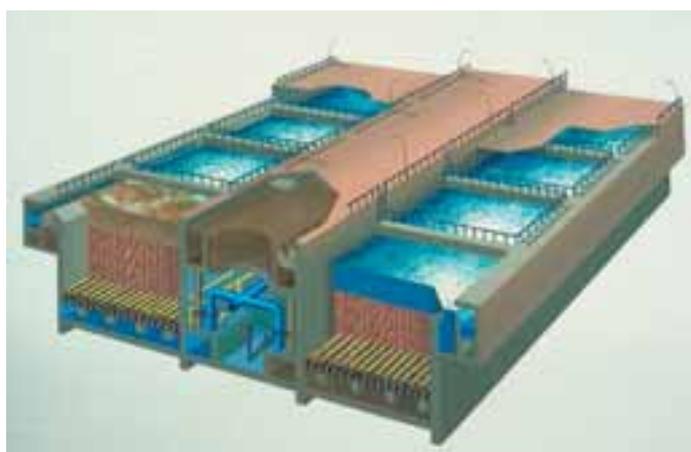
La nitrification : transformation de l'azote ammoniacal des eaux usées en nitrate

Après que l'eau ait subi, à travers l'usine Seine Aval, un traitement biologique ou physico-chimique, les 84 filtres Biostyr® d'OTV vont assurer l'épuration biologique de l'ensemble des eaux usées (jusqu'à 2 300 000 m³/j).

Le procédé Biostyr® assure la transformation en nitrates de la pollution azotée ainsi que la rétention des matières en suspension d'une eau ayant subi un traitement primaire. L'eau à traiter traverse de bas en haut un matériau granulaire de faible densité, le Biostyrène, colonisé par des bactéries fixées. Les filtres Biostyr® assurent :

- ◆ l'élimination de la pollution azotée et carbonée ;
- ◆ la rétention finale des matières en suspension.

Grâce à la combinaison d'un flux ascendant et d'un matériau fin flottant, la filtration Biostyr® permet d'obtenir une excellente qualité d'eau en sortie, pour des temps de contacts inférieurs à deux heures, et permet également de s'affranchir des émissions d'odeurs.



Images de synthèse d'une cellule Biofor®

Composite images of a Biofor® cell

► de limiter les nuisances puisque l'eau traitée située en surface du filtre isole l'atmosphère des mauvaises.

L'élimination des nuisances

Les procédés utilisés sont conçus de façon à limiter et traiter les odeurs susceptibles d'apparaître. Pour les Biostyr®, l'eau de surface est l'eau traitée. Les bassins sont recouverts d'une toile tendue afin d'assurer la ventilation naturelle. Au niveau des Biofor®, les odeurs émises lors des lavages sont extraites et envoyées vers l'unité de désodorisation. La ventilation et la désodorisation de ces volumes sont assurées par un procédé de désodorisation physico-chimique installé à cet effet. Parmi les contraintes spécifiques de l'usine, l'impact acoustique est un paramètre sensible pris en compte dès sa conception. Des études ont permis de mettre en évidence les principales sources de nuisances sonores, et donc de les traiter à la source.

ABSTRACT

The nitrification-denitrification unit

J.-P. Fournier, A. Caby

Restoring the ecological quality of aquatic environments by 2015 is the requirement set by European regulations. Transcribed into French law, they present new challenges to the water industry. That is why the Seine Aval nitrification-denitrification unit will be ahead of European standards with regard to nitrogen discharges into the natural environment. It will add to the existing facilities for treatment of carbonaceous pollution (biological process) and phosphorus (clariflocculation) by treating ammoniacal pollution (nitrification and then partial denitrification). The technical solutions adopted are OTV's Biostyr® process and Degrémont's Biofor® process.

RESUMEN ESPAÑOL

La unidad de nitrificación-desnitrificación

J.-P. Fournier y A. Caby

Restaurar la calidad ecológica de los medios acuáticos de aquí a 2015, corresponde al imperativo fijado por la normativa europea e, incorporada en el derecho francés, impondrá nuevos desafíos a los profesionales del agua. Motivo por el cual la unidad de nitrificación-desnitrificación de Seine Aval superará las normas europeas en materia de vertido de nitrógeno en el medio natural. Esta normativa permitirá completar las instalaciones ya existentes de tratamiento de la contaminación nitrogenada (sector biológico) y del fósforo (clarifloculación) mediante un tratamiento de la contaminación amoniacal (nitrificación y acto seguido, desnitrificación parcial). Las soluciones técnicas adoptadas son los procedimientos Biostyr® de OTV y Biofor® de Degrémont.

Une ergonome sur le projet Nitrification Seine Aval

Nathalie Lewin



ERGONOME
SUR LE PROJET
NITRIFICATION SEINE
AVALE
OTV France

Pour répondre à l'attente forte du client (SIAAP) d'intégrer une démarche ergonomique dans le projet Nitrification Seine Aval, et comprenant l'enjeu de cette demande, OTV France a recruté un ergonome dans l'objectif de l'associer à l'ensemble des projets de conception, de rénovation ou de mises aux normes d'installations de traitement d'eau. L'ergonomie est ainsi le garant d'un "passage de témoin" harmonieux entre le constructeur et l'exploitant.

■ DÉFINITION DE L'ERGONOMIE

Son nom provient du grec *ergon* (travail) et *nomos* (lois) pour désigner la science du travail.

L'ergonomie (ou étude des facteurs humains) est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les êtres humains, les autres composantes d'un système, et la mise en œuvre, dans la conception, de théories, de principes, de méthodes et de données pertinentes afin d'améliorer le bien-être des hommes et l'efficacité globale des systèmes.

C'est une discipline qui utilise une approche systémique dans l'étude des aspects de l'activité humaine : facteurs physiques, cognitifs, organisationnels, environnementaux, sociaux et autres (*définition de l'Association internationale d'ergonomie*).

L'ergonomie de conception est la prise en compte, le plus en amont possible, du fonctionnement de l'homme au travail, en lien avec les objectifs d'efficacité du système et de l'organisation du travail envisagée, de sorte que l'activité future probable se rapproche le plus possible de la réalité du travail.

Quelques objectifs prioritaires en ergonomie de conception

- ◆ Combattre les risques à la source.
- ◆ Adapter le travail et les équipements à l'homme (et non l'inverse) en les rendant compatibles avec les besoins, les compétences et les limites des futurs utilisateurs.
- ◆ Intégrer les aspects techniques, l'organisation du travail et les conditions de travail dès la conception.

Les évolutions de la pratique

D'un positionnement plutôt d'assistance à maîtrise d'œuvre (jusqu'aux années quatre-vingt), l'ergonome intervient aujourd'hui de plus en plus en

amont des projets (en phases d'avant-projet) et en amont de la rédaction des cahiers des charges.

Cela conduit les ergonomes à se rapprocher de la maîtrise d'ouvrage et à transformer leur rôle initial. En effet, ils passent d'un rôle de "critique" par rapport aux propositions des concepteurs à un rôle d'acteur du processus de conception. Ceci exige d'eux de se prononcer, de s'engager sur des choix de conception, d'orientation ou de solutions.

■ MON RECRUTEMENT EN TANT QU'ERGONOME CHEZ OTV

Au démarrage du projet Nitrification Seine Aval, le SIAAP qui avait lui-même recruté un ergonome dans ses équipes, a demandé au groupement d'entreprises de faire intervenir sans tarder un ergonome durant les phases études et travaux du projet pour participer à la conception.

Pour répondre à cette attente forte du client et comprenant l'enjeu de cette demande dans l'ensemble de ses processus, OTV France a recruté un ergonome, non pas uniquement dans le cadre de ce chantier, mais dans l'objectif de l'associer à l'ensemble des projets (présents et futurs) de conception, de rénovation ou de mises aux normes d'installations de traitement d'eau.

Dans un premier temps, les ingénieurs d'études des épurateurs ont été quelque peu interpellés par les modalités et le champ d'intervention de l'ergonomie, voire déstabilisés par ce "nouveau venu" dans les métiers de conception de stations d'épuration. Néanmoins, ils ont su très rapidement collaborer et interagir de façon efficace, voire anticiper la démarche en ayant à l'esprit les enjeux "dès le premier coup de crayon".

De mon côté, l'enjeu était de rapidement se mettre dans le "bain" étant donné les délais serrés liés à l'avancement des études.

Quatre types d'intervention ont été menés en col-

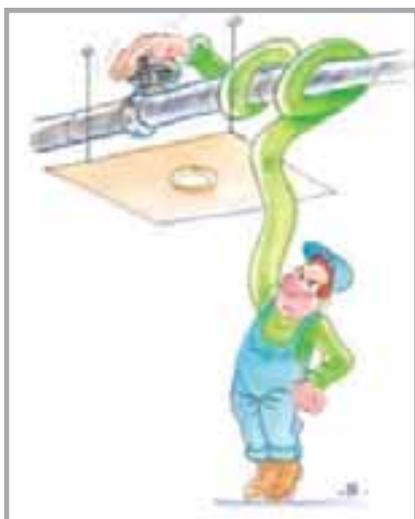


Figure 1
Des vannes accessibles ?
Accessible valves?



Photo 1
Positionnement de vannes de maillage d'eau industrielle à hauteur d'homme pour une accessibilité aisée
Positioning of process water network valves at man height for easy accessibility

laboration avec les intervenants concernés (ingénieurs et bureau d'études, architecte, génie civil, etc.) :

◆ **des thématiques transverses**, par exemple :

- la gestion des flux (pour anticiper et éviter les zones d'interférences dans la circulation, pouvant nuire à l'exploitation et à la maintenance),
- la signalétique de la station (pour harmoniser et assurer la bonne compréhension et l'intelligibilité des panneaux relatifs à la sécurité, à l'exploitation, au repérage des zones et des locaux, au SSI, à l'électricité...),

- les manutentions et l'accessibilité (pour s'assurer que chaque équipement, entier ou par éléments peut être évacué sans problème et que les opérateurs y accèdent aisément) (figure 1 et photo 1),
- les besoins en éclairage (pour veiller à ce que les opérateurs disposent d'une valeur d'éclairage adaptée selon la nature de l'activité, des sources d'éclairage, etc.);

◆ **des recommandations d'aménagement de locaux ou situations de travail** (ergonomie physique et organisationnelle). Par exemple :

- local de stockage et de préparation du polymère (avec une problématique forte à résoudre pour supprimer les risques de glissades liées à la présence d'eau),
- atelier mécanique (l'analyse de l'activité dans des sites de référence ayant montré que souvent, ce local n'était pas prévu à la conception ou alors dans

un espace insuffisant. Aménagement d'une zone de "travail bruyant" séparée du reste de l'atelier, installation d'une table élévatrice pour garantir des postures sans risques quel que soit l'équipement à réparer (vanne de 800 ou petite pièce), matérialisation de zones de stockage, etc.),

- salle de contrôle (en fonction du nombre d'opérateurs, du nombre de postes de travail et d'écrans par postes de travail, aménagement des pupitres, des zones de rangement, du local servitudes, etc.);

◆ **une assistance à la conception des IHM** (Interfaces homme machine) du système de contrôle commande, de façon à vérifier :

- l'utilisabilité : maniabilité et accessibilité générale d'un outil informatique en terme de dialogue utilisateur : navigation, terminologie et syntaxe claires, fonctionnalités et concepts utiles et compréhensibles, présentation des informations non ambiguë, homogénéité entre les vues (codes, symboles, terminologie, couleur...),

- l'utilité : l'outil doit correspondre aux besoins et attentes des opérateurs,

et à fournir des recommandations et des propositions de solutions pour orienter le développement;

◆ **conception du manuel d'utilisation du système de contrôle commande et des manuels de conduite** : une documentation papier disposant de différents accès à l'information (sommaire, glossaire, index, renvois) et d'une structuration issue des objectifs poursuivis avec l'outil. L'ergonome s'assu-

re que les équipes de conception ou rédacteurs mettent en œuvre les mêmes standards.

■ UNE DÉMARCHÉ NEGOCIÉE AVEC LES ACTEURS¹ DE LA CONCEPTION

Tout au long de la conception, cette démarche d'intervention ergonomique s'est appuyée sur des règles négociées par les différents acteurs. Nous avons ainsi dissocié les structures ayant une fonction de pilotage "politique et décisionnelle" (groupe de suivi SIAAP) des structures de travail (groupes de travail avec opérateurs de Seine Aval et ayant comme fonction d'alimenter les analyses de l'existant et les simulations : tests utilisateurs des IHM et des manuels d'exploitation...).

L'analyse de l'activité existante (par observations et entretiens avec les exploitants) dans les sites de référence sélectionnés a permis d'établir des diagnostics et d'identifier (dans les activités de réglage, de contrôle, de maintenance...) :

- ◆ ce qui donne satisfaction et qui pourrait donc être reproduit tel quel (ou avec les aménagements nécessaires) ;
- ◆ ce qui, au contraire, dysfonctionne et nécessite donc de rechercher de nouvelles solutions ;
- ◆ ce qui fait l'objet, dans le travail quotidien, de variabilité afin d'approcher, au mieux, la réalité du travail, et ses exigences.

En regard de ces diagnostics, des recommandations ont été élaborées en concertation avec les membres du groupement (étude de la faisabilité technique, financière et calendaire) puis soumises à l'examen/validation du SIAAP.

Les résultats de ces diagnostics sont complétés par des prescriptions issues des normes Afnor, des recommandations INRS, etc. qui imposent aux concepteurs le respect de principes en ergonomie, toxicologie...

■ CONCLUSION

Si on n'intègre pas de critères ergonomiques dans un cahier des charges, le risque est grand de faire uniquement mention des caractéristiques techniques que les concepteurs doivent respecter, sans référence au travail qui sera effectivement réalisé avec l'équipement ou le matériel décrit.

Dans ce cas, le projet est orienté vers une solution technique. Les équipes de conception (maîtrise

1. Représentants de la maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre, concepteurs, représentants des futurs exploitants (opérateurs de production, de maintenance, etc.) et instances représentatives du personnel (CHSCT).



Galerie Biostyr® – Conception permettant une circulation sécurisée sur l'ensemble de l'ouvrage ainsi qu'une bonne visibilité des vannes pour contrôle

Biostyr® gallery – Design allowing safe traffic over the entire structure and good valve visibility for monitoring

d'ouvrage et maîtrise d'œuvre) ont alors tendance à réaliser "une belle machine, une belle usine, un process qui fonctionne bien" en "minorant" les questions portant sur l'organisation future du travail, le type d'intervention d'exploitation ou de maintenance, la formation des opérateurs...

L'ergonomie est le garant de l'intégration des variables auxquelles toute activité peut être confrontée. Dans une station d'épuration des eaux usées, par exemple, ces situations peuvent être :

- ◆ prévisibles, connues et planifiables (arrêt d'usine ; changement de configuration en temps de pluie ; niveau d'expertise des opérateurs ; sensibilités des matières premières ou des process à des variations de température ou d'hygrométrie, à des poussières, à des vibrations ; phénomènes d'usure ou d'environnements agressifs...);
- ◆ non prévisibles et incidentielles (pannes, équipement en défaut, dérèglement d'un automate, degré d'intempérie...).

L'absence de prise en compte de ces éléments va avoir des conséquences directes sur les conditions du démarrage des installations au niveau des opérateurs et de l'encadrement (apprentissage difficile, risques d'accidents, absentéisme, etc.). Au



Trémies de chargement du polymère. Mise en place d'un support pour stabiliser les big-bags et sécuriser l'opérateur pendant l'opération de chargement

Polymer loading bins. Establishment of a base to stabilise the Big Bags and ensure operator safety during the loading operation

► niveau de l'entreprise, celles-ci peuvent se traduire par des délais non tenus, des coûts d'exploitation et d'entretien en hausse, de la non-qualité, etc. L'ergonomie est en outre le garant d'un "passage de témoin" harmonieux entre le constructeur et l'exploitant. Ce sont tous ces risques que le groupement a essayé d'éviter au travers de l'intégration d'une démarche ergonomique.

ABSTRACT

An ergonomist on the Seine Aval nitrification project

N. Lewin

Design ergonomics is the allowance, as far upstream as possible (in the preliminary design stages and before writing the specifications), for human functioning at work, in relation to the efficiency objectives of the system and the planned work organisation, so that the probable future activity will be as close as possible to the real work situation.

For this purpose ergonomists contact the Owner. They go from a role as "critical" in relation to the designers' proposals to a role as stakeholder in the design process. They must give a decision and commit themselves regarding design, guidelines and technical options, in cooperation with the design engineers, the architects and civil engineers, but also with the future operators, etc. (handling and accessibility, layout of the premises, flow management engineering, consistency and intelligibility of signage, assistance with design of human-machine interfaces, etc.).

The main aim is to combat risks at source, to adapt the work and equipment to man (and not the contrary) by making them compatible with the needs, competencies and limitations of the future users.

In response to the strong demand of the Client (SIAAP) to incorporate an ergonomic approach in the Seine Aval nitrification project, and realising the implications of this demand, OTV France recruited an ergonomist with a view to involving him in all projects for the design, renovation or backfitting of water treatment facilities. Ergonomics thus ensures harmonious exchange between the constructor and the operator.

RESUMEN ESPAÑOL

Una ergonomía para el proyecto Nitrificación Seine Aval

N. Lewin

La ergonomía de concepto corresponde a la integración, en las etapas más anteriores posible (en fases de proyecto preliminar y anteriormente a la redac-

ción de los pliegos de condiciones), del funcionamiento del hombre en el trabajo, con un vínculo entre los objetivos de eficacia del sistema y la organización del trabajo considerado, de modo que la futura actividad probable se acerca lo más posible a la realidad del trabajo.

Todo ello conduce a los ergónomos en acercarse a la ejecución de proyecto, y pasan de papel de "crítico" con respecto a las propuestas de los responsables de concepto a un papel de protagonista del proceso de concepción. Los ergónomos deben pronunciarse y comprometerse sobre diversas opciones de concepción, de orientación o de soluciones, en colaboraciones con los ingenieros de estudio, los arquitectos, la ingeniería civil, así como también los futuros operadores, etc. (manipulación de cargas y accesibilidad, ordenación de los locales, estudio de gestión de los flujos, coherencia e inteligibilidad del conjunto de señalización, asistencia para el establecimiento del concepto de los IHM, etc.).

Se trata en prioridad de luchar contra los riesgos en su punto de origen, adaptar el trabajo y los equipos para el hombre (y no lo contrario) haciendo que sean compatibles con las necesidades, las competencias y los límites de los futuros utilizadores.

Para responder a la importante expectativa del cliente (SIAAP) que consiste en integrar un modelo ergonómico en el proyecto Nitrificación Seine Aval, y que incluye el reto de esta demanda, OTV France ha contratado un ergónomo con el objetivo de asociarle al conjunto de los proyectos de concepción, de renovación o de puesta en conformidad con las normas de instalaciones de tratamiento de agua. De este modo, la ergonomía representa la garantía de un "paso de testigo" que está en conformidad entre el constructor y el operador.

Génie civil

18 mois de montée en puissance permanente

Entre l'offre initiale et le démarrage effectif des travaux, le groupement de génie civil – Campenon Bernard TP (mandataire), Eiffage TP, GTM Génie Civil et Services – a dû adapter ses méthodes et le planning d'exécution du gros œuvre au délai imparti, soit 30 mois. Les ouvrages répétitifs, en particulier les six batteries de filtres Biostyr®, soit 84 cellules, ont ainsi fait l'objet d'une industrialisation très poussée, qui a permis d'atteindre le volume exceptionnel de 145 000 m³ de béton en 18 mois.

"**D**ans une usine de traitement des eaux, process et génie civil sont étroitement liés. Pour ce projet, ils l'étaient encore davantage du fait que nous partions de la page blanche", juge Bernard Colmon, le directeur de projet (Campenon Bernard TP – groupe VINCI). En août 2001, après la réception du dossier de consultation, un appel d'offres sur performances en conception-construction, une équipe est donc formée entre le groupement de génie civil (Campenon Bernard TP, GTM Génie Civil et Services et Eiffage TP), les épurateurs (OTV, Degrémont) et l'architecte Luc Weizmann, afin de définir les grandes lignes du projet et de préparer les trois volets de la réponse : une offre, des plans et un coût.

Calqué sur le process, le gros œuvre se partage en deux volets principaux, la nitrification et la dénitrification, auxquels s'ajoutent les ouvrages de liaison hydraulique. Pour la nitrification, il s'agit de réaliser un ensemble de 84 filtres Biostyr® (procédé OTV) d'une emprise au sol d'environ 23 000 m² avec des bâtiments techniques comprenant des bâches de stockage d'eaux sales en infrastructure et, en superstructure, des locaux fonctionnels (salle de commande, désodorisation, électricité, surpression) d'environ 12 000 m² ainsi qu'une batterie de huit flottateurs de diamètres 16 et 18 m pour environ 6 000 m² d'emprise au sol. Pour la dénitrification, qui ne concerne dans un premier temps qu'un tiers des eaux rejetées en Seine après traitement, l'ouvrage à réaliser est une batterie de 12 filtres Biofor® (procédé Degrémont) avec son bâtiment technique (environ 6 000 m²). Enfin, 2 000 m de carneaux de 4,50 m de hauteur, larges de 6 à 10 m, assurent les liaisons hydrauliques d'amenée depuis l'usine existante et de rejet.

■ PRIORITÉ AUX ÉQUARRISSAGES

Pour préparer son offre, l'équipe de génie civil qui se met en place se limite au départ à deux in-



Février 2005. Première illustration du recours massif à la préfabrication dans la partie Biostyr® : en partie centrale d'une batterie de filtres, les voiles de canaux d'eaux sales équipés de trois inserts process, des éléments de 9 m de long et de 10 t, sont mis en place avant le bétonnage du radier de la galerie. Un châssis de stabilisation et des gabarits de pose assurent leur positionnement avec une précision de l'ordre de 2 mm. De part et d'autre, les bétons de propreté des radiers des cellules sont déjà réalisés

February 2005. First illustration of the massive use of prefabrication in the Biostyr® section : in the centre of a bank of filters, the shear walls of dirty water channels fitted with three process inserts, elements 9 metres long and weighing 10 tonnes, are installed before concreting the gallery's foundation raft. A stabilising frame and installation templates ensure their positioning with a precision of approximately 2 mm. On either side, the blinding concretes of the cells' foundation rafts are already executed

génieurs d'étude de prix, deux ingénieurs méthodes-planification, un ingénieur d'étude de structures et un responsable second œuvre, regroupés autour d'un responsable de projet qui, dans un premier temps, est Gérard Suinot (VINCI Construction Grands

Bernard Colmon



DIRECTEUR DE PROJET
Campenon Bernard TP

Michel Beaubernard



DIRECTEUR
DE PRODUCTION
GTM Génie Civil et Services

Jacques Artige



RESPONSABLE
SECTION 2
Eiffage TP

Mai 2005. Les 216 poteaux des cellules Biostyr® intégraient les amorces de voiles, y compris les ferrillages complets de voiles sur la longueur en attente, et les feuillards d'étanchéité. Préfabriqués avec une grande précision, ils recevaient les coffrages de voiles, qui ont été réalisés en béton autoplaçant

May 2005. The 216 columns of the Biostyr® cells were incorporated at the start of work on the shear walls, including the complete shear wall reinforcements over the planned length, and the waterproofing strips. Prefabricated with great precision, they received the shear wall formwork, which was executed in self-placing concrete



© Alex Béraud

Mai 2005. Dans une partie du chantier Biostyr® plus avancée, les voiles des cellules sont réalisés et les sept portiques (second plan) destinés à soutenir le plancher filtrant (en place dans la cellule du premier plan), préfabriqué lui aussi, ont été mis en place. Grâce à des vérins à vis, ces éléments de 7,2 t ont pu être réglés avec une précision millimétrique et clavés très rapidement

May 2005. In a more advanced part of the Biostyr® project, the shear walls of the cells are executed and the seven portal structures (in the background) designed to support the filtering floor (in place in the cell in the foreground), likewise prefabricated, have been set up. Using screw jacks, these 7,2-tonne elements were able to be adjusted with millimetric precision and keyed very quickly



© Alex Béraud

► Projets) et qui s'appuie sur des intervenants extérieurs (BET, économistes de la construction). "La priorité, à ce moment-là, est de caler le "fil d'eau" de la station (son altimétrie) et d'obtenir les plans-guides des épurateurs, indispensables pour "sortir des équarrissages" (volumes globaux d'acier et de béton par ouvrage) et donc un prix", souligne Bernard Colmon, puis d'établir un planning cohérent en coordination avec les épurateurs et de chiffrer les prestations architecturales en relation étroite avec l'architecte. Après remise de l'offre, en février 2002, et des al-

lers-retours de questions-réponses avec le jury du concours, le marché est finalisé puis notifié au groupement à la fin octobre 2002. S'ouvre alors une période de neuf mois pour le montage du dossier de demande de permis de construire, du dossier des demandes d'autorisation d'exploiter pour le maître d'ouvrage et l'élaboration de l'avant-projet détaillé.

"C'est aussi dans cette période que le projet a été remis à plat et que ses différentes phases ont été réordonnées, en collaboration étroite avec les épurateurs et l'architecte, en fonction des méthodes retenues", indique Michel Beaubernard, directeur de production (GTM Génie Civil et Services – groupe VINCI). En effet, le planning initial et le volume des bétons à mettre en œuvre – estimé à plus de 155 000 m³ au départ – apparaissaient peu compatibles avec les 20 mois prévus pour la réalisation du gros œuvre.

"Pour permettre une exécution rapide, poursuit Michel Beaubernard, il avait été décidé, à l'origine, d'ouvrir plusieurs chantiers, c'est-à-dire de lancer en même temps l'exécution des batteries 1 et 3 de Biostyr® (sur un total de 6) et des bâtiments techniques correspondants. En fait, cette solution présentait l'inconvénient de générer trop de "points durs d'interface" entre génie-civilistes, épurateurs et corps d'états secondaires dans une phase ultérieure de travaux. Compte tenu du caractère très répétitif des ouvrages Biostyr®, il est apparu plus judicieux d'industrialiser au maximum ce chantier et de l'exécuter de façon linéaire, en progressant de l'ouest vers l'est. Mais il a fallu convaincre nos partenaires, et cette option n'a été entérinée qu'en juillet 2004."

Le choix et l'organisation des moyens de levage, qui prévoyaient trois lignes de grues de capacité moyenne, dont une couvrant le chantier Biostyr® et celui des bâtiments techniques, ont du coup été remis en question. Nettement scindés, les deux chantiers se sont vus dédier leurs propres moyens de levage, dont quatre grues de forte capacité (10 t à 50 m) exclusivement réservées au chantier Biostyr®.

De la même façon, la géographie du chantier et l'organisation de ses voiries ont été repensées afin de réduire la distance entre l'aire de préfabrication et la zone de travaux proprement dite, et pour sécuriser la circulation des différents engins de transport, dont un fardier de 35 t de capacité.

■ 100 000 M³ DE BÉTON EN 10 MOIS

De l'achèvement de la phase d'étude de projet, en juillet 2003, au démarrage effectif du chantier, les 11 mois d'attente des différentes autorisations administratives sont mis à profit par le groupement génie civil pour lancer les études d'exécution à par-



Juin 2005. Panorama du chantier depuis le côté est. Au premier plan à droite, le chantier Biofor® (dénitrification). Au deuxième plan, l'unité nitrification, avec, à droite, sous la ligne de grues de forte capacité, le chantier Biostyr®, où tous les radiers ne sont pas encore bétonnés. Au centre, le canal d'amenée. À gauche, le chantier du bâtiment technique et des flottateurs

June 2005. Overview of the project from the eastern side. In the right foreground, the Biofor® construction site (denitrification). In the background, the nitrification unit with, on the right, under the row of high-capacity cranes, the Biostyr® construction site, where all the foundation rafts are not yet concreted. In the centre, the entrance channel. On the left, the construction site of the process building and flotation units

tir des plans-guides, établir un planning détaillé de l'ensemble des ouvrages et peaufiner la préparation de chantier.

Après presque trois ans de préparation amont, le premier coup de pioche est donc donné en juin 2004 avec les installations de chantier, la mise en place des deux centrales à béton, l'aménagement de la zone atelier, les terrassements généraux et la réalisation d'un écran étanche périphérique, ancré dans les calcaires, constitué d'une paroi au coulis de 50 cm de largeur sur 8 m de hauteur moyenne et d'un linéaire de 1200 m, qui, combiné à 16 puits de rabattement, est destiné à protéger le chantier contre le risque de crue centennale. Enfin, en octobre 2004, sont lancés les premiers ferraillements des radiers de structure des Biostyr®, des bâtiments techniques et des infrastructures des bâches hydrauliques. Dix-huit mois plus tard, en mars 2006, auront été coulés 145 000 m³ de béton, un volume impressionnant, et même exceptionnel si l'on considère que 100 000 m³ ont été coulés pendant les 10 mois du pic d'activité. La clé technique de cet exploit tient pour une large part à l'industrialisation de l'exécution, à laquelle se prêtait tout particulièrement la partie Biostyr®, constituée de six batteries de quatorze cellules contiguës (16 m de long, 11 m de large et 8 m de hauteur).

Chronologiquement, les premiers éléments préfabriqués ont été les voiles des canaux d'eaux sales de 9 m de longueur, équipés de trois inserts process (des manchettes métalliques de 800 mm de diamètre longues de 700 mm) assurant pour chaque batterie le transfert des eaux de lavage des cellules vers les bâtiments techniques via un siphon sous le canal d'amenée. D'un poids de 10 t, ces éléments étaient mis en place à la fin du ferraillement du radier de la galerie à l'aide d'un châssis de stabilisation et de gabarits de pose permettant de respecter une précision de 2 mm et l'ensemble était bétonné en une fois.

"Ce système nous a notamment permis d'économiser le temps de travail et la difficulté qu'aurait représenté le scellement des 508 manchettes (soit 1 016 scelllements)", commente Jacques Artige, responsable de la section 2 (Eiffage TP).

Les poteaux d'angle des cellules ont eux aussi été préfabriqués, en poussant loin la conception puisqu'ils intégraient armatures, feuillards d'étanchéité, rainures des batardeaux et amorces de voiles. Réalisés avec une grande précision, ces éléments d'environ 10 t sur lesquels venaient ensuite s'appliquer les coffrages des voiles ont permis d'utiliser les bétons autoplaçants mis en œuvre au moyen de pompes mobiles et d'un mât de bétonnage.

SECOND ŒUVRE : UN CHANTIER DANS LE CHANTIER

Aux travaux de gros œuvre exécutés à un tempo exceptionnellement soutenu, s'est ajouté, pour le groupement de génie civil, le pilotage des corps d'état et du second œuvre, dont la part dans le marché dépassait 15 %, un niveau inhabituel pour ce genre de réalisation, lié notamment à l'importance des corps d'état architecturaux (habillage de façades en béton préfabriqué, menuiseries vitrées, charpente en lamellé-collé, couverture en toile tendue de la partie Biostyr®, etc.). Trente corps d'état et leurs sous-traitants, soit 150 personnes, sont ainsi entrés en scène sur le chantier avant la fin du gros œuvre – plus particulièrement sur les bâtiments techniques – à partir de septembre 2005. Gérée par la direction technique du chantier jusqu'à cette date, cette section de travaux est dès lors passée sous la coupe de la direction de production, afin d'être calée, ou plutôt intercalée, entre les interventions du génie civil et des épurateurs et dans un délai très bref, puisque l'échéance de livraison est, là aussi, la fin décembre 2006.

Janvier 2006. Panorama du chantier vu du côté ouest.

En sept mois, l'avancée du génie civil est spectaculaire. Les Biostyr® ont reçu charpente et toile tendue. Les superstructures du bâtiment technique sont achevées, la charpente en lamellé-collé est en place, ainsi que la couverture inclinée des flottateurs, qui sera végétalisée. À droite, la zone des installations de chantier et les deux centrales à béton

January 2006. Overview of the project from the western side. In seven months, the progress on the civil engineering work is spectacular. The Biostyr® cells have received the structure and stretched canvas.

The superstructures of the process building are completed, the glued laminated structure is in place, together with the sloping roof of the flotation units, on which vegetation will be established. On the right, the construction plant area and the two concrete mixing plants



© Alex Béraud



© Alex Béraud

Janvier 2006. D'une hauteur de 4,50 m et d'une largeur variable de 6 à 10 m, des liaisons hydrauliques longues de 2000 m relient l'usine existante à la nouvelle unité (canal d'amenée au second plan) et cette dernière aux ouvrages de rejet en Seine (au premier plan). Établie sur le radier du carneau d'amenée, construit tronçon après tronçon, la grue sert à la manœuvre du coffrage-tunnel qui permet de réaliser en une fois les voiles et la dalle de couverture de l'ouvrage

January 2006. With a height of 4,50 m and a variable width of 6 to 10 m, hydraulic links 2000 metres long connect the existing plant to the new unit (entrance channel in the background) and link the latter to the structures for discharge into the Seine (foreground). Set up on the foundation raft of the delivery flue, and built up section after section, the crane is used to handle the tunnel formwork which enables the structure's shear walls and covering slab to be executed in a single operation



DEUX CELLULES BIOSTYR® RÉALISÉES TOUS LES QUATRE JOURS

Les portiques des planchers filtrants (sept par cellule, 588 au total) ont été le troisième élément préfabriqué massivement, là où une méthode traditionnelle aurait consisté à utiliser poteaux et poutres préfabriqués, multipliant les opérations de réglage et de clavage à exécuter en hauteur. Fabriqués horizontalement sur des tables spéciales munies de compas de relevage hydrauliques, ces portiques (7 m de haut avec les ferrailages de pied, 10 m de long, 26 cm d'épaisseur, 7,2 t) étaient stockés verticalement sur un rack et acheminés par quatre sur un châssis spécial déposé par le fardier sur un quai de livraison. Une fois mis

en place, les sept portiques d'une cellule pouvaient être réglés millimétriquement grâce à des vérins à vis et clavés rapidement depuis les passerelles installées en tête de voile. "L'industrialisation a nécessité de spécialiser les équipes dans leurs tâches, précise Michel Beaubernard, et elle a permis d'atteindre le rythme de deux cellules réalisées tous les quatre jours."

Dans les bâtiments techniques, le même principe a été décliné pour les vingt bâches à boues des flottateurs, des ouvrages de 4,50 m de hauteur et d'une capacité de 26 m³, composées d'éléments de forme octogonale que leurs dimensions ont permis de faire fabriquer à l'extérieur du chantier.

"De leur côté, les carneaux des liaisons hydrauliques ont été réalisés en deux temps : d'abord le radier, qui supportait la grue à tour et lui permettait de progresser au fur et à mesure de l'avancement, puis les voiles et la dalle de couverture, réalisés en une fois grâce à un coffrage-tunnel mis au point par la cellule méthodes du chantier, indique Jacques Artige, et le rythme de progression était d'un tronçon de 11,50 m tous les cinq jours."

DES ÉQUIPES À TAILLE HUMAINE COMME SUR TOUS LES CHANTIERS

Sur ce chantier où l'effectif a dépassé les 1 000 personnes au pic d'activité (650 compagnons, 300 sous-traitants et 105 personnels d'encadrement), une des difficultés consistait à distribuer les rôles et à coordonner les hommes. L'organisation en ensembles de taille décroissante, les "sections" et les "secteurs", a permis d'adapter aux dimensions de l'ouvrage les équipes à taille humaine et "gérables" qui sont les unités opérationnelles de n'importe quel chantier. Entre les chefs de secteur et les chefs de chantier, une douzaine de jeunes ingénieurs, auxquels se sont ajoutés de nombreux stagiaires, assuraient l'articulation, ce qui a permis d'assurer le rôle de formation que doit remplir ce type de chantier. Particularité – et parti pris de

départ du groupement –, dans ces équipes, comme à tous les niveaux de l'organisation (production, services généraux, direction technique, ressources humaines, etc.), les hommes des trois entités étaient "mêlés", ce qui donnait aux entreprises où étaient recrutés les compagnons plus de souplesse dans la gestion de leurs effectifs et permettait à tous de se concentrer sur l'ouvrage à réaliser.

Plus caractéristique encore que le nombre (500 personnes devaient être transportées chaque jour entre le chantier et la gare d'Achères) et la complexité de l'organisation (préparation des plans de charge des 35 grutiers travaillant en deux postes; livraison quotidienne de 1000 m³ de béton sur 16 à 18 points différents, etc.), c'est sa montée en puissance constante qui restera la caractéristique et le challenge propres à ce chantier : "Au fur et à mesure du lancement des ouvrages, il y a toujours eu des tâches nouvelles à démarrer, souligne Bernard Colmon. Chaque lundi, pendant huit mois, on voyait ainsi arriver 40 personnes nouvelles sur le chantier et d'octobre 2004 au printemps 2006 nous n'avons jamais eu le sentiment que le chantier atteignait un rythme de croisière."

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 145 000 m³ de béton (dont 15 000 m³ de bétons autoplaçants)
- 17 000 t d'acier
- 300 000 m² de coffrages
- Montant du marché de génie civil : 210 M€
- 17 grues à tour
- 2 centrales à béton (jusqu'à 1100 m³ de production quotidienne)
- Effectif maxi : 105 cadres et Etam; 650 CNRO
- Sous-traitants : 300

ABSTRACT

Civil engineering. 18 months' of constant build-up

B. Colmon, M. Beaubernard, J. Artige

Between the initial tender and the actual start of work, the civil engineering consortium, consisting of Campeon Bernard TP (leader), Eiffage TP and GTM Génie Civil et Services, had to adapt its methods and the schedule for the structural work to the assigned deadline, namely 30 months. Repetitive structures, and in particular the six banks of Biostyr® filters, namely 84 cells, were accordingly very extensively industrialised, making it possible to achieve the exceptional volume of 145,000 cu. m of concrete in 18 months.

RESUMEN ESPAÑOL

Ingeniería civil. 18 meses de aumento permanente de los trabajos

B. Colmon, M. Beaubernard y J. Artige

Entre la oferta inicial y el inicio efectivo de los trabajos, la agrupación de ingeniería civil – Campeon Bernard TP (mandatario), Eiffage TP, GTM Génie Civil et Services – ha tenido que adaptar sus métodos y la planificación de ejecución de la obra gruesa según los plazos impartidos, o sea 30 meses. Los trabajos repetitivos, y en particular las seis baterías Biostyr®, o sea 84 células, ha sido objeto de una industrialización sumamente elaborada, que ha permitido alcanzar el volumen excepcional de 145 000 m³ de hormigón en 18 meses.

SMIE gère l'anti-collision et des grues mobiles

Chantier d'envergure, le site Nitrification Seine Aval regroupe seize grues Liebherr et Potain qui sont protégées des interférences par les systèmes électroniques AC 30 de SMIE. Exceptionnellement des grues mobiles viennent également travailler sur le chantier et se trouvent alors en interférence avec des grues à tour.

Pour maintenir le chantier en sécurité, une procédure spéciale a été mise en place avec l'aide de l'entreprise SMIE, de manière à gérer les interférences des grues mobiles avec les grues à tour.

Cette procédure répond également aux demandes croissantes des organismes de sécurité en la matière (photo 1).



Photo 1
Le chantier Nitrification Seine Aval rassemble une forte densité de grues à tour et de grues mobiles

The Seine Aval nitrification project entails a high density of tower cranes and mobile cranes

■ SMIE APPORTE DEUX SOLUTIONS

La première solution consiste à "faire croire" à la grue à tour qu'une seconde grue "virtuelle" est en girouette sous elle. La vraie grue à tour a donc ainsi "l'illusion" qu'une autre grue à tour travaille en position basse et gère les interférences.

Cette première solution, immédiatement opérationnelle, a été adoptée en attendant la solution définitive pour laquelle SMIE a spécifiquement adapté l'un de ses systèmes électroniques, le BAZIL pour un réseau radio RAC3 (photo 2).

BAZIL est un système électronique programmable d'interdiction de survol de "zone interdite". Il est programmé chaque jour, de manière très simple, en fonction des heures où travaillent les grues mobiles. Il permet de prévoir une ou plusieurs zones d'occupation momentanée du chantier, par une ou plusieurs grues mobiles, et d'assurer pendant cette période, leur mise en sécurité vis-à-vis de la grue à tour à laquelle il est affecté.

L'AC 30 possède une fonction "zones interdites" mais la programmation de celle-ci s'applique plutôt à des zones qui varient peu. Le BAZIL, quant à lui, est programmable très rapidement et permet de varier les zones interdites en fonction des déplacements des grues mobiles.

Tous les cas de figures peuvent être entrés en mémoire et il suffit d'activer ou de désactiver la configuration adaptée, à l'aide d'un simple contact sur la face avant du BAZIL, elle-même fermée par une clé spécifique détenue par un responsable. Lorsque les grues mobiles sont absentes, les grues à tour retrouvent leur amplitude de travail.

■ LES SUPERVISEURS SMIE : SÉCURITÉ ET PRODUCTIVITÉ

Le chantier utilise trois superviseurs SMIE :

- ◆ deux ENIA (**EN**registreur d'**Informations Anti-collision**) qui gèrent et enregistrent l'historique de l'anti-collision et de tous les événements sur le réseau (mouvements des grues, pannes, etc.). Plusieurs possibilités s'offrent aux utilisateurs pour consulter l'ENIA :
 - la connexion à un écran bureautique standard,
 - la connexion à un réseau Ethernet local (câble RJ 45),
 - la consultation à distance par un modem,
 - la connexion, en option, par l'Internet, par souscription d'abonnement spécial.

Cette facilité de consultation fait également de l'ENIA un outil d'aide à la maintenance ce qui contribue à minimiser les coûts dans ce domaine ;



des grues à tour

◆ un ENIM (**EN**registreur d'**IN**formations **M**étéo) qui assure la fonction de "mémoire météo" du chantier et retransmet la vitesse du vent ainsi que la température.

Outils ayant pour vocation la sécurité, les superviseurs SMIE sont également devenus pour le chantier des outils indispensables de suivi de la productivité des grues.

Toutes les données sont utilisées et le haut niveau de fiabilité des enregistreurs permet d'exploiter de manière sûre toutes ces informations.

**Photo 2**

Un exemple d'interférences entre les champs d'action de grues
An example of interference between cranes' spheres of action

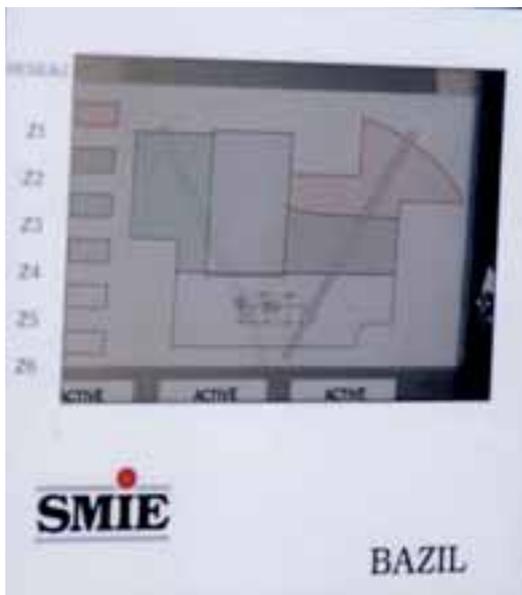


Photo 3
Le système électronique BAZIL
The BAZIL electronic system

BAZIL, UN SYSTÈME ÉLECTRONIQUE NOVATEUR ET UNIQUE

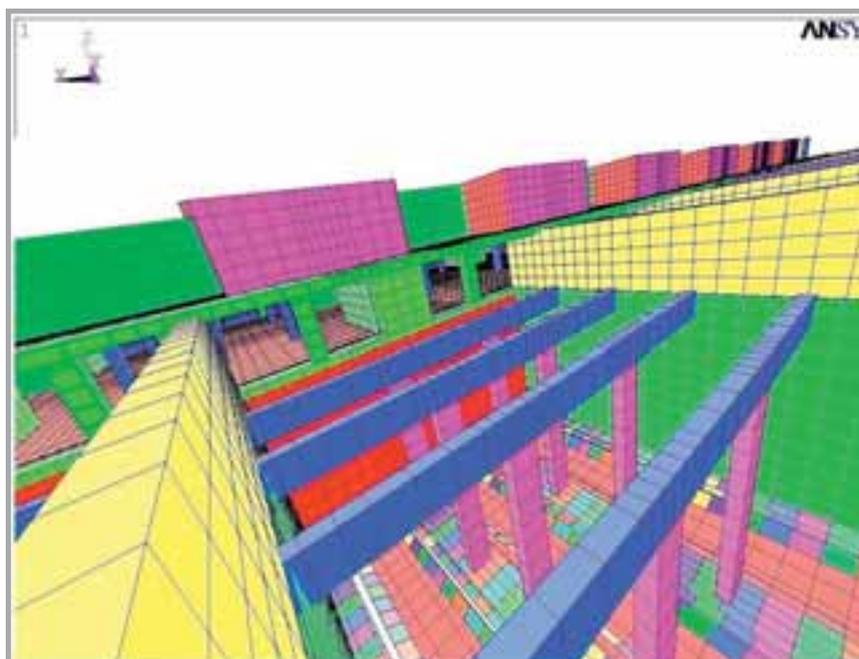
Unique sur le marché, le BAZIL (photo 3) a été spécifiquement imaginé par l'Ingénieur d'affaires Lionel Loisy de SMIE et développé par le service Recherche et Développement de l'entreprise.

Il peut gérer six zones d'interdiction de survol prédéterminées par les responsables de chantier et activées à l'aide de simples interrupteurs par la personne mandatée sur le chantier (clé spécifique).

Des voyants lumineux informent le personnel des différentes zones mises en service.

Les études d'exécution

Conception et modélisation des équations de la performance

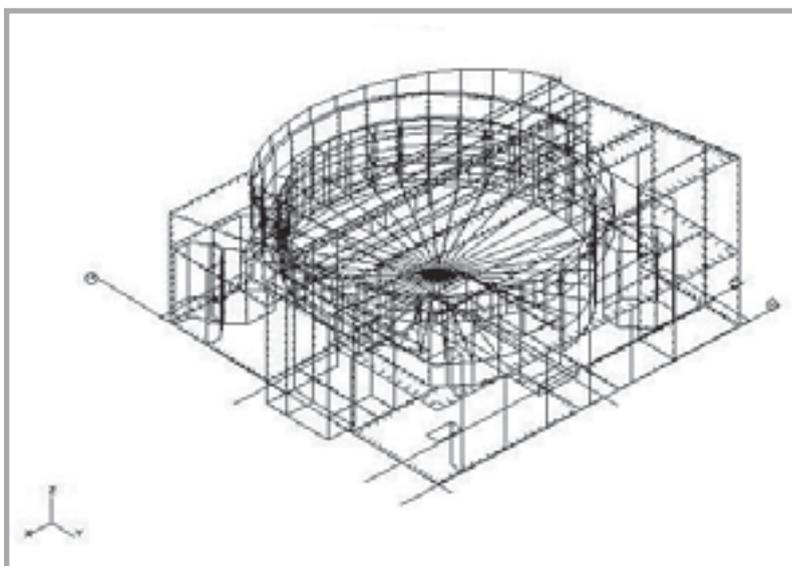


Modèle de calcul aux éléments finis d'une cellule Biostyr® en perspective, plancher filtrant enlevé. La taille des mailles choisie, 50 cm, soit l'épaisseur des voiles des cellules, définit un modèle de calcul à 90 000 nœuds pour une batterie de 14 cellules

Finite element design calculation model for a Biostyr® cell in a perspective view, with the filtering floor removed. The mesh size selected, namely 50 cm, i.e. the thickness of the cell shear walls, defines a 90,000-node calculation model for a bank of 14 cells

Modélisation des flottateurs

Flotation unit modelling



Le nombre et la diversité des ouvrages ont conduit le groupement de génie civil à confier à six bureaux d'études la conception du projet. VINCI Technology (VINCI) s'est concentré sur la partie Biostyr®, le Biep (Eiffage) sur les flottateurs, le bureau d'études marseillais de GTM Génie Civil et Services (VINCI) sur l'unité Biofor®, tandis que

trois bureaux d'études indépendants, Ingérop-Descamp, Becet et CTC étaient chargés des bâtiments techniques et des liaisons.

"Avec cette répartition, l'objectif du groupement a été de gérer au mieux les ouvrages à forte répétitivité qu'étaient les batteries Biostyr® et Biofor® et dans une moindre mesure les flottateurs, en optimisant les quantités de béton et d'acier que les méthodes de construction imaginées pour faire face à un délai très court ont contribué à augmenter", précisent Claude Deslandes (Eiffage TP), responsable des études génie civil sur le chantier et du pilotage de l'ensemble des bureaux d'études, et Pierre Margier (VINCI Construction Grands Projets), responsable de la partie technique pour la soumission puis responsable des études d'exécution de la partie Biostyr®. Ces derniers expliquent comment, dans la partie Biostyr®, la plus répétitive, une solution inédite a été proposée pour économiser le ferrailage des voiles des cellules en faisant jouer un rôle structurel aux 84 dalles de fond de filtre disposées en tête des portiques. Épaisses de 18 cm et traversées de buses de 55 mm de diamètre à la maille de 136 mm, celles-ci ont été utilisées comme tirants, reprenant une partie des efforts exercés par l'eau sur les parois des cellules.

■ UN DESIGN EXIGEANT

D'autres exigences se superposaient à ces préoccupations économiques. Comme il l'avait fait précédemment pour l'unité de clarifloculation, où il avait employé des bétons architecturaux polis et matricés, Luc Weizmann, l'architecte du groupement, souhaitait proposer un design mêlant esthétique et fonctionnalité afin de traduire l'engagement du Siaap dans le développement durable et la haute qualité environnementale. La couverture de l'usine et son équipement pour le traitement de l'air vicié répondent ainsi à l'objectif "zéro nuisance" du maître d'ouvrage à l'horizon 2009 et traduisent sa volonté d'offrir à la vue des riverains – notamment ceux de la rive droite, qui surplombent le site – une "cinquième façade" soignée sur le plan architectural.

"La structure que nous avons dû concevoir et mettre au point devait représenter le meilleur compromis entre le coût et les besoins de l'architecte et des épurateurs. Pour nous, cela signifiait caler la "bonne" hauteur de l'ouvrage pour le protéger des crues décennales et centennales de la Seine et

études de gros œuvre :

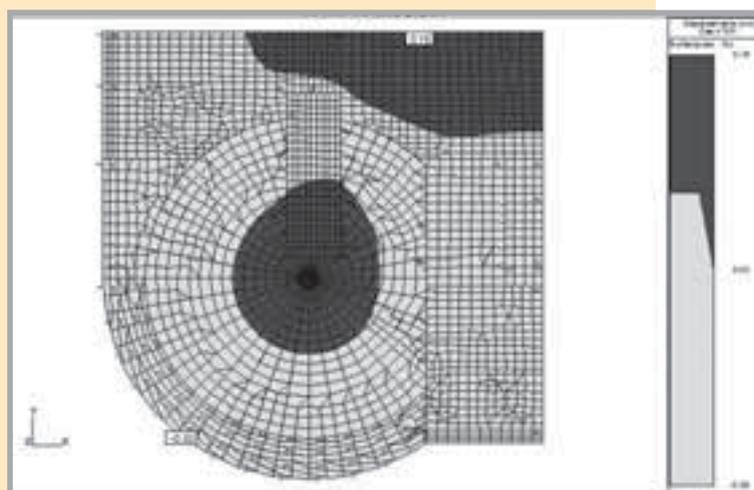
assurer un écoulement gravitaire des eaux en minimisant les relevages, car ceux-ci ont un fort impact sur les coûts d'exploitation", souligne Pierre Margier.

L'intégration des flottateurs au bâtiment technique principal et la volonté de laisser la lumière affluer à l'intérieur des locaux sont d'autres partis pris du projet qui ont contraint les génie-civilistes à imaginer des solutions sur mesure. "Le fond des flottateurs, des ouvrages de 16 à 18 m de diamètre, est un tronc de cône qui ne pose pas de difficultés de réalisation quand ces ouvrages sont isolés et fondés directement sur le sol, ce qui est le cas le plus fréquent, explique Claude Deslandes, mais ici les ouvrages sont intégrés à deux salles de pompes avec d'importants passages sous les troncs de cônes. La reprise des charges se fait donc par l'intermédiaire de la jupe des ouvrages, travaillant soit en cerces soit en poutres-voiles, et du fond des flottateurs travaillant soit en dalle portée au droit des circulations, soit en radier. Un béton de forme variable a dû être appliqué localement en seconde phase à l'intérieur des flottateurs pour leur donner leur forme conique."

Partiellement conjuguées à celles du bâtiment, et donc d'épaisseur variable, les parois des flottateurs ont rendu très complexe la gestion des nœuds d'acier aux endroits où le voile commun au flottateur et aux salles des pompes se dédouble en s'affinant. Les poutres en béton de 1,50 m de hauteur et de 22 m de portée qui supportent la couverture végétalisée ont elles aussi exigé beaucoup de soin en raison des vastes hublots qui y sont ménagés pour assurer la diffusion de la lumière. Enfin, des solutions ont dû être trouvées pour répondre à l'orientation du chantier vers une industrialisation maximale et l'utilisation d'éléments préfabriqués lourds. Même très puissantes, les grues des batteries Biostyr® avaient en effet leurs limites, qui ont imposé de pousser la conception de ces éléments pour les alléger, tels les poteaux d'angle.

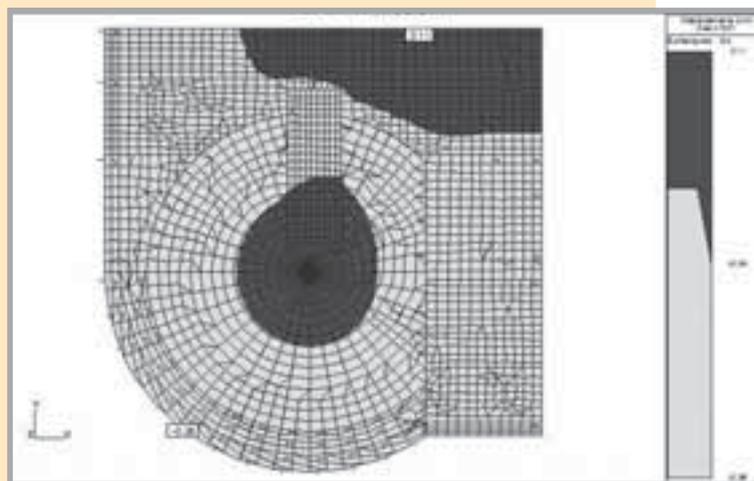
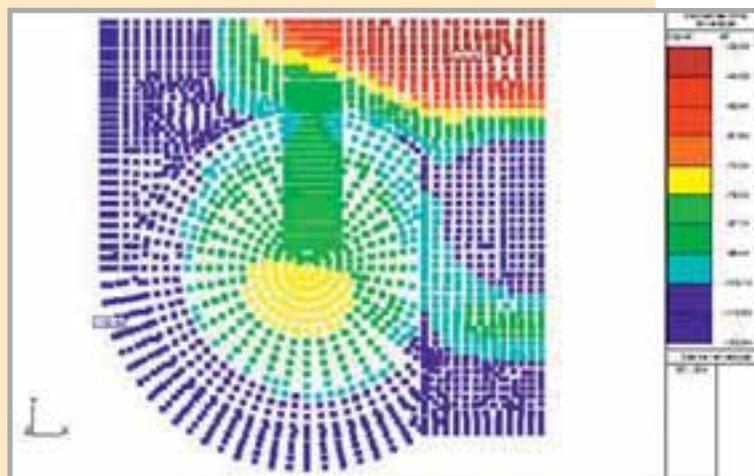
■ DES STRUCTURES CALCULÉES COMME DES OUVRAGES D'ART

Peu utilisée à l'amont du projet, la modélisation des structures faisant appel au calcul aux éléments finis a été largement employée lors de l'exécution. "Généralement réservée aux ouvrages d'art, cette technique a été appliquée ici pour les ouvrages répétitifs – batteries Biostyr® et Biofor®, et flottateurs des bâtiments techniques –, car elle permet de



Calcul statique non linéaire : étude des zones décollées (zones foncées) et des contraintes sur le sol

Nonlinear static calculation : study of separated zones (dark areas) and ground loading



► rendre compte facilement des très nombreuses combinaisons de cas de charge appliqués aux structures", explique Pierre Margier.

Pour les Biostyr® ont été effectués les calculs des efforts à l'intérieur d'une batterie en envisageant tous les cas de figure de remplissage : 14 cellules pleines, 13 cellules pleines et une vide et jusqu'à 13 cellules vides et une cellule pleine en prenant en compte la position de la cellule en bordure ou à l'intérieur de la batterie. La taille des mailles retenue, 50 cm environ, soit l'épaisseur des voiles des cellules, définissait un modèle de calcul à 90 000 nœuds.

"Pour les bâtiments techniques et les flottateurs, la modélisation aux éléments finis de l'ensemble des structures s'est limitée à un calcul statique

non linéaire pour la détermination de la stabilité des ouvrages et des zones soulevées face à la poussée que pourrait exercer sur le radier la remontée de la nappe phréatique en cas de crue. Des modélisations locales et fines ont permis d'optimiser les ferrillages des flottateurs. En parallèle, des calculs plus légers étaient réalisés pour valider les résultats", précise Claude Deslandes.

"Cette démarche n'était pas réservée au génie civil, conclut Pierre Margier. Nous avons par exemple pu réintégrer, comme éléments des charges appliquées à la structure en béton armé les données fournies par le charpentier, qui avait lui-même calculé, selon le vent, les efforts appliqués à la charpente métallique porteuse par la couverture en toile tendue."



Calcul des couvertures métallo-textiles des biofiltres nitrifiants

Les études d'exécution des structures métallo-textiles des six ensembles de biofiltres nitrifiants situés au nord du projet, constituent un exemple probant de la continuité d'un cycle complet de calcul par utilisation poussée des outils informatiques.

La première étape du cycle consistait à déterminer les effets du vent par simulations numériques, sur un modèle intégrant les formes d'équilibre des couvertures textiles. On a ensuite réalisé les calculs non linéaires et les vérifications des membranes textiles, suivant les préconisations des "Recommandations pour la conception des ouvrages permanents de couverture textile", au moyen du logiciel PAM-LISATM.

L'ultime étape était la justification des charpentes métalliques supports, et la détermination des efforts reportés sur les ouvrages béton, l'ensemble réalisé sur la base des descentes de charges de la toile appliquées en chargement automatisé.

Emmanuel Viglino



CHEF DE PROJET
Arcora

Pierre Maître



DIRECTEUR AGENCE
NATIONALE
CONSTRUCTION.
DIRECTION
OPÉRATIONNELLE
CENTRALE
Socotec



Figure 1
Vue générale de l'ouvrage.
Image de synthèse
Agence LWA

General view of the structure.
LWA Agency composite image

Les six ensembles de biofiltres nitrifiants situés au nord du projet sont couverts par des structures métallo-textiles, composées d'une charpente en acier inoxydable 316L, de couvertures en membrane textile, et d'habillages des rives en maille textile ajourée (figure 1).

■ UNE VOLONTÉ ARCHITECTURALE ET DES CONTRAINTES TECHNIQUES FORTES

La mise en œuvre de toiles textiles tendues pour ces ouvrages répond à une volonté architecturale affirmée par le cabinet d'architectes Luc Weizmann. Elle est d'autre part la réponse optimisée à un ca-

hier des charges incluant des contraintes techniques fortes.

L'un des atouts majeurs de la membrane textile, à savoir être utilisée comme matériau structurel, permet ici de franchir des portées importantes, sans points d'appuis intermédiaires ni ossature secondaire porteuse à l'aplomb des bassins.

Ces propriétés correspondent à un fonctionnement mécanique et à des formes de structures très particuliers. Les textiles à usage technique, composés ici d'un tissu à chaîne et trame en polyester et d'un revêtement-enduction en PVC, n'ont pas la capacité à transmettre ni effort tranchant ni moment fléchissant.

Les charges extérieures sont donc uniquement équilibrées par efforts membranaires (efforts normaux de traction), caractéristiques d'un comportement

Figure 2
Modèle général
de simulation
numérique Optiflow
*General Optiflow
digital simulation
model*



Figure 3
Modèle de simulation
numérique Optiflow.
Zoom sur deux lignes
de modules
*Optiflow digital
simulation model.
Close-up view of two
lines of modules*

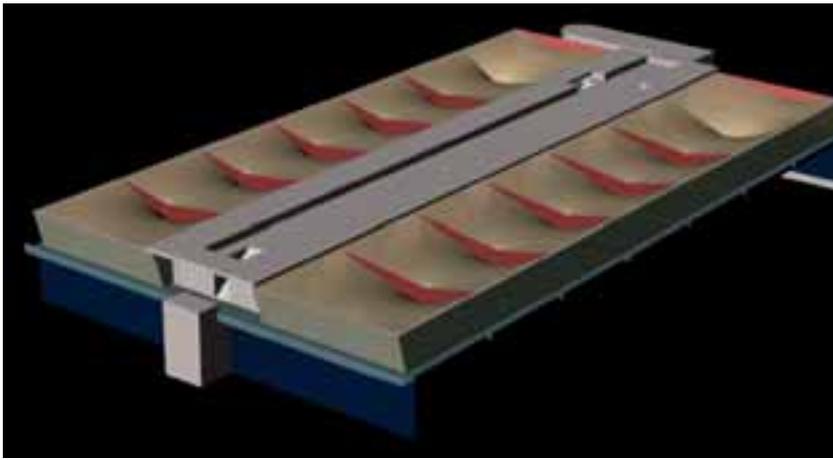
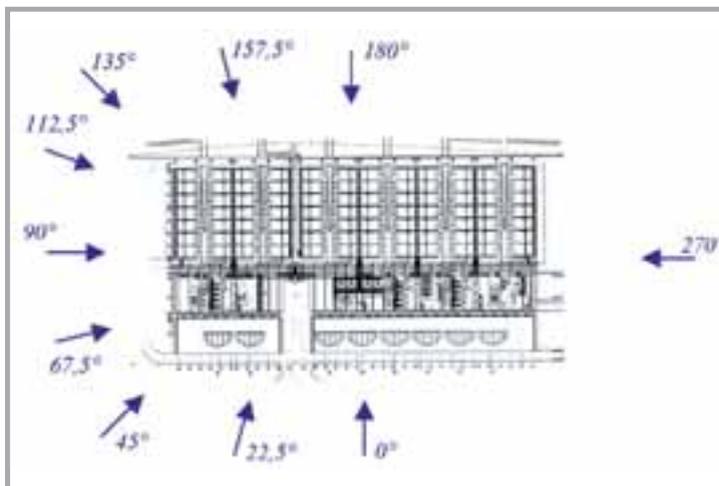


Figure 4
Simulations numériques
Optiflow. Directions
étudiées
*Optiflow digital
simulations. Directions
studied*



► linéaire géométrique dit "à grands déplacements". En corollaire, les structures sont caractérisées par des surfaces gauches à double courbure inverse, double courbure nécessaire tant pour la stabilité sous précontrainte initiale, que pour équilibrer les charges extérieures dans les différentes directions.

Cet ensemble impose la mise en œuvre d'outils de calcul adaptés, permettant la détermination des formes des membranes sous prétension, les calculs non linéaires sous combinaisons de charges, et l'établissement des descentes de charges sur les ouvrages de charpente métallique. En phase d'études, les intervenants sont le cabi-

net d'architectes Luc Weizmann, le groupement Génie civil, le bureau d'études Arcora (missionné pour la réalisation des études d'exécution de la charpente métallique et des membranes textiles), et Socotec (missionné par le groupement Génie civil en tant qu'organisme de contrôle externe des études d'exécution).

Lors des premières réunions techniques, il est décidé de compléter la démarche de calculs par une phase préliminaire de détermination par simulation numérique des effets du vent sur les ouvrages. Cette décision est guidée par la prise en considération des géométries complexes des couvertures textiles, dans des configurations non directement traitées par les règles en vigueur pour les charges de vent (NV65 ou Eurocodes), les incertitudes quant à l'influence sur les coefficients de pression de la perméabilité des tympans textiles ajourés, la localisation particulière du projet en vallée de Seine, et enfin la volonté des constructeurs d'optimiser les dimensionnements des structures à caractère répétitif, dans une logique industrielle.

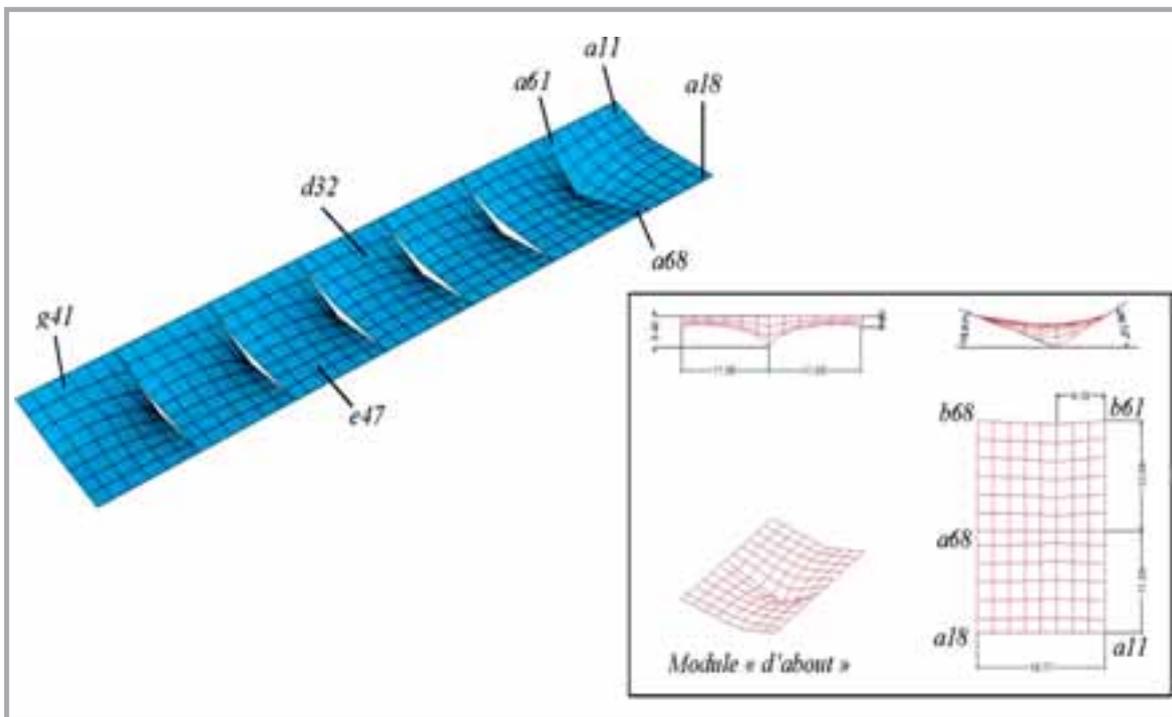
■ SIMULATIONS NUMÉRIQUES DES EFFETS DU VENT

Les simulations numériques ont été conduites par le bureau d'études spécialisé Optiflow, sur la base d'un cahier des charges défini par Arcora en collaboration avec Socotec.

Les paramètres définis dans l'Eurocode 1 (vitesse de référence, rugosité, hauteur de rugosité) ont permis de définir les profils de vitesse de vent et d'intensité de turbulence imposés aux frontières du domaine de calcul utilisé dans les simulations. Le modèle numérique intègre les formes d'équilibre des couvertures textiles pré-établies par Arcora, ainsi que tout l'environnement proche des bassins : bâtiment technique, ouvrages de dénitrification notamment (figures 2 et 3).

Tenant compte des différentes symétries des ouvrages et de la configuration générale du site, dix directions d'incidence de vent ont été étudiées, dans deux configurations enveloppes pour la perméabilité des tympans ajourés périphériques : une configuration dite "ouverte" qui correspond à la prise en compte d'une perméabilité à l'air de 100 %, une configuration dite "fermée" qui correspond à la prise en compte d'une perméabilité à l'air de 0 % (figure 4).

Le traitement et l'analyse des résultats des simulations ont porté sur les efforts moyens maximaux sur chaque ligne de biofiltres nitrifiants et sur les coefficients de pression de pointe en faces inférieures et supérieures de chaque module de toile. Au final, la concertation établie entre Optiflow, Arcora et Socotec a conduit, après ce travail d'interprétation, à retenir sept cas de vent dimensionnants pour les couvertures et les tympans textiles.



Figures 5 et 6
Simulations numériques
Optiflow.
Zones de post-traitement
sur une ligne complète
de modules et sur module
d'about

Optiflow digital simulations.
Post-treatment areas
on a complete line of modules
and on end module

Les cas les plus défavorables pour les modules de couverture correspondent à la configuration "ouverte".

■ CALCULS NON LINÉAIRES DE LA MEMBRANE TEXTILE

Pour les calculs de membrane textile, Arcora utilise un outil complet couvrant les diverses étapes allant de la modélisation à la découpe. Cet outil est articulé autour du programme PAM-LISA™, développé initialement dans les années 1970 par Eberhard Haug à l'université de Berkeley (Californie, USA), code de calcul aux éléments finis spécialisé dans l'analyse tridimensionnelle non linéaire de structures légères composées de câbles et membranes. L'étape préliminaire des calculs est la recherche de la forme d'équilibre des toiles, après maillage des surfaces définies par les contours correspondant aux supports de charpente métallique. Une ligne complète de sept modules de couverture est ici modélisée.

La détermination de la forme d'équilibre est effectuée à partir d'une des méthodes les plus performantes de recherche de forme, dite de la "bulle de savon", qui soumet la membrane à une tension uniforme dans les différentes directions. Les surfaces ainsi déterminées ont pour caractéristiques d'être à double courbure inverse, et de surface minimale. On étudie ensuite le comportement de la structure textile sous les différentes combinaisons de charges réglementaires : prétension, poids propre, neige, vent. Du fait du comportement non linéaire des membranes, toutes les combinaisons font l'objet d'un calcul indépendant, pour déterminer les déformées et les contraintes dans les toiles, ainsi

que les descentes de charges sur les supports de charpente métallique.

Spécifiquement, les charges de vent correspondant aux pressions de pointe fournies par Optiflow sont appliquées à un découpage du maillage éléments finis des membranes déterminé en amont, suffisamment précis pour conserver une représentativité des variations de pression sur les surfaces (figures 5 et 6).

Le traitement des résultats présente plusieurs volets, correspondant aux différentes justifications préconisées dans les "Recommandations pour la conception des ouvrages permanents de couverture textile" (*Annales du Bâtiment et des Travaux Publics* - septembre 1997), texte actuellement référent en France pour la conception et le calcul des membranes textiles.

On vérifie en premier lieu les critères de stabilité de forme des modules de couverture, soit **l'absence d'inversion de courbure** sous les combinaisons linéaires incluant la neige et le vent normal, ainsi que **l'absence de poches** susceptibles de recueillir et d'accumuler l'eau sous combinaison incluant la neige extrême.

Des coupes dans les deux directions principales sont réalisées sur les déformées de chaque module.

La conservation de la double courbure inverse, et d'un niveau conséquent minimal de tension dans les deux directions, a pour but d'accroître la durabilité des toiles : on évite les détensions globales qui accélèrent le vieillissement. En complément, la prétension assure localement le filtrage des contraintes dynamiques du vent, et permet d'écarter tout "flottement destructeur".

La vérification que les pentes des modules sont suffisantes permet d'écarter un mode de ruine pos-

Figure 7
Résultats PAM-LISA.
Graphes de contraintes
principales en chaîne
PAM-LISA results. Graphs
of chained main stresses

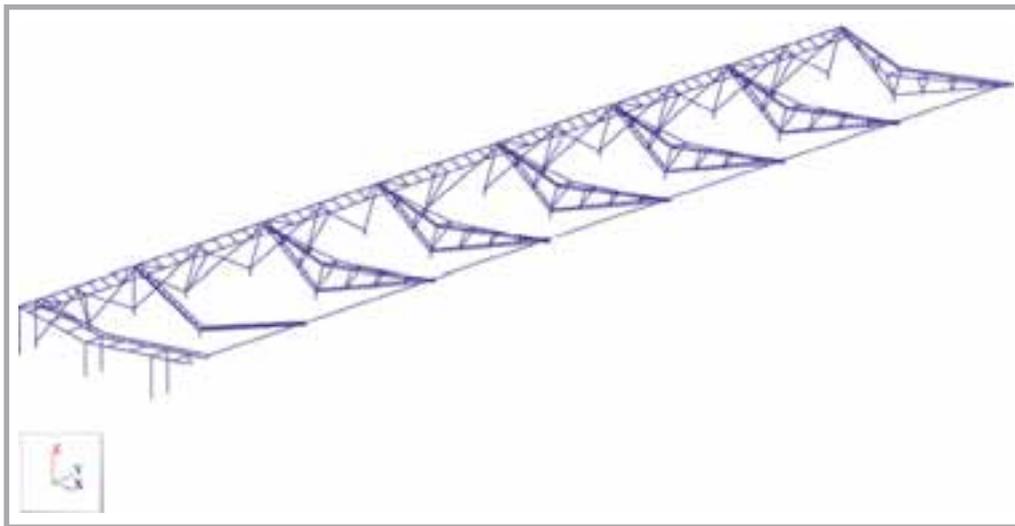
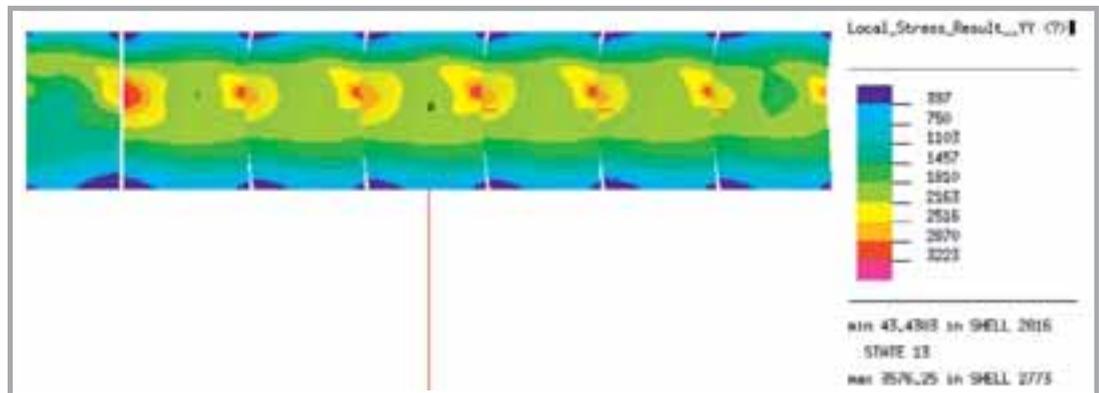


Figure 8
Modèle
de calcul Robot
Robot calculation
model

sible par rupture de la membrane sous accumulation d'eau (effet de poche).

En deuxième lieu, on réalise le dimensionnement des toiles, en déterminant les tensions de calcul en chaîne et en trame, sous combinaisons de charges pondérées. Les tensions de calcul sont comparées à des tensions de dimensionnement en partie courante (pleine toile) et dans les zones d'attache (zones de fixation à l'accastillage). Des coefficients de sécurité sont ici appliqués par rapport à la résistance moyenne à la traction uniaxiale en chaîne ou en trame. Ces coefficients sont pour cette étude d'environ **4.5**, et résultent de la prise en compte de plusieurs paramètres de fabrication et de mise en œuvre, tels que : surface de chaque module, niveau de pollution du site, qualité de la toile et des soudures (figure 7).

■ CALCULS DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

Les calculs de la charpente métallique sont effectués sur la base des descentes de charges de la membrane textile **sous toutes les combinaisons réglementaires** non pondérées et pondérées. Ces descentes de charges sont déterminées aux points d'appui de la membrane, nœuds de contour

des maillages placés à un pas d'environ 0,5 m le long des tubes de laçage des toiles sur toutes les poutres supports : poutres tridimensionnelles transversales, poutres planes longitudinales, et sous-face des casquettes béton préfabriqué.

De même que pour la toile, un modèle complet d'une ligne de charpente métallique support est mis en œuvre, sous le logiciel Robot Millenium (figure 8).

La discrétisation des barres supports de la membrane correspond à la discrétisation adoptée pour les modèles des toiles, ce qui permet une utilisation directe des descentes de charges aux nœuds d'appuis. La mise en œuvre d'un modèle complet permet de plus une optimisation des dimensionnements des différentes familles de poutres, en fonction de leur localisation sur la ligne et des charges (notamment de vent) appliquées.

Enfin, les descentes de charges de la charpente métallique sur les supports béton sont déterminées, avec le repérage et la localisation des nœuds d'appuis par famille, permettant là encore l'optimisation du dimensionnement des supports.

■ LA CONTINUITÉ DU CYCLE COMPLET DE CALCUL

Les études d'exécution des structures métallo-textiles des biofiltres nitrifiants constituent un exemple probant de la continuité du cycle complet de calcul, allant de la détermination des effets du vent par simulations numériques, jusqu'à l'établissement des descentes de charges sur les ouvrages béton. Chaque étape du cycle est ainsi reliée aux étapes précédentes et suivantes par des passerelles permettant l'exploitation automatisée des résultats, par utilisation poussée des outils informatiques. Cette automatisation a été conduite sur la base d'outils éprouvés mis en œuvre par des acteurs expérimentés, en respectant un cadre de vérifications et validations clairement défini pour chaque phase, dans un objectif de fiabilité partagé par l'ensemble des intervenants de l'étude. Cette démarche permet de mieux appréhender le comportement physique des structures, envisagées ici dans leur

ensemble et soumises à des sollicitations se rapprochant des effets climatiques réels.

Elle ouvre enfin des perspectives de couplage entre le logiciel d'écoulement de vent, le logiciel de calcul de la membrane et celui de calcul de la charpente métallique. Ce couplage pourrait notamment permettre de tenir compte, par itérations successives, de l'interaction entre les déformations des membranes textiles dues au vent, et les effets du vent.

Des études et validations seront néanmoins indispensables, pour mesurer l'intérêt pratique du niveau de précision permis par cette amélioration théorique pour ce type de bâtiment.

ABSTRACT

Design calculation of the metal-textile covers of nitrifying biological filters

E. Viglino, P. Maître

The detailed design of the metal-textile structures for the six nitrifying biological filter units located in the northern part of the project are a convincing example of the continuity of a full cycle of design calculation through the extensive use of IT resources.

The first stage of the cycle involved determining the effects of wind by digital simulations, on a model factoring in the equilibrium shapes of the textile covers. Nonlinear calculations and verifications were then performed on the textile membranes, in accordance with the "Recommendations for the design of permanent textile covering structures", by means of the PAM-LISATM software.

The final stage was justification of the supporting steel structures, and determination of the forces transferred to the concrete structures, all this being performed on the basis of the canvas loads carried to the ground applied in automated loading.

RESUMEN ESPAÑOL

Cálculo de las coberturas metalo-textiles de los biofiltros nitrificadores

E. Viglino y P. Maître

Los estudios de ejecución de las estructuras metalo-textiles de los seis conjuntos de biofiltros nitrificadores ubicados al norte del proyecto, constituyen un perfecto ejemplo de la continuidad de un ciclo completo de cálculo mediante intensa utilización de herramientas informáticas.

La primera etapa del ciclo de cálculo ha consistido en determinar los efectos del viento por medio de simulaciones digitales, en un modelo que integra las formas de equilibrio de las coberturas textiles.

A continuación se ha realizado los cálculos no lineales y las verificaciones de las membranas textiles, con arreglo a las preconizaciones de las "Recomendaciones para es establecimiento del concepto de las estructuras per-

manentes de cobertura textil", mediante el software PAM-LISATM.

La última etapa ha sido la justificación de las estructuras metálicas de soporte, y la determinación de los esfuerzos soportados por las estructuras de hormigón, el conjunto ejecutado sobre la base de los descensos de cargas de la tela aplicados en cargamento automatizado.

Le projet scénographique

Acteur majeur de la protection de l'Environnement, le SIAAP a le souci d'exposer au grand public le contenu et les enjeux de sa mission. C'est un moyen pour encourager les citoyens, petits ou grands, à mieux gérer leur consommation d'eau et préserver ainsi cette ressource qui, pour être naturelle, n'en est pas moins continuellement recyclée par ses soins pour l'agglomération parisienne.

Dans ce contexte, le SIAAP a fait appel, sur concours, à la scénographe Brigitte Bouillot, de l'agence parisienne "Le Potager Design", lui confiant la mise en scène du circuit découverte de l'unité de Nitrification/Dénitrification Seine Aval.

Des images - maquettes de matières ou d'éléments symbolisent l'eau circulant au sein de l'usine pour se régénérer

Images of materials and elements symbolise the water circulating in the plant for regeneration

1



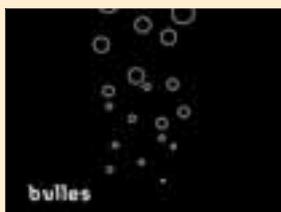
2



3



4



5



6



7



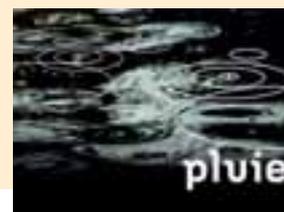
8



9



10



■ "CAPTIVER LE PUBLIC LE PLUS LARGE"

Pour cette nouvelle mission – qui fait suite au parcours qu'elle a déjà signé pour l'unité de "clariflocculation" du même site d'Achères en 2000 – Brigitte Bouillot fait équipe avec le designer Benoît Millot. Dans le cadre de ce projet, tous deux collaborent étroitement avec l'architecte Luc Weizman afin que la scénographie mise en place soit en adéquation avec le concept architectural. Leur objectif premier : "captiver le public le plus large" afin que tout visiteur se sente interpellé, voire impliqué lors des différentes étapes du parcours de visite.

Pour ce faire, l'équipe de scénographes, en collaboration avec le réalisateur Sébastien Jousse, a recours aux "images de notre quotidien". "Pour mon premier travail sur une station d'épuration à Rouen, j'avais osé de simples objets ménagers pour illustrer les différentes phases du traitement de l'eau : une passoire pour le tamisage, une essoreuse à salade pour la centrifugation, un tire-bouchon pour les vis de relèvement... précise Brigitte Bouillot, expliquant sa démarche. Pour le projet de Nitrification, nous avons adopté le même type d'approche : le souci constant de donner aux visiteurs des repères simples, puisés dans leur quotidien, afin de leur rendre accessible un univers à première vue technique et froid et d'y replacer une échelle humaine". Le très jeune public doit s'y retrouver aussi. Et la scénographe de souligner son attachement à tous les publics : "Il n'y a pas lieu de distinguer entre adultes et enfants, à partir du moment où ils abordent, les uns et les autres, un domaine à découvrir. Il s'agit de les étonner et, par là, de susciter leur curiosité sur le "devenir" des eaux usées, ces effluents qu'on oublie très vite, dès qu'ils sont rejetés et que l'on ne veut même pas regarder". Leur quantité (30 000 m³ par jour en Ile-de-France pour les effluents domestiques) explique à elle seule le gigantisme des installations.

du parcours de visite

Mais, "c'est surtout l'enjeu principal de cette usine – cet énorme travail permettant aux eaux usées de retourner purifiées à la nature – qu'il est enthousiasmant de montrer, parce que largement insoupçonné. L'usine, sous cet angle, peut être perçue comme un vecteur biologique, dans la mesure où elle sépare des éléments en mélange confus, afin que l'air retourne à l'air, la terre à la terre, et l'eau à l'eau".

■ LES ÉTAPES DU PARCOURS DE VISITE

Le concept architectural d'organisation des visites permet de suivre, sur plusieurs niveaux, le cheminement de l'eau et la fonctionnalité des équipements, et d'appréhender la dimension environnementale du projet.

Après l'accueil dans le hall d'entrée où il découvrira l'œuvre du sculpteur Jean-Paul Philippe, le visiteur accède à une salle multimédia pour une présentation audiovisuelle du principe général de fonctionnement de l'usine. Dans cette salle, des questions viendront se projeter sur les murs, sur les sièges pour une première sensibilisation à l'univers d'épuration de l'eau.

A un niveau intermédiaire, une maquette de l'usine à grande échelle et deux autres maquettes représentant les process de traitement seront exposées. Au niveau supérieur, le visiteur pourra emprunter la passerelle reliant les postes de pompage qui court sur 600 m de long. Puis il découvrira la salle de commandes où des hommes pilotent et surveillent les installations, les tours de désodorisation et surtout, parmi les espaces techniques, les bassins où s'opèrent les opérations de nitrification.

Ils accéderont également dans les sous-sols du bâtiment où s'opère la dénitrification... Tous ces processus successifs qui permettront d'éliminer l'ammoniac contenu dans les eaux traitées.



11



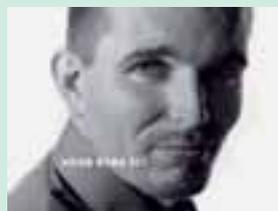
12



13



14



15



16



17



20



19



18

Des projections lumineuses rappellent le lien vital entre l'eau et le quotidien du visiteur

Light projection displays give a strong reminder of the human aspect of the project and of the vital link between water and the visitor's everyday life

Des essais préalables de projections ont permis d'ajuster le projet scénographique au concept architectural de l'usine

Preliminary projection tests allowed the planned show to be adjusted to the architectural concept of the plant



LE PRINCIPE SCÉNOGRAPHIQUE DU PARCOURS

Jalonnant le parcours, chaque étape de la visite est organisée, déclinée, animée en alternance, par des images, des sons et des lumières, interpellant les sens du visiteur pour susciter sa curiosité voire l'étonner.

En écho à la technologie de pointe développée dans l'usine, des écrans plasma et des projecteurs diffusent des images de techniciens au travail, d'utilisateurs de l'eau dans leur quotidien, de matières traitées, d'éléments aquatiques, de schémas. Des casques individuels diffusent des commentaires en voix off et des bruits d'ambiance évocateurs de flux, de masses d'eau, du travail des machines et même des bactéries, à l'œuvre dans la digestion de l'ammoniac. A l'instar de l'eau circulant sous les pieds du visiteur pour se recycler au sein de l'usine, les projections et les diffusions d'images en mouvement questionnent, informent, rappelant sans cesse la dimension humaine de l'unité.

Outre le support pédagogique diffusé grâce au matériel audiovisuel, des guides accompagneront les visiteurs afin de répondre aux questions des plus curieux.

A chaque étape, le visiteur pourra également appréhender l'ampleur des installations, à la mesure des volumes traités et de la complexité de la tâche.



Les travaux en partenariat

Terrassements : un chantier et des moyens à deux vitesses



A l'été 2004, huit semaines ont suffi à Deschiron, GTM Terrassement et Roland pour effectuer les terrassements de la fouille principale (250 000 m³ de déblais)

In the summer of 2004, eight weeks were all that was needed for Deschiron, GTM Terrassement and Roland to perform the earthworks for the main excavation (250,000 cu. m of earth cuts)

TERRASSEMENTS EN BREF

- Déblais : 400 000 m³ (dont 250 000 m³ en grande masse et 150 000 m³ en petits volumes)
- Remblais : 200 000 m³
- Effectif : 30 au pic d'activité
- Composition de l'équipe : un directeur de travaux, un conducteur de travaux, un laborantin et un topographe en fonction des besoins, des chefs d'équipe selon les ateliers

Après la réalisation par Deschiron en 2003 des déblais (100 000 m³) nécessaires aux fouilles archéologiques menées par l'Inrap*, le groupement sous-traitant des terrassements, associant Deschiron (Sogea Construction – groupe VINCI), mandataire, GTM Terrassement (groupe VINCI) et Roland (groupe Eiffage), a révisé ses plans au moment d'entrer en action à l'été 2004.

"Pour respecter un délai réduit de moitié par rapport à ce qui avait été prévu, nous avons renoncé à employer uniquement les pelles et les tombereaux classiques et décidé de mobiliser un échelon de scrapeurs en complément de tombereaux

articulés de 25 à 40 t, de pelles de 20 à 60 t, de niveleuses asservies GPS, de bulldozers et de camions routiers", indique Frédéric Privé, directeur d'exploitation chez Deschiron. Six semaines de travail dans un terrain favorable (graves alluvionnaires insensibles à l'eau) ont ainsi permis de réaliser les terrassements généraux (250 000 m³ de déblais) nécessaires à la réalisation de la plate-forme de 10 ha environ destinée aux nouvelles installations, aux voiries, et, aux fondations principales de la future usine de nitrification/dénitrification.

■ UN PLANNING RÉGLÉ AU MILLIMÈTRE

À cette première tranche, à laquelle s'étaient ajoutés des travaux annexes de démolition, d'enrobés et d'ouvrages hydrauliques en PEHD (3 000 m), a succédé à partir de 2005, une série d'interventions adossées au planning du gros œuvre pour l'amé-

* Les diagnostics des équipes de l'Institut national de recherches archéologiques préventives ont été effectués sur une surface exceptionnellement vaste de 19,5 ha. Ils ont permis d'établir l'existence d'un ancien chenal de la Seine et de relever des traces d'occupation de l'époque néolithique (culture Cerny - 6 000-5 000 av. J.-C.) et, dans une moindre mesure, de la période gallo-romaine, qui ont justifié l'ouverture d'une campagne de fouilles.



Sous le futur canal d'amenée, terrassement et réalisation du lit de pose d'un siphon. Exécutée au point le plus bas de la fouille, l'opération a imposé la mise en place d'un rabattement de nappe par pointes filtrantes

Under the future entrance channel, earthworks and execution of the bed for laying a siphon. Executed in the lowest point of the excavation, the operation required installing a wellpoint system for groundwater lowering



agement des plates-formes de canaux, de canalisations et des ouvrages de génie civil ainsi que pour la réalisation de remblais contigus.

"Nous qui sommes accoutumés aux horizons dégagés des grands travaux, nous nous sommes retrouvés là dans des conditions radicalement différentes : un planning réglé au millimètre et un es-

pace marqué par une très forte coactivité" commente Frédéric Privé.

L'exécution de ces travaux dans des emprises confinées a imposé d'utiliser un matériel spécifique, pouvant accéder à proximité immédiate des structures de l'usine en construction, de mettre en place des procédures de sécurité spéciales et d'utiliser des équipements de protection inhabituels, tels des harnais pour le personnel intervenant en bordure de fouille.

"Nous avons un peu l'impression de travailler dans une fourmière, indique Frédéric Privé, mais le travail de qualité de l'encadrement génie civil/terrassement et la mise en commun de l'expérience propre de chaque entité – Deschiron, GTM Terrassement et Roland – a permis de faire face à toutes les tâches dans les meilleures conditions et de s'intégrer sans fausse note dans la partition complexe du génie civil."



Tandis que s'achèvent les terrassements de finition, d'une qualité impressionnante, les canaliseurs investissent la place. Au premier plan, fondations spéciales au droit d'un flottateur. Au second plan, le mur de soutènement qui marque le début de la zone Biostyr®, en surplomb

While the finishing earthworks, of impressive quality, are completed, the pipe layers move onto the site. In the foreground, special foundations at the level of a flotation unit. In the background, the retaining wall which marks the start of the Biostyr® area, overhanging

Réseaux enterrés : au rythme du gros œuvre

Michel Granval



CHEF DE SECTEUR
Sobeia Environnement

Nicolas Duroy-Duguet



CONDUCTEUR
DE TRAVAUX -
RESPONSABLE
DES TRAVAUX
DE CANALISATION
Eiffage TP

Pour l'agence d'Herblay de Sobeia Environnement (Sogea – groupe VINCI), mandataire du groupement formé avec Eiffage TP, DLE et Coca Nord-Ouest (GTM Construction – groupe VINCI) pour le lot réseaux enterrés, l'usine du Siaap à Achères n'est pas un client nouveau puisque l'entreprise est de longue date titulaire d'un contrat d'entretien à l'usine. "Ce qui était nouveau, en revanche, c'était d'intervenir comme sous-traitants, observe Michel Granval, chef de secteur (Sobeia Environnement), mais nous avons pu travailler dès l'amont avec Eric Charpaud, l'ingénieur chargé des réseaux au sein du groupement de gros œuvre, pour établir un phasage rationnel des interventions des réseaux les plus profonds aux plus superficiels, et nous organiser pour répondre de façon très réactive aux demandes du génie civil. Notre organisation en groupement nous a par ailleurs donné de la souplesse dans la gestion de nos effectifs et la coordination de cette opération avec nos autres activités. Enfin, sur le terrain, l'expérience en génie civil de Nicolas Duroy-Duguet, le conducteur de travaux (Eiffage TP) responsable des travaux de canalisation, a favorisé la bonne articulation des interventions de nos équipes avec celles de gros œuvre."

Esquissée dans ses grandes lignes dès l'appel d'offres pour déterminer une enveloppe budgétaire, l'intervention des canaliseurs s'est en fait réorganisée en une multitude de chantiers à exécuter au fur et à mesure de l'avancement du gros œuvre, comme autant de marchés à commande. Seule exception : l'installation des fourreaux bétonnés du réseau multitubulaire (environ 1.000 m) pour l'alimentation électrique (cantonnements, grues, chantier), réalisée en juin 2004, juste avant l'entrée en scène des terrassiers.

■ SIX SIPHONS POUR LES EAUX DE LAVAGE DES BIOSTYR®

Dès la fin août et jusqu'à septembre, les travaux se poursuivent avec la réalisation, à intervalles de 50 m sous le futur canal d'amenée à l'unité de nitrification, de six siphons en 1.600 PRV (tuyau de fibre de verre et de résine de diamètre 1.600 mm) destinés à acheminer les eaux de lavage des filtres Biostyr® vers la zone de flottation des boues. "Ces canalisations, longues de 8 m et équipées de coudes à 90° (fabriqués sur mesure) ont été mises en place avant le bétonnage des radiers dans la zone la plus



Dans les tout premiers aménagements de la fouille, le mur de soutènement en L, réalisé par le groupement des canaliseurs, délimite la plate-forme Biostyr®, à gauche, et la zone du canal d'amenée et des bâtiments techniques

In the very first excavation developments, the L-shaped retaining wall, executed by the pipe laying consortium, demarcates the Biostyr® platform, on the left, and the entrance channel and process building area



Dans la perspective du futur canal d'amenée, le long du mur de soutènement, le premier des six siphons en PRV 1.600 qui achemineront les eaux de lavage des filtres Biostyr® vers les flottateurs est quasiment achevé

For the future entrance channel, along the retaining wall, the first of the six 1.600 mm GRP siphons that will convey the Biostyr® filter washing waters to the flotation units is practically completed



Réseau d'assainissement. Installation des puits de visite dans la zone flottateurs et illustration du voisinage rapproché des travaux des génie-civilistes, des canaliseurs et des corps d'états secondaires (charpente en lamellé-collé)

Sewerage network. Installation of inspection shafts in the flotation unit area and illustration in the close vicinity of the work of the civil engineers, pipe layers and secondary trades (glued laminated structure)



Les méthodes ont élaboré un outil spécial permettant d'emboîter les conduites PVR 3000

Process Engineering worked out a special tool for inserting the 3000 mm GRP pipes

Réseau PEHD 315 sous pression pour le refoulement des boues vers les unités de traitement

Pressurised 315 mm HD polyethylene network for discharging sludges to the treatment units

Au fond, à droite, l'usine en construction. Au premier plan, la zone de dispatching.

A gauche, réalisation du canal d'amenée depuis la station existante; à droite, les trois conduites en PRV 3000 du rejet en Seine

In the background, on the right, the plant undergoing construction.

In the foreground, the dispatching area.

On the left, construction of the entrance channel from the existing station; on the right, the three 3000 mm GRP pipelines for discharge into the Seine



profonde (cote 17, alors que le terrain naturel est à la cote 25,50), explique Nicolas Duroy-Duguet, ce qui a nécessité un rabattement de la nappe alluvionnaire."

De la fin 2004 à avril 2006, en phase avec l'exécution des remblais, qui contraint à travailler par petits tronçons, les canaliseurs s'attaquent ensuite à deux réseaux mettant également en œuvre des conduites en PRV. Le premier, en diamètre 1100 (120 m), connecte l'unité de dénitrification (Biofor®) aux flottateurs. Le second, en diamètre 900 (300 m de longueur totale), aménagé sous le canal d'amenée, est réservé à l'acheminement de l'air vicié de cette même unité vers les colonnes de désodorisation des bâtiments techniques. En novembre 2004 est réalisée un premier tronçon (300 m) du réseau d'assainissement classique (en 315 PVC) puis, en juin 2005, le réseau sous pression en PEHD 315 pour le refoulement des boues vers les unités de traitement de l'UPEI (Unité de production des eaux et irrigations).



■ TROIS LIGNES DE 100 M EN 3000 PRV

Les canalisations les plus importantes, des PRV 3000, ont été mises en place entre novembre 2005 et janvier 2006 pour acheminer vers la Seine les eaux de rejet de l'unité de dénitrification. Il s'agit de trois lignes de 100 m qui se raccordent aux canaux en béton armé par l'intermédiaire de réservations dans les voiles et prennent place sur des plates-formes préparées par le groupement des terrassiers. "Ce lot a été le plus compliqué à plusieurs égards, explique Nicolas Duroy-Duguet. Tout d'abord, ces tuyaux longs de 12 m (9,5 t) posaient un problème de stockage, et il a fallu organiser leur livraison en "juste à temps" depuis l'Espagne avec le fabricant (APS Flowtite). Dans la mise en œuvre, des solutions ont aussi dû être trouvées pour l'assemblage, car ces tuyaux s'ovalisent légèrement sous leur poids propre, horizontalement quand ils sont posés au sol, et verticalement quand ils sont manœuvrés par la grue. Nous avons donc dû mettre au point un outil spécial adaptable sur une pelle pour les emboîter par poussage. Afin de garantir la qualité du remblai dans la zone inférieure du tuyau (enterré à 8 m de profondeur au terme du chantier), un berceau en remblai liquide a également été mis en œuvre. La réalisation de ce dernier a elle aussi conduit à faire preuve d'inventivité puisque le matériau coulé dans le coffrage exerçait sur la conduite une pression qui la faisait remonter. Un système de sangles arrimées sur des lests béton a finalement permis de respecter les tolérances fines de ± 20 mm du fil d'eau."

A sept mois de la mise en route de la station, en janvier 2007, et en dehors du réseau d'air vicié (900 PRV), dont 120 m ont été réalisés en quatre tronçons, les opérations les plus complexes sont donc achevées, mais il reste encore au groupement à réaliser quelque 800 m de réseau d'assainissement, 1000 m de réseau défense incendie tout autour de l'usine (en fonte, sous pression), 4000 m de fourreaux pour l'éclairage public et le réseau de biogaz (PEHD 110).

Jean-Marc Provot

DIRECTEUR TECHNIQUE
Caillaud Lamellé Collé

Dominique Bernier

RESPONSABLE AGENCE DE PARIS
Caillaud Lamellé Collé

Les structures en charpente "bois lamellé collé"



Livraison des poutres de 42 m en lamellé collé destinées au bâtiment technique

Delivery of 42-metre glued laminated beams intended for the process building

Caillaud LC (Lamellé Collé) maîtrise de longue date la réalisation de structures en charpente bois lamellé collé, de la conception jusqu'à l'installation sur site. Elle s'appuie pour ce faire sur son propre bureau d'études, qui intervient tant en amont des projets qu'en phase d'exécution. Caillaud peut produire dans ses usines des poutres de 45,00 m de longueur, dont le taillage est confié à des compagnons charpentiers assistés de machines de fortes capacités. Les transports des éléments de grandes longueurs sont également pris en charge en interne ainsi que la pose définitive sur les chantiers.

■ SATISFAIRE LES EXIGENCES DU CONCEPT ARCHITECTURAL

Dans le cadre de la construction de l'unité Nitrification Seine Aval, le groupement de génie civil a confié à l'entreprise Caillaud LC la réalisation de la structure en bois lamellé collé prévue dans le projet. L'objectif premier a été de répondre aux exigences du concept architectural avec un produit industriel et économique. L'ensemble des réflexions a donc porté :

◆ en phase amont, sur une recherche d'opti-

sation de la structure sur les appuis béton, en modifiant les ancrages – grands consommateurs d'acier inox – qui devaient être encastrés avec les poutres bois lamellé collé ;

◆ sur l'optimisation et la simplification des assemblages dans le but d'uniformiser les connexions entre les éléments principaux et secondaires ;

À CHANTIER D'EXCEPTION, CHIFFRES D'EXCEPTION

- Le bâtiment technique de l'usine d'Achères est couvert par 26 "bipoutres" de 40,00 m de longueur. Les bipoutres sont réalisées avec deux poutres de 16,5 cm d'épaisseur et d'une hauteur moyenne de 1,25 m, qui ont été livrées par sept convois exceptionnels de 45,00 m roulants. L'ensemble de la structure a nécessité 1 380 m³ de bois lamellé collé, soit l'équivalent de 40 semi-remorques, façonnés auparavant pendant 6 500 heures dans l'usine de Caillaud LC à Chemillé (Maine-et-Loire). Les assemblages ont utilisé 25 t d'inox. Les études réalisées par les ingénieurs de l'entreprise ont requis 980 heures de travail.
- Le platelage spécifique en bois lamellé collé d'épaisseur 30 mm couvre 6 120 m².
- Enfin, ce chantier, dont le montant s'élève à 1,55 M€ HT pour Caillaud LC, est resté au planning de l'entreprise depuis août 2005 jusqu'à juillet 2006.

Amenée d'une poutre de toiture en lamellé collé, longueur 42 m

Bringing in a glued laminated roofing beam, 42 metres long



Sous-face de la toiture au niveau du local tours de désodorisation

Underside of the roofing at the level of the deodorising tower room



Détail d'un appui de poutre de toiture en lamellé collé situé au niveau de la file 18 côté sud

Detail of a glued laminated roofing beam support at the level of row 18, southern side

à disposition des zones en réalisant des livraisons de type "flux tendu".

L'une des caractéristiques de l'usine de Nitrification Seine Aval est l'intervention simultanée de différents corps d'état sur des surfaces réduites. Les temps d'intervention étaient comptés et planifiés au plus juste, les utilisations des grues gérées dans un planning qui ne permettait pas les dépassements sans incidence certaine sur les corps d'état connexes. Et bien sûr, avec une telle co-activité, l'approche sécurité était omniprésente tant dans les élaborations des méthodes d'intervention que dans le quotidien des travaux.

Pour ce chantier de référence, Caillaud LC a dû intégrer un suivi qualité spécifique, avec des contrôles externes continus, en plus des contrôles et suivis internes obligatoires dans le cadre des qualifications nationales Acerbois-Glulam et ISO 9001.

- ◆ sur la mise au point d'une variante du platelage de couverture sur 6000 m² en panneau lamellé collé de 30 x 450 mm de section. Toutes ces solutions ont été mises au point et affinées en coordination avec les équipes de génie civil responsables du chantier. Pendant la phase de réalisation, et dans le cadre de la réflexion sur l'esthétique du platelage support de couverture, Caillaud LC a adapté son produit pour l'habillage intérieur des tours de désodorisation, faisant de celles-ci un point phare du bâtiment technique.

■ GÉRER LES CONTRAINTES DU CHANTIER

L'une des principales contraintes de ce chantier a été le phasage atypique de pose, couplée à la grande difficulté de stockage sur place des poutres de 40,00 m de portée. Caillaud LC, grâce à la pré-fabrication des poutres en usine, a géré les mises

Caillaud LC, spécialisé dans la conception et la réalisation de structures en charpente bois lamellé collé est, depuis 2003, filiale de Vinci Construction France. Elle est intégrée au secteur Bois du groupe, composé également de Fargeot LC et de Satob Construction Bois. Elle réalise aujourd'hui un chiffre d'affaires de 9 millions d'euros et compte un effectif de 70 personnes.

La couverture des cellules de Biostyr® nitrifiants

La couverture des filtres Biostyr® (84 cellules de 16 m de long sur 11 m de large) a fait l'objet d'une étude spécifique en réponse à un cahier des charges respectant les contraintes liées au process : couvrir les cellules pour favoriser une pénombre préjudiciable au développement des algues à la surface de l'eau, ventiler naturellement les cellules, et conférer à l'ensemble du projet une structure architecturale en harmonie avec son environnement immédiat.

La couverture des cellules est constituée d'une superstructure métallique, une ossature en acier inoxydable reprenant la trame des cellules et s'appuyant sur leurs voiles séparatifs. Chaque cellule est couverte ensuite par une toile tendue comportant de vastes ouvertures triangulaires sur leurs tympans, des "ouïes" dont la fonctionnalité est la libre circulation de l'air. La succession de ces éléments confère à l'ensemble un effet sculptural.

Alors que les études préalables à cette superstructure ont été réalisées par Arcora (cf. article sur le "Calcul des couvertures métallo-textiles des bio-filtres nitrifiants"), la fabrication et l'installation de l'ossature métallique ont été confiées à Eiffel, tandis que la confection et l'amarrage de la toile tendue architecturée ont été l'œuvre de l'entreprise Esmery Caron.

■ LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

Ronan Laporte
CHARGÉ D'AFFAIRES CHANTIER ACHÈRES
SEINE AVAL
Eiffel

Eiffel est une filiale du groupe Eiffage, spécialisée dans la construction métallique, possédant à son actif la réalisation du viaduc de Millau, de la passerelle Simone de Beauvoir à Bercy, ou bien encore la réhabilitation du Grand Palais à Paris.

Sur le chantier Nitrification Seine Aval, Eiffel a la responsabilité du lot n° 2.1 "Charpente métallique" destinée à couvrir les douze batteries Biostyr® du bloc nitrification de la station d'épuration. L'ensemble de cette structure est en inox 316L.

L'équipe Eiffel chargée du montage est constituée de cinq monteurs, un chef de chantier et d'un chargé d'affaires auxquels viennent s'ajouter les entreprises sous-traitantes chargées de réaliser, entre



Photo 1
La couverture d'un bassin est constituée de huit poutres transversales tridimensionnelles, dont cinq courantes et trois "spéciales"

The cover of a basin consists of eight three-dimensional transverse beams, including five standard and three "special" beams

autres, les reprises de décapage passivation, ou bien encore la réalisation de la couverture en bac aluminium de la poutre portique.

Les travaux consistent à fabriquer et à monter l'ensemble de la charpente métallique sur les cellules du Biostyr® de la station d'épuration, ce qui représente environ 700 t d'inox.

Les sous-ensembles des poutres transversales ainsi que tous les autres éléments constitutifs de la charpente sont fabriqués par un sous-traitant de l'entreprise en région Rhône-Alpes. En ce qui concerne les sous-ensembles de poutres transversales, ceux-ci sont expédiés pour assemblage dans les usines Eiffel de Maizières-les-Metz et de Munch (Nancy), avant leur livraison sur le site. La pose de cette structure a débuté en octobre 2005 pour s'achever au cours du mois d'août 2006.

Une structure métallique complexe

La couverture d'une cellule est constituée de huit poutres transversales tridimensionnelles, dont cinq courantes et trois "spéciales". Les poutres transversales mesurent 17 m de long pour un tonnage allant de 4,7 à 7 t selon la poutre considérée (photo 1).



Photos 2 et 3

Une poutre portique assure la stabilité de l'ensemble de la structure pour une cellule, une poutre "simple" réalise la jonction entre la poutre portique et les poutres courantes

A gantry beam ensures the stability of the whole structure for a cell, while a "simple" beam joins the gantry beam to the standard beams

Photo 4

Des éléments "secondaires" constitués de sept poutres longitudinales assurent la jonction entre les poutres transversales, les huit poteaux principaux et les sept poteaux intermédiaires

"Secondary" components consisting of seven longitudinal beams provide a junction between the transverse beams, the eight main columns and the seven intermediate columns



Les trois poutres dites "spéciales" concernent la poutre "portique" assurant la stabilité de l'ensemble de la structure, et la poutre file 10 "simple" réalisant en quelque sorte la jonction entre la poutre portique et les poutres courantes. Enfin, la poutre dite "file 3", placée à l'opposé du bassin par rapport aux deux précédentes, se trouve être plus imposante en termes de dimensions et de poids, en raison de l'inclinaison de la structure en fin de cellule (photos 2 et 3).

Quant aux éléments "secondaires", ils sont constitués de sept poutres longitudinales assurant la jonction entre les poutres transversales, de huit poteaux principaux ainsi que de sept poteaux intermédiaires. Enfin, un système de tirants inox a été mis au point afin d'assurer le contreventement de la structure. Deux nuances d'inox ont été utilisées (1-4404 et 1-4418) dans le but d'optimiser le système (photo 4).

La base de cette charpente est réalisée par des rehausses scellées dans la coursière en béton, sur lesquelles viennent se fixer des cadènes, constituant la base des poteaux. A ces éléments viennent s'ajouter des tubes de laçage supérieurs et inférieurs permettant d'installer par la suite des toiles tendues sur la charpente métallique (hors prestation Eiffel). L'ensemble de ces éléments a été mis en œuvre au moyen de grues à tour.

D'un point de vue structurel, le point fixe de la charpente inox se trouve en partie centrale basse des poutres transversales. Celles-ci sont, d'un côté fixées en sous-face de casquette béton (en partie haute), et de l'autre, reliées aux poteaux principaux. La précision de l'implantation des rehausses et des cadènes est d'une importance capitale car elle conditionne le réglage de la charpente : en effet, la moindre erreur d'implantation serait préjudiciable au bon montage de l'ensemble de la structure.

Le principal challenge pour Eiffel réside dans la complexité de l'ouvrage, impliquant une fabrication rigoureuse des éléments et leur mise en œuvre sur le site.

La conception laissant place à des tolérances très faibles lors de la pose, la fabrication des poutres a nécessité une précision toute particulière ainsi que la réalisation de gabarits permettant d'obtenir des poutres aux dimensions très précises sur l'ensemble des douze cellules.



■ LA COUVERTURE EN TOILE TENDUE

Philippe Bariteau

DIRECTEUR ARCHITECTURE TEXTILE
Esmery Caron Structures



Les couvertures de salles de spectacles comme le Zénith à Paris, le Stadium de Toulouse et plus récemment la station d'épuration de Valenton constituent des réalisations de références signées par Esmery Caron Structures qui illustrent son savoir-faire dans ce domaine depuis plus de 25 ans. En sa qualité de spécialiste de ce type d'ouvrages d'Architecture Textile complexe, la société Esmery Caron Structures a été retenue pour réaliser les couvertures (enveloppes) des cellules de Biostyr®. Il s'agit de structures architecturales textiles en toile tendue, de forme originale et complexe, supportées par des arcs et des mâts. Des lés de tissus, de type membrane composite précontraint – polyester enduit de PVC, produit développé par Ferrari – sont modélisés, dessinés, façonnés et assemblés par soudure haute fréquence dans un ordre bien précis, reproduisant des surfaces prédéfinies à double courbure, conformes au projet imaginé par les architectes. La souplesse des matériaux utilisés et la rapidité de leur mise en œuvre permettent de construire des formes architecturales hardies, difficilement réalisables avec le béton dans les mêmes délais et de ce fait moins coûteuses (photo 5).

Couverture ou fermeture latérale des cellules : une toile sur mesure pour chaque usage

La toile préconisée par l'entreprise pour ce chantier pèse 2 kg/m² et résiste à un étirement de plus de 2 tonnes au mètre carré. Elle est constituée d'un tissu polyester présentant plusieurs avantages : outre la longévité, le choix de la couleur et l'étanchéité à l'eau, l'enduit PVC double-face protège les cellules des infiltrations UV, et permet l'assemblage des lés par soudure haute fréquence. La surface totale ainsi installée pour couvrir l'ensemble des cellules représente 25 000 m² pour la couverture et 5 000 m² pour les parois latérales (photo 6).

Le montage des toiles, une affaire de spécialistes

Le montage de l'ouvrage textile est effectué par les équipes d'Esmery Caron Structures, qui assurent



Photo 5

Vue d'ensemble de la couverture des cellules Biostyr®. Des structures architecturales textiles en toile tendue de forme originale et complexe, supportées par des arcs et des mâts. Au total, plus de 30 000 m² installés

General view of the Biostyr® cell covering. Textile architectural structures in stretched canvas of an original, complex shape, supported by arches and poles. In all, more than 30,000 sq. m installed



Photo 6

La toile retenue présente une résistance à la rupture de 16 tonnes au mètre linéaire

The canvas selected has a breaking strength of 16 tonnes per linear metre

la mise en place et la tension des toiles, des acastillages, ainsi que la retension éventuelle quelques semaines après la mise en œuvre.

Avant son installation, la toile est contrôlée aux différentes phases de sa confection :

- ◆ contrôle de réception de matière à l'aide d'une table à lumière, et des tests de résistance à la traction ;
- ◆ contrôle des soudures par traction en chaîne et en trame ;
- ◆ contrôle dimensionnel par gabarit ou moyens métriques.

Les toiles de couverture des cellules sont ensuite installées par une équipe de quatre personnes. Toutes les interventions de laçage des toiles sont faites, soit depuis les passerelles béton, soit depuis des échafaudages légers roulants complétés par le port des EPI (équipements de protection individuelle) (photo 7).

Les cellules de Biostyr® sont couvertes par un réseau de toiles indépendantes fixées sur les ossatures métalliques par un double laçage supérieur et inférieur. Chaque toile de forme rectangulaire est installée sur des tubes de laçage et des poutres métalliques.

De même, chaque cellule est équipée de fermetures latérales fixées sur les ossatures métalliques.



Photo 7

La toile est tendue sur des tubes d'appui et de laçage

The canvas is stretched over the support and lacing tubes



Photo 8
Détail d'un tympan : de vastes ouvertures triangulaires dont la fonctionnalité est la libre circulation de l'air

Detail of a spandrel : vast triangular apertures designed to ensure the free circulation of air

► Quant aux tympans, ils sont constitués de poutres métalliques tridimensionnelles équipées de fermeture verticale. Cette toile indépendante est fixée sur les tubes de laçage intégrés dans les poutres métalliques.

L'opération de montage commence par la dépose des toiles à l'aide d'une grue à tour au centre de chaque cellule à couvrir, selon une orientation précise qu'il convient de respecter afin d'en faciliter l'installation. Un échafaudage est placé à chaque angle de la cellule permettant au personnel d'atteindre les points de fixation des mouflettes utilisées pour le levage de la toile. Celle-ci est ensuite dépliée et les mouflettes accrochées aux quatre angles.

Un premier laçage au "Sandow" est exécuté par le personnel situé sur les échafaudages roulants pour les poutres tridimensionnelles et les rives. En partie haute de la poutre tridimensionnelle, le laçage est ensuite effectué par le personnel situé sur la membrane de couverture.

Le second laçage à la "Drisse" est exécuté dans les mêmes conditions que pour le laçage du Sandow. Et ainsi de suite pour la toile de couverture suivante...

Les deux panneaux de chaque fermeture latérale sont ensuite fixés sur les tubes de laçages supérieurs depuis deux échafaudages roulants sur la coursière béton. Le laçage inférieur est réalisé par le personnel circulant sur la coursière béton. Quant aux toiles des tympans de plus petites dimensions, elles seront lacées depuis la toile posée.

Toutes ces interventions sont répétées cellule après cellule en déplaçant les échafaudages par les galeries centrales (photo 8).

ABSTRACT

Covering the nitrifying Biostyr® cells

R. Laporte, Ph. Bariteau

The covering of the Biostyr® filters (84 cells 16 metres long by 11 metres wide) underwent a specific study in response to specifications complying with the process-related constraints : covering the cells to help create a penumbra hindering the development of algae on the surface of the water, ventilating the cells naturally, and providing the whole project with an architectural structure in harmony with its immediate environment.

RESUMEN ESPAÑOL

La cobertura de las células de Biostyr® nitrificadores

R. Laporte y Ph. Bariteau

La cobertura de los filtros Biostyr® (84 células de 16 metros de longitud por 11 metros de anchura) ha sido objeto de un estudio específico como respuesta a un pliego de condiciones que respeta los imperativos vinculados con el proceso : cubrir las células para favorecer una penumbra perjudicable para el desarrollo de las algas en la superficie del agua, ventilar naturalmente las células, y conferir al conjunto del proyecto una estructura arquitectónica en armonía con su entorno inmediato.

Structures inox et façades architecturales



Vue extérieure du mur rideau
du local
tours de désodorisation

*Exterior view of the curtain wall
of the deodorising tower room*

Dans le cadre du projet "Nitrification Seine Aval", la société Viry s'est vue confier la réalisation d'un ensemble d'ouvrages architecturaux complexes et diversifiés mariant le verre et l'inox, qu'il s'agisse des verrières et façades "nobles" de l'usine ou des équipements de liaison intérieurs ou extérieurs, escaliers et passerelles, aux bâtiments.

Le groupement de génie civil a, pour ces réalisations très spécifiques, trouvé en Viry un interlocuteur sous-traitant privilégié, capable de répondre à la complexité et à la nature des travaux.

■ PLUS DE 80 OUVRAGES ARCHITECTURAUX DIFFÉRENTS...

Le choix de Viry par le groupement de génie civil dans le cadre de ce projet se justifiait aussi par la réactivité de cette entreprise et sa capacité d'organisation dans un marché qui ne comptait pas moins de 80 ouvrages ou localisations d'ouvrages différents, à concevoir et réaliser souvent de manière concomitante.

Plus spécifiquement, et sous la coordination de

l'entreprise générale, chaque famille d'ouvrages a par ailleurs nécessité une implication importante en mises au point d'études, en amont de l'exécution, dans la recherche de l'optimum technique esthétique et financier :

- ◆ les huit structures supports des enveloppes des flottateurs et façades associées, en forme de croisants de lune, mettent notamment en jeu des vitrages feuilletés cintrés, des profils débillardés formant feuillures et un champ de contraintes millimétriques s'agissant des tolérances de mise en œuvre ;

- ◆ les façades principales du hall d'accueil, du hall désodorisation (et sas associés) dont la conception a été épurée de toute ossature secondaire pour restituer toute la transparence souhaitée par l'architecte ;

- ◆ les cinq verrières de l'auvent nord, réalisées sur résilles supports entièrement drainées ;

- ◆ les quatre couvertures/verrières amovibles coiffant les tours de désodorisation ont nécessité la mise au point de dispositifs astucieux et ergonomiques permettant d'assurer le démontage-remontage d'ouvrages légers (polycarbonate) pour les nécessités de la maintenance lourde des process de l'usine ;

Salle des tours
de désodorisation

*Deodorising
tower room*



◆ depuis le simple escalier technique en aluminium jusqu'à l'escalier imposant en inox du hall d'accueil, ce sont une trentaine d'ouvrages escaliers très divers qui auront été conçus et mis en œuvre ;

◆ et enfin 24 passerelles à structure inox dont les principales contraintes techniques tiennent, comme pour les escaliers, à des interventions de montage ponctuelles et dispersées dans les différentes phases ou zones de chantier.

■ FINITION ET QUALITÉ : DEUX CONSTANTES TOUT AU LONG DE LA RÉALISATION

Si chacune de ces familles d'ouvrages comportait ses propres spécificités de conception et/ou de mise en œuvre, l'ensemble de la prestation présentait aussi des "constantes" remarquables :

◆ l'essentiel des ossatures porteuses est en inox de nuance 1.4307 (304L) ou 1.4404 (316 L) pour répondre aux exigences de pérennité des ouvrages et en optimiser les coûts d'entretien. Au total, ce sont près de 160 t de structures inox représentant environ 11.000 heures de production qui auront été mises en œuvre sur le site ;

◆ le soin apporté aux détails de conception et aux finitions – microbillées ou décapées passivées – des ouvrages inox relève d'une haute exigence qualitative et architecturale, très éloignée des standards industriels usuels.

Ainsi, les méthodes de fabrication ont-elles recherché la minimisation des assemblages meulés dont le traitement par décapage-passivation était susceptible de révéler les "fantômes" inesthétiques.

En cas d'impondérable technique, une méthodologie spécifique a été mise au point, intégrant un meulage effectué par bandes aux jonctions de profilés afin d'en atténuer l'impact architectural.

VIRY, SPÉCIALISTE DES STRUCTURES COMPLEXES VERRE-ACIER

Créée il y a près de 40 ans, l'entreprise vosgienne est depuis longtemps un acteur reconnu dans le domaine des structures en acier à forte valeur ajoutée. Disposant de la qualification 2414, constructions métalliques de technicité exceptionnelle, elle est par ailleurs certifiée ISO 9001 version 2000 pour l'ensemble de son activité.

Viry s'est, voilà bientôt 10 ans, diversifiée dans les ouvrages complexes alliant le verre et l'acier et offre un profil de spécialiste en France, dans sa capacité à réaliser en production propre intégrale des façades ou verrières architecturales.

Enfin, Viry s'investit continuellement dans la maîtrise de technologies innovantes comme dans l'intégration de matériaux spécifiques appliqués à l'enveloppe du bâtiment et dont l'inox, omniprésent sur l'opération Nitrification Seine Aval, constitue l'un de ses pôles majeurs de développement.



Les façades vitrées et verrières des bâtiments

Les structures complexes en verre - métal sont de plus en plus répandues en architecture moderne pour construire des murs-rideaux en guise de façades de bâtiment ou de verrières à l'esthétique recherchée. Ils se caractérisent par leur mince ossature constituée de supports horizontaux et verticaux en métal autour d'un panneau entièrement composé de verre ou de métal. Les spécifications techniques de ces structures ont beaucoup évolué au cours des deux dernières décennies, notamment pour ce qui concerne leur tenue aux intempéries, répondant ainsi aux exigences de conception et d'exécution des maîtres d'œuvre.

Dans le cadre du projet de Nitrification Seine Aval, le concept architectural a intégré plusieurs ouvrages complexes en verre - métal à la recherche de l'esthétique et de la lumière naturelle à l'intérieur des bâtiments.

DES PRESTATIONS DIFFÉRENTES D'UN BÂTIMENT À L'AUTRE

L'architecte fait largement pénétrer la lumière par un vaste mur-rideau VEC (vitrage extérieur collé) pour la façade du bâtiment technique au sud, et par des verrières surplombant la galerie technique basse des ouvrages de dénitrification. Des choix rendus possibles grâce à la qualité esthétique et la souplesse d'emploi des profilés en aluminium mariés à des vitrages en structures complexes. Ces prestations qui diffèrent d'un ouvrage à l'autre ont été confiées à l'entreprise Garrigues par le groupement de génie civil en raison de sa polyvalence technique reconnue pour ce type de réalisations.

LA FAÇADE VITRÉE DU BÂTIMENT TECHNIQUE

S'étirant sur une longueur de 250 m, la façade du bâtiment technique au sud est traitée en mur-rideau VEC, adoptant une trame composée de verre et d'aluminium. Son ossature métallique porteuse, constituée de poteaux et de traverses en tubes alu-



Détail des vitrages animés de la façade sud du bâtiment technique

Detail of animated glazing on the southern facade of the process building

minium, est disposée à l'intérieur et non visible de l'extérieur, accentuant l'aspect élancé du bâtiment recherché à travers le concept architectural. Elle s'affranchit aussi d'éventuels problèmes de dilatation différentielle dus aux variations de température. Cette façade est composée de profilés en aluminium thermolaqué, issus de la gamme du fournisseur allemand Schüco, ainsi que d'éléments verriers fixes à largeurs variables (40, 60 et 90 cm), possédant trois degrés de transparence différenciés grâce à une sérigraphie en céramique : transparence totale, sérigraphie peu dense, sérigraphie dense. Cette succession d'éléments plus ou moins larges et translucides répond à la volonté de l'architecte de symboliser les différents degrés de propreté de l'eau traitée dans l'usine.

DES VERRIÈRES AU-DESSUS DES OUVRAGES DE DÉNITRIFICATION

Les verrières linéaires éclairant la galerie technique basse utilisent des profilés Schüco VEC lisses, laqués blanc. La géométrie de ces profilés (avec fond

Habillage vitré
de la façade sud
*Glazed lining
of the southern facade*



de feuillure) ainsi que la pose des vitrages sous-joints en élastomère Epdm d'angle à angle éliminent tout risque d'infiltration. Une barrière isolante en polyamide assure la rupture de pont thermique. L'aération en feuillure ainsi que la répartition de la pression s'effectuent également au niveau des quatre angles de chaque élément de vitrage.

■ LA QUALITÉ PRÉSENTE À TOUS LES STADES

Outre le système qualité ISO 9001 version 2000 et les multiples certifications Qualibat de Garrigues, le groupement de génie civil a instauré un système qualité propre au chantier. Il concerne notamment la traçabilité de la fabrication, la livraison et la pose des différents ouvrages. Grâce à ce système, chaque étape des travaux est entièrement maîtrisée, ne laissant aucune place à l'improvisation. Autre enjeu, le planning serré pour les différentes entreprises intervenant sur le chantier. Afin de respecter les délais impartis, Garrigues a déployé ses équipes constituées d'une vingtaine de personnes, sous la direction d'exploitation de Patrick Communal. Démarrés fin 2005, les travaux doivent se poursuivre jusqu'à fin 2006.

GARRIGUES, UN SPÉCIALISTE DES STRUCTURES COMPLEXES EN VERRE - MÉTAL

Implanté à Agen et Toulouse, le groupe Garrigues (filiale de la holding Axitech) opère dans le grand Sud-Ouest ainsi qu'en région parisienne. Depuis sa création en 1968, l'entreprise a progressivement développé ses activités, passant de la serrurerie traditionnelle à ses débuts pour s'imposer aujourd'hui sur le marché français des structures complexes en aluminium - verre destinées à l'enveloppe des bâtiments. Concepteur, fabricant et installateur, Garrigues propose aujourd'hui une gamme de spécialités telles les façades rideaux métalliques, façades vitrées, verrières, ainsi que toute menuiserie aluminium traditionnelle ou métallerie... L'entreprise emploie plus de 170 personnes qui réalisent un chiffre d'affaires de 24 M€. Pour les travaux de pose, Garrigues fait souvent appel à l'entreprise GMP (Générale de Maintenance et Pose) autre filiale de la holding Axitech. Dans le cadre du projet Nitrification Seine Aval, la pose a été réalisée par les entreprises RFA Bâtiment et ACO Façade.

Les hommes et les femmes du chantier

La locution "vie de chantier" commence par le mot vie. Il n'y a donc de chantier que s'il y a vie, et pour qu'elle soit possible, le fil rouge suivi par le maître d'ouvrage au cours des étapes de conception et de réalisation en vue de l'exploitation a été en permanence de promouvoir l'homme dans son environnement. Les exemples sont nombreux pour illustrer l'idée d'une préservation et d'une promotion de la vie, idée qui paraît a priori très éloignée des préoccupations ordinaires des organisations en charge de concevoir, de construire et d'exploiter. Et pourtant cette idée a pris corps et chacun à sa manière a participé à son incarnation.



Gérer plus de 1 000 ouvriers au quotidien

Philippe Janneteau

CONDUCTEUR D'OPÉRATION
SIAAP



Le maître d'ouvrage a rappelé l'implication personnelle de chaque acteur de cette construction, chacun pour ce qui le concerne, dans la recherche permanente de la prévention des risques professionnels avec l'objectif du "zéro accident", et la préservation de la vie de chacun. Le plan général de coordination est l'un des éléments de cette implication et a été rédigé en ce sens. Il demande à tous les intervenants un respect scrupuleux de ces principes et une très grande rigueur dans la mise en œuvre des règles d'intervention. Ceci implique de la part de chacun une anticipation et une coordination de ses actions en phase chantier, et exige une concertation efficace entre tous les acteurs.

Pour préserver la vie autour du chantier, la limitation des nuisances sonores autant que visuelles pour



les riverains du site Seine Aval a contraint à la réalisation des ouvrages en un délai record de 30 mois, les heures d'ouverture du chantier étant fixées par arrêté préfectoral. Ainsi les méthodes et les processus de construction ont été industrialisés afin de réduire nuisances, surconsommations en tous genres qu'elles soient énergétiques ou de matières, et pénibilité du travail. Un Plan d'Assurance Qualité a été mis en place dès le début de la conception et scrupuleusement observé par des audits planifiés (audits système, audits d'entreprise...).

► L'organisation des transports, l'accueil des nouveaux arrivants, l'hébergement, la restauration, le suivi médical, les horaires de chacun, la propreté (mère de la sécurité), la gestion des déchets notamment ont été adaptés en fonction de ces contraintes particulières. Pour permettre que la vie soit possible à quelque 1.200 personnes accueillies en même temps sur ce chantier, au plus fort de sa production, ont été prévus des liaisons par car, des stages d'accueil systématiques pour les nouveaux arrivants avec remise d'un livret d'accueil, l'ouver-

ture du restaurant du maître d'ouvrage au personnel de chantier, un cabinet médical avec présence de deux infirmières, deux postes de travail en recouvrement, un nettoyage hebdomadaire systématique, un recyclage des déchets, etc. De cette vie de chantier, il restera pour tous le témoignage visible des ouvrages mais aussi, pour chaque participant, le souvenir des émotions partagées, la solidarité des hommes de chantier, la fierté d'avoir participé à une œuvre humaine réussie.

Une coordination efficace pour favoriser l'emploi local

Philippe Millard

DIRECTEUR DES GRANDS TRAVAUX
SIAAP



Pour réaliser ce type de chantier très important dans un délai très serré, les entreprises doivent mobiliser des effectifs en un temps record. Il est à noter que des pointes à plus de 1.100 personnes ont eu lieu. Il est souvent fait appel massivement au personnel intérimaire pour répondre à ces pointes d'activité.

Initiée par le SIAAP et bien relayée par les entreprises de génie civil et d'équipement, une priorité a été donnée à l'emploi local et à la recherche d'emploi pérenne.

C'est ainsi que des protocoles d'accord pour développer l'emploi ont été signés entre le SIAAP et deux des communes riveraines de Seine Aval : Achères et Saint-Germain-en-Laye. Ces collectivités mettent en œuvre de gros moyens pour le recrutement prioritaire des demandeurs d'emploi inscrits aux ANPE locales, en particulier celle de Poissy, ou des jeunes fréquentant les Missions locales. Information, réunions avec les professionnels de la construction pour la présentation des métiers et actions avec les organismes de formation ont été coordonnées. Au début du chantier, les villes, les missions locales, la CAPEB (Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment), l'Affpa (Association nationale pour la formation professionnelle des adultes), l'Assedic, le SIAAP et les entreprises ont participé à un Forum des métiers à Triel-sur-Seine. Plus de 700 demandeurs d'emploi y ont été accueillis.

Les résultats de ces initiatives sont satisfaisants : le groupement d'entreprises de génie civil a formé sur le chantier, en trois stages, quarante-cinq aide-compagnons : trente d'entre eux ont reçu un diplôme.

Au total, plus de cinquante personnes ont trouvé un emploi durable en génie civil grâce aux efforts conjugués des entreprises et des collectivités. Des efforts importants ont aussi été entrepris pour les équipements industriels : tuyauteurs, monteurs, magasiniers, électriciens ont trouvé un emploi sur ce chantier grâce aux formations locales dispen-

Signature du protocole d'emploi avec la ville d'Achères, le 9 décembre 2004. A gauche, Gérard Mary, directeur du site SIAAP Seine Aval; à droite, Alain Outreman, maire d'Achères

Signature of the employment protocol with the town of Achères, on 9 December 2004. On the left, Gérard Mary, SIAAP Seine Aval Site Manager; on the right, Alain Outreman, Mayor of Achères





sées par les entreprises, assistées par le Greta (groupement d'établissements publics locaux) de Saint-Germain-en-Laye. Pour les tuyauteurs-ajusteurs, 240 convocations, de multiples entretiens et formations ont été réalisés à l'issue desquels des certificats ont été remis. Pour les électriciens, plus de 270 convocations, des journées de présentation et des contrats de professionnalisations pour une vingtaine de candidats. Des emplois du-

rables ont pu être enregistrés mais en nombre limité.

Même si au total le bilan peut sembler faible eu égard au très grand engagement de quelques personnes, la vaste campagne d'information auprès des demandeurs d'emploi a permis de mieux faire connaître les métiers de la construction et les besoins des entreprises. On sait que la construction en France en a bien besoin.

La coordination Sécurité/santé, un rôle de facilitateur

Pascale Mirvaux

Claude Delot

Patrick Cavillac

ESPACE ÉTUDES

MISSION DE COORDINATION SÉCURITÉ/SANTÉ

Avec tous les intervenants engagés dans cette opération, l'outil principal de la mission de Coordination Sécurité/santé est naturellement de veiller à chaque instant à l'application des principes généraux de la prévention. Les autres

moyens ont été prévus par le maître d'ouvrage dès l'élaboration de l'appel d'offres sur performance, avec la présence, l'implication et l'accompagnement du coordonnateur dans toute l'équipe.

Le coordonnateur Sécurité/santé était présent également lors de l'analyse des différents projets et jusqu'à la signature du contrat de performance, avec un questionnement sur les sujets d'entretien, de maintenance et des interventions ultérieures sur l'ouvrage puis sur l'organisation du chantier de ce grand projet dans le respect des délais contractuels. Le plan général de coordination (PGC) est resté un



► outil pendant toute l'opération. Les objectifs étaient fixés en préambule par le maître d'ouvrage, fixés ensuite au groupement en matière d'évaluation, de maîtrise des risques et de maîtrise des sous-traitants ou intervenants, et fixés enfin par le coordonnateur pour les risques liés à la co-activité (risques induits, risques laissés aux uns et aux autres, risques résiduels...).

En phase travaux, la mission de coordination a fait l'objet d'une bonne continuité par rapport à la phase conception, en particulier lors de la participation du coordonnateur aux différents retours d'expérience avec des exploitants et utilisateurs, jusqu'aux études ergonomiques des postes de travail. Le coordonnateur a joué un rôle de facilitateur, tout

en obligeant les acteurs à des remises en question interentreprises, sur des usages, des bonnes et mauvaises pratiques.

Cette continuité dans l'application des principes généraux de la prévention a été possible par l'organisation d'une équipe de coordonnateurs, elle-même appuyée par l'organisation sécurité du groupement (jusqu'à trois chargés de prévention sur le chantier) et par la sensibilité affirmée du maître d'ouvrage à tous les sujets de prévention. C'est ainsi que tous les acteurs de cette opération ont été sensibles et sensibilisés au sujet de l'évaluation et la prévention des risques professionnels. Puisse cette sensibilité à la prévention rester un atout dans notre façon de voir le travail.



Formation : "Passeport pour l'emploi", une voie directe vers l'insertion

Arnaud Habert

Sogea

Cécile Sautereau

RESPONSABLE POLITIQUE DE L'EMPLOI
ET MOBILITÉ

Sogea

Début 2004, six mois avant le premier coup de pioche, une démarche associant formation qualifiante et recrutement, inspirée du "Passeport pour l'emploi" (PPE) de Sogea, a été mise en place sur le chantier par l'ensemble des sociétés du groupement génie civil. Conformément au modèle original créé par l'entreprise en 2001 en partenariat avec l'ANPE et l'Afpa, la première étape a consisté à informer les demandeurs d'emploi, via l'ANPE de Poissy et d'autres agences locales. Cinq à six cents candidats ont ainsi été conviés à une réunion de présentation du chantier et du métier à la salle des fêtes d'Achères, en présence de Bernard Colmon, le directeur de projet (Campenon Bernard TP - Sogea), de plusieurs chefs de chantier et de responsables ressources humaines (RH). A l'issue de cette rencontre et des entretiens individuels menés ensuite par un chef de chantier et un responsable RH, 45 candidats ont été retenus pour participer à l'opération, programmée en trois sessions de 11 semaines sur une durée totale de six mois.

Chacune se décomposait en deux phases principales, les huit premières semaines étant consacrées à une formation dispensée par l'Afpa. A Achères, celles-ci se sont déroulées sur le chantier, dans une zone où avaient été installés des locaux pour les cours et du matériel de "travaux pratiques" (grue, banches, etc.). Objectif de cette étape préparatoire : appréhender globalement ce qu'est un chantier (termes techniques, aspects prévention-sécurité, découverte de la lecture de plan, etc.), rafraîchir les savoirs de base, notamment en calcul, et "mettre les mains dans le ciment" par des exercices pratiques. Les trois semaines suivantes se passaient sur le chantier, où les jeunes



étaient intégrés aux équipes, formant un binôme avec un tuteur ou une personne qualifiée, sous la responsabilité d'un chef d'équipe ou d'un chef de chantier.

A l'issue de leur cursus, les candidats ont subi les épreuves du certificat de compétence professionnelle (CCP), module du diplôme de coffreur-bancheur ou de maçon gros œuvre reconnu par l'Afpa, puis il leur était proposé soit un contrat à durée de chantier, soit une réorientation. Ceux qui le souhaitaient étaient libres de partir.

"Sur 45 stagiaires, 30 ont été embauchés par les différentes entreprises", indique Arnaud Habert, qui observait l'opération dans le cadre d'un travail universitaire. "Les stagiaires qui sont restés, poursuit-il, étaient contents. Ils ont apprécié le travail d'équipe, la polyvalence de la fonction, le fait de participer à un grand chantier, et ils ont estimé la rémunération convenable. En fait, pour eux, ce sont les premiers mois qui ont été les plus durs, car il n'est pas facile de trouver sa place sur un chantier si vaste, où intervenaient beaucoup d'entreprises et une très forte proportion d'intérimaires (jusqu'à 45 %)."

Réinvesti aujourd'hui par VINCI, qui souhaite élargir le dispositif à toutes les entreprises de son pôle construction et à ses autres métiers (Eurovia, VINCI Energies), le PPE a été remanié avant d'être appliqué sur le chantier de la tour Granite, à la Dé-



fense, où il a été proposé à 15 jeunes en avril 2006. "Pour donner davantage de chances de réussite à la formule, qui s'adresse à un public en insertion souvent confronté à des difficultés de logement, d'argent, de famille, etc., il a notamment été décidé de mettre en place un accompagnement social", indique Cécile Sautereau, responsable politique de l'emploi et mobilité chez Sogea. Un hébergement sur place a donc été proposé aux stagiaires dont les huit semaines initiales se déroulaient cette fois au centre de formation aux métiers du BTP de Bernes-sur-Oise (Val-d'Oise), et leurs titres de transport ont été pris en charge par Sogea.

Un chantier vert

Alix Montel



ADJOINTE AU CONDUCTEUR
D'OPÉRATION
SIAAP

Des objectifs clairement énoncés par le maître d'ouvrage dès le programme de l'opération, l'organisation mise en place par le groupement titulaire du marché pour répondre à cette demande, et la vigilance des équipes du SIAAP et du groupement, permettent de tendre au quotidien vers un chantier exemplaire sur le plan du respect de l'environnement.

Les candidats avaient dû intégrer dans le mémoire de description des travaux, demandé au règlement de la consultation, "les dispositions prises pour contrôler les nuisances dues au chantier". Il s'agissait de limiter au maximum les nuisances vis-à-vis des riverains (bruits, poussières, salissures, gêne à la circulation, gêne visuelle), les pollutions des sols, des eaux et de l'air, la production de déchets de chantier et leur impact, et les dégradations du traitement des eaux usées de l'usine existante. Les dispositions mises en place par le groupement

titulaire pour répondre à cette exigence du maître d'ouvrage, décrites dans le dossier marché, ont pu être modifiées, affinées et complétées au cours de l'opération, pour répondre de la meilleure manière aux objectifs affichés.

Afin de diminuer la gêne ressentie par les riverains, due aux bruits émis par le chantier, les horaires de travail ont été limités par contrat de 7 heures à 20 heures. Mais une diminution des bruits de chantier pendant la journée a également été obtenue grâce à des choix de méthodes et de matériels spécifiques. C'est ainsi que l'utilisation de berlinoises pour la réalisation des soutènements a été privilégiée, par rapport aux techniques par battage. L'emploi du béton auto-plaçant, qui permet de s'affranchir de la vibration du béton, a également contribué à une réduction des nuisances sonores.

■ UNE DÉVIATION POUR CONTOURNER LE CHANTIER

La propreté des abords du site est maintenue grâce à l'installation d'un déboureur à la sortie du chan-



tier, pour le lavage des roues des véhicules, ainsi que par des campagnes régulières de balayage des voies publiques d'accès au chantier. Les pistes de chantier sont également arrosées autant que nécessaire, pour éviter la dispersion des poussières. L'impact du chantier sur la circulation riveraine a été fortement limité. La mesure la plus importante dans ce sens a été la réunification de l'emprise des travaux et de celle des installations de chantier, par la mise en place d'une déviation de la voie publique. Grâce à cette disposition, les traversées de voie publique par des engins de chantier sont restées exceptionnelles. Cette déviation, mise en place pour la durée du chantier, comporte également une piste cyclable. L'installation de deux centrales à béton sur la plate-forme des installations de chantier, pour assurer sur place la production de béton, a également permis de réduire de manière significative la circulation des poids lourds sur la voie publique.

Enfin, pour diminuer la gêne visuelle du chantier vis-à-vis des riverains, l'éclairage du chantier en dehors des heures travaillées est réservé au seul gardiennage du site.

■ LES SOLS AUSSI

Toutes les dispositions ont été prises par ailleurs pour éviter la pollution du terrain et des eaux de nappes et de surface par les activités du chantier. Le déversement de produits dans le sol est interdit sur le chantier de manière générale, et le risque

de déversement accidentel a été limité par l'utilisation systématique de rétentions pour le stockage des produits sensibles. Un suivi de l'entretien des engins a été organisé pour limiter le risque de vidanges "sauvages".

Le traitement des eaux issues du chantier a été organisé en utilisant au mieux les capacités de traitement de l'usine existante. Les eaux usées provenant de l'assainissement des bungalows de chantier sont ainsi renvoyées, par un piquage sur une conduite existante, en tête de la station d'épuration pour être traitées. C'est également le cas des eaux issues du bassin de décantation de l'aire de lavage des toupies de béton, et, après une étape de déshuilage, des eaux pluviales des zones de parking des installations de chantier.

Les rejets en Seine concernent uniquement les eaux issues des rabattements de nappes nécessaires aux terrassements, qui sont traitées par décantation avant le renvoi au milieu naturel. Enfin, pour réduire l'impact de la construction de la nouvelle unité sur la qualité du traitement existant, les périodes d'arrêt de la clarifloculation nécessaires au raccordement des liaisons hydrauliques ont été réduites le plus possible et programmées en dehors des périodes de basses eaux de la Seine.

■ LA GESTION DES DÉCHETS DE CHANTIER

Le tri sélectif des déchets, leur valorisation et leur évacuation, font l'objet d'un mode opératoire spé-



cifique. Le groupement d'entreprises a confié la collecte et le tri des déchets à un centre agréé, qui fournit les bennes à mettre en place sur le chantier, et assure leur évacuation. On distingue les catégories de déchets suivantes : gravats, bois/cartons/plastiques, ferraille, ordures ménagères, déchets de bureau, hydrocarbures/graisse, et produits sensibles. L'évacuation de ces derniers (peintures, diluants, résines...) fait l'objet d'un suivi par bordereaux.

Le personnel amené à intervenir sur le chantier est invité, dès son arrivée sur le site, à participer au tri sélectif des déchets du chantier, par le biais notamment des livrets d'accueil établis par le groupement titulaire du marché.

La diminution de la quantité de déchets à évacuer du chantier passe également par la valorisation de

ces déchets lorsque cela est possible. C'est dans cet esprit qu'un concasseur destiné à récupérer la fraction utile des gravats a été installé sur le site. Le SIAAP, à travers ses équipes de conduite d'opération et de maîtrise d'œuvre, est particulièrement attentif au respect des dispositions annoncées par le groupement tout au long du chantier. Le suivi des résultats obtenus est assuré régulièrement lors des visites de chantier, ou par des actions ponctuelles : analyses de la qualité des eaux rejetées, programmation d'audits organisés en collaboration avec les services qualité du groupement. Le thème de l'environnement est abordé systématiquement lors des réunions de chantier hebdomadaires, ce qui permet de constater la mise en place des actions correctives menées pour remédier aux éventuels dysfonctionnements relevés.

