

INGÉNews

La lettre technique du Groupe

N° 3 - Février 2013



► Un parc hospitalier en pleine mutation



► LGV Bretagne Pays-de-la-Loire, une maîtrise d'œuvre générale au service de l'intégration du système ferroviaire



► L'hydraulique fluviale et maritime et les nouveaux outils de calcul

► DOSSIER

Qualité environnementale et performance énergétique du bâtiment : une démarche globale et transversale

Les sciences et les techniques dans l'ingénierie de la construction

Dans les grands métiers d'INGÉROP, qui vont du BTP à l'industrie, en passant par les transports, l'eau, l'énergie et l'environnement, nous conseillons nos clients, concevons des ouvrages ou des installations, et les faisons réaliser par des entrepreneurs en contrôlant leurs travaux.

C'est une activité d'analyse et de synthèse, de création et d'organisation, à partir de besoins exprimés par des cahiers des charges. Mais elle consiste avant tout en une mise en application pratique des connaissances scientifiques, techniques et économiques, au service de projets qui diffèrent tous les uns des autres par les multiples caractéristiques qui les composent.

L'ingénierie de la construction concerne donc généralement des « objets » uniques. Pas de période d'essai, pas de prototype, le résultat doit être bon du premier coup, et l'erreur n'est pas permise, aussi bien sur les aspects de sécurité et de sûreté des réalisations, que sur le respect des budgets et des délais.

Ce résultat ne peut s'obtenir qu'à partir d'équipes aguerries, formées, encadrées par des experts des différents domaines, eux-mêmes en perpétuel dialogue les uns avec les autres pour avoir une vision transversale des projets, et échapper à l'isolement stérile dans lequel l'hyperspécialisation des différentes disciplines tend à les réduire, à l'instar de ce qui se passe dans la plupart des activités humaines d'aujourd'hui.

La Direction Scientifique et Technique d'INGÉROP s'est organisée autour de 16 domaines groupés en 4 grandes catégories qui couvrent nos principaux pôles de référence :

- les infrastructures, les transports et le génie urbain,
- les structures en divers matériaux, y compris la géotechnique, les calculs scientifiques et les modélisations complexes,
- les fluides, le génie climatique, le génie électrique et les installations de process,
- les activités transversales aux différents projets comprenant:
 - l'environnement des constructions : eau, air, bruit, dossiers administratifs,
 - les fonctions supports transverses : gestion de projet, synthèse, OPC, maquettage 3D, gestion documentaire et logicielle, ...

Les projets qui vous sont présentés dans ce n°3 d'INGÉNews, font appel à ces 16 domaines et à leurs nombreuses sous-disciplines.

Lorsque vous l'aurez lu, j'espère que vous n'oublierez pas que l'apparente simplicité qui habille certains résultats, est le fruit d'un grand professionnalisme.

Jacques Faure,
Directeur scientifique et technique

Héliodon

p2 Un parc hospitalier en pleine mutation.

p4 Qualité environnementale et performance énergétique du bâtiment: une démarche globale et transversale.

p6 Groupe scolaire et multi-accueil des Ponts-Jumeaux à Toulouse.

p7 Dispositif de lutte contre les inondations du bassin de l'Oued Mejerda Tunisie.

p8 L'hydraulique fluviale et maritime et les nouveaux outils de calcul.

p10 LGV Bretagne Pays-de-la-Loire, une maîtrise d'œuvre générale au service de l'intégration du système ferroviaire.

p12 Enveloppes polyédriques d'efforts concomitants.

p13 Cigéo : le grand succès dans le secteur du nucléaire.

p14 De nouveaux développements utilisant la méthode « convergence-confinement » dans un champ de contraintes anisotrope.

p16 Tramway à voie unique de Valenciennes.

BÂTIMENT



UN PARC HOSPITALIER EN PLEINE MUTATION

Les exigences du monde de la santé - avancées sans précédent des process médicaux, demande accrue de confort des patients, renforcement permanent des objectifs sécuritaires de la législation et nécessité incontournable de rationalisation des investissements financiers dans l'intérêt national - nécessitent des compétences particulières pour les activités d'ingénierie.

Pour l'opération Fondation Imagine, implantée sur le site de l'Hôpital Necker, au cœur de Paris, INGÉROP a été choisie en 2011 pour réaliser l'ingénierie de la construction de ce qui sera dans trois ans le pôle français d'excellence médical et scientifique pour les activités de recherche, de traitement et d'enseignement sur les maladies génétiques.



Avec ses 40 années d'expérience, Joseph de Saint-Exupéry, expert d'INGÉROP en ingénierie hospitalière, a participé à la réalisation d'établissements de santé dans le monde entier. En parfaite coordination avec les architectes et les entreprises de ce secteur, il forme autour de lui les jeunes générations sur la conception de projets de cette nature. Joseph de Saint-Exupéry nous explique que *"ce n'est pas seulement un assemblage de science et de technicité et qu'il est aussi important d'écouter ce que souhaite une infirmière dans l'organisation de son service, que de comprendre les besoins d'un chirurgien dans la conception de son bloc opératoire"*.

Joseph de Saint-Exupéry, Expert Génie Hospitalier



Hôpital de Nantes



Hôpital de Dunkerque

LE CADRE DE NOS ÉTUDES

Dans son principe général, l'ingénierie dans le domaine de la santé n'est pas différente de celle portant sur d'autres domaines d'application.

Nous y trouvons 3 niveaux d'actions :

- l'ingénierie prospective comportant les audits, les schémas directeurs et les études de faisabilité,
- l'ingénierie de conception couvrant toutes les phases de conception d'un projet depuis l'esquisse jusqu'aux marchés de travaux,
- l'ingénierie de réalisation couvrant les phases de chantier avec ou sans études d'exécution ou de synthèse.

Mais dans leur application, les métiers de la santé exigent une expertise très particulière. Le milieu hospitalier nous impose de veiller à l'ergonomie et à la fonctionnalité des lieux adaptées en permanence aux nouveaux protocoles de soins et à la grande évolutivité du matériel biomédical.

Une difficulté complémentaire est que nous devons mener ces études en croisant nos métiers traditionnels et nos savoirs propres à la santé avec les disciplines spécifiques telles que la prévention incendie, les études d'impact, celles du développement durable et des bâtiments basse consommation.



Hôpital Hautepierre

NOS PARTENAIRES ET NOS INTERLOCUTEURS

Depuis plus de cinquante ans, nous sommes présents dans les métiers de la santé et sommes reconnus et respectés pour notre savoir. Nos partenaires sont principalement les architectes et, dans les opérations en partenariat Public/Privé ou en Conception/Réalisation, les entreprises.

Mais il faut insister sur notre position dans l'acte de conception : l'équipe de maîtrise d'œuvre n'est pas une juxtaposition d'architectes et d'ingénieurs. Nous participons pleinement à l'acte de conception, qui se nourrit d'un échange permanent d'idées et d'expériences entre les différentes composantes de l'équipe. L'essentiel est de trouver un partenariat efficace entre architectes et ingénieurs.

Avec les entreprises, l'échange est beaucoup plus factuel et technique : la réelle stratégie à développer avec eux concerne le niveau de technicité, le choix des options ou alternatives et le prix.

Nos interlocuteurs chez le client sont les directeurs d'hôpitaux, les directeurs techniques et les médecins ainsi que leur personnel de service.

Nouvelle difficulté, chacun parle sa langue et voit le projet depuis son centre d'intérêt.

Un hôpital, c'est très grand, ce qui fait que nous devons gérer un nombre considérable d'exigences. Vous comprendrez que le respect de toutes les demandes de nos interlocuteurs peut conduire à des synthèses parfois bien délicates.

Contact

Joseph de Saint-Exupéry - Expert Génie Hospitalier

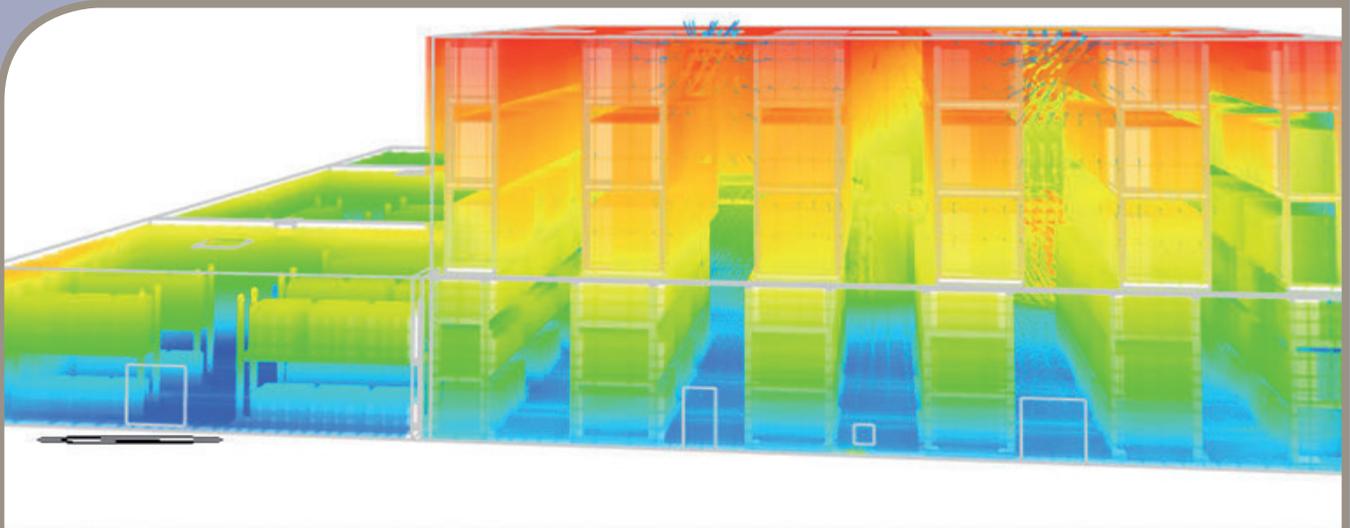
joseph.stexupery@ingerop.com

Alain-Pierre Grésil - Directeur métier Bâtiment

alain-pierre.gresil@ingerop.com

En bref

Les activités d'ingénierie liées à la conception ou à la construction de bâtiments hospitaliers, de centres de recherche ou d'établissements médicaux-sociaux, font partie des spécialités reconnues de longue date dans le groupe INGÉROP. Les nombreuses et importantes réalisations de ces cinquante dernières années ont toujours placé INGÉROP comme l'une des principales sociétés d'ingénieries hospitalières de France.



DOSSIER

QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE ET PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT : UNE DÉMARCHE GLOBALE ET TRANSVERSALE

Conscientes de l'impact du secteur bâtiment sur l'environnement, les équipes d'INGÉROP ont intégré cette démarche dans l'élaboration des projets et elles y associent les maîtres d'ouvrage de la conception à la réalisation d'un projet. Il s'agit pour elles, plus précisément, de fournir les éléments techniques et financiers d'aide à la décision pour que tous les acteurs d'un projet puissent prendre en compte la qualité environnementale et la performance énergétique.

POURQUOI CETTE DÉMARCHE ?

L'effet de serre, l'accélération du réchauffement climatique, l'épuisement des ressources fossiles, les tensions géopolitiques liées à l'énergie sont autant d'indicateurs qui montrent la fragilité de l'environnement. Préserver notre environnement est alors l'enjeu majeur de ce 21^{ème} siècle, la qualité de vie de nos prochains dépendant de la réussite de ce défi.

LA MÉTHODOLOGIE

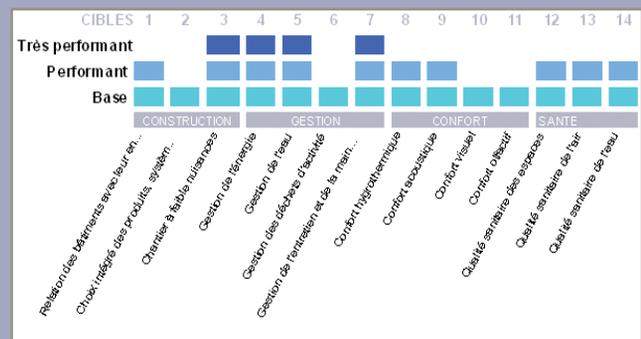
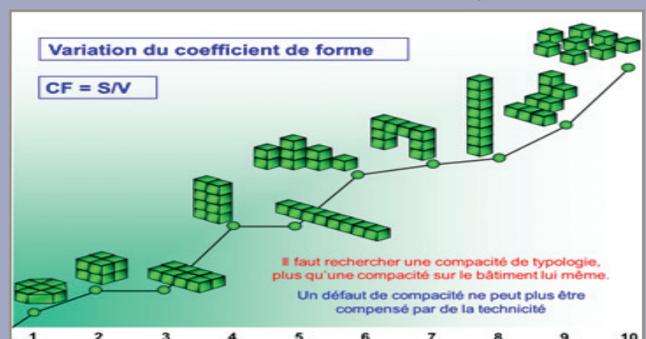
La démarche s'inscrit dans la globalité d'un projet, de sa phase de programmation (réflexion sur les objectifs environnementaux) à sa phase de réalisation. L'action du référent QEB commence alors :

• Avant même la première esquisse de l'architecte :

- Sensibilisation à l'architecture bioclimatique
 - compacité;
 - favoriser l'orientation principale au sud;
 - adapter la surface vitrée à un compromis entre surchauffes estivales, apports de lumière naturelle et déperditions;
 - étude des ombres portées, masques proches et lointains;
 - ensoleillement des façades (héliodon);
 - recensement des énergies renouvelables disponibles;
 - impacts environnementaux des matériaux pressentis.

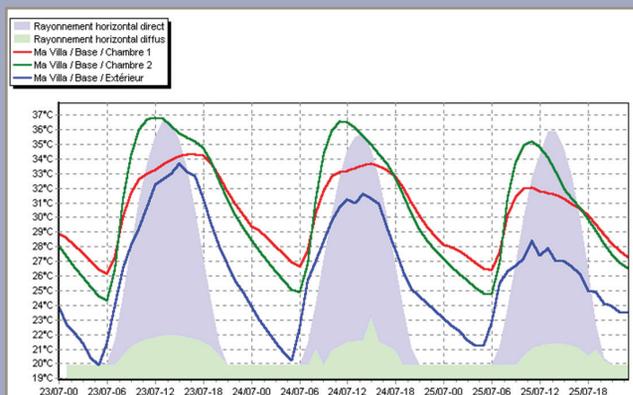
Cette première étape, à caractère pédagogique, permet de fixer les bases de la démarche afin qu'elle soit prise en compte avant les premiers coups de crayons.

- Définition des objectifs
 - retranscription des attentes du maître d'ouvrage à partir du programme de l'opération;
 - propositions d'améliorations/modifications afin de rendre la démarche cohérente;
 - propositions d'actions permettant d'atteindre les objectifs visés;



- **En phase AVP :**

- réalisation d'études spécifiques en simulations thermiques dynamiques (STD) permettant l'optimisation de l'enveloppe thermique (étude comparative entre différentes variantes), la réduction des besoins énergétiques et la qualification du confort estival (gestion des orientations, durée d'inconfort);
- études des facteurs lumière du jour permettant d'assurer un confort visuel satisfaisant;
- études acoustiques;
- numérisation informatique de la dynamique des fluides (CFD) afin de quantifier les vitesses, pressions et températures d'air ambiant (notion de confort);
- préconisations concernant les matériaux employés et leur mise en œuvre;
- détermination de l'impact environnemental des matériaux (consommation de ressources énergétiques, d'eau, de déchets), évaluation des risques sanitaires (qualité de l'air, qualité de l'eau) et évaluation de la qualité de vie (confort olfactif, confort visuel);
- étude en coût global intégrant l'investissement, le coût d'exploitation et les coûts d'entretien et de maintenance sur la durée de vie du bâtiment avec actualisation et inflation des coûts;
- rédaction d'une notice environnementale récapitulant les préconisations et propositions d'actions.



Tout au long de la phase AVP, le référent QEB / Performance énergétique accompagne l'ensemble de la maîtrise d'œuvre sur les sujets suivants :

- définition de l'enveloppe et des résistances thermiques à mettre en œuvre;
- traitement des ponts thermiques;
- traitement de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe;
- définition de l'objectif chiffré (Q4Pa-Surf et n50);
- définition des besoins en protections solaires et systèmes de rafraîchissement passif (sur ventilation nocturne, free-cooling, etc);
- préconisations dans les différents lots concernant l'utilisation de matériaux labellisés, étanchéité à l'air, consommations d'éclairage et des équipements techniques, etc...

Le référent QEB établit alors le lien entre les différents intervenants de la maîtrise d'œuvre (entre l'architecture, l'économie et la technique) afin d'intégrer la cohérence environnementale et énergétique du projet.

- **En phase PRO/DCE :**

- rédaction d'un cahier des charges environnemental intégrant les objectifs retenus et les exigences à mettre en œuvre sur chantier;
- rédaction d'une charte chantier faible nuisance;
- préconisations / plans de repérage concernant l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux;

- intégration dans les pièces des marchés de compteurs énergétiques permettant le suivi des consommations (comptage dissocié des consommations de chauffage, de rafraîchissement, d'ECS, de ventilation, d'éclairage, d'auxiliaires et d'électricité spécifiques).



- **En phase chantier :**

Les prolongations de l'effort environnemental de conception s'adressent logiquement aux entreprises et à leurs différents fournisseurs qui interviendront sur chantier.

- Le référent QEB vérifie alors :
 - le suivi environnemental du chantier;
 - le respect des principes du chantier à faibles nuisances;
 - l'impact sur la santé des différents produits et traitements utilisés;
 - le suivi des travaux d'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux;
 - l'accompagnement lors des tests d'étanchéité à l'air.

En phase réalisation, comme pour les phases d'études, le référent QEB s'assure que l'ensemble des objectifs soit traduit sur le terrain par des actions concrètes.

Contact

Christophe Roquel - Energéticien

christophe.roquel@ingerop.com

Mylène Princet - Référent HQE

mylene.princet@ingerop.com

Denis Ohlmann - Responsable service fluides

denis.ohlmann@ingerop.com

En bref

La démarche de qualité environnementale et de performance énergétique du bâtiment demande des compétences complémentaires et transversales à tous les métiers du bâtiment.

Elle est valorisée par une organisation nationale très active et les compétences acquises sont utilisées dans les différents projets du groupe.

INGÉROP est en mesure de répondre aux attentes et préoccupations les plus exigeantes de ses clients en matière de performance énergétique et de qualité environnementale du bâtiment.



BÂTIMENT PASSIF À TOULOUSE

Groupe scolaire et multi-accueil des Ponts-Jumeaux à Toulouse

LE CONTEXTE

Dans le cadre de sa politique de développement durable, la ville de Toulouse a choisi le projet du groupe scolaire des Ponts-Jumeaux pour servir de test et de référence pour de futures opérations.

OBJECTIF ET PERFORMANCES À ATTEINDRE

La ville de Toulouse a décidé de réaliser un bâtiment passif (consommation annuelle comprise entre 25 et 40 kWh/m²) et à énergie positive après compensation photovoltaïque.

Les cibles HQE à respecter sont les suivantes :

- relation de l'ouvrage avec son environnement existant;
- chantier propre;
- gestion de l'énergie.

OBJECTIFS RETENUS

La première analyse a mis en évidence les points critiques suivants :

- aucun retour d'expérience;
- aucun référentiel officiel applicable à ce type de bâtiment;
- la plupart des bâtiments dits passifs compensent leur consommation par de la production photovoltaïque;
- tous les référentiels existants avaient des données d'entrée de consommation différentes.

ORIGINALITÉ DE LA MÉTHODE

La solution proposée est basée sur deux outils essentiels :

- une méthodologie de travail interactive avec les architectes : nous avons dû « mixer » les différentes méthodes de calcul et les mettre en œuvre lors de la phase esquisse architecturale;
- la mise en œuvre croisée des solutions techniques les plus performantes : un bâtiment économe doit être « intelligent », d'où l'étude et la définition d'un outil de supervision permettant la gestion des différents outils et techniques, à partir d'un superviseur et d'écrans tactiles installés dans les salles de classe.

SOLUTIONS TECHNIQUES PROPOSÉES

- **Sur l'enveloppe**, un gros travail de recherche et de bibliographie sur les matériels et matériaux permettant d'atteindre les niveaux de performance exigés a été nécessaire pour établir un cahier technique comparatif « enveloppe bâtiment ».
- **Pour la gestion de l'éclairage**, au regard des impératifs

énergétiques imposés pour les salles de classe (puissance éclairage < 7.5 W/m², consommation annuelle < 4 kWh/m² SHON), le choix technique retenu est le suivant :

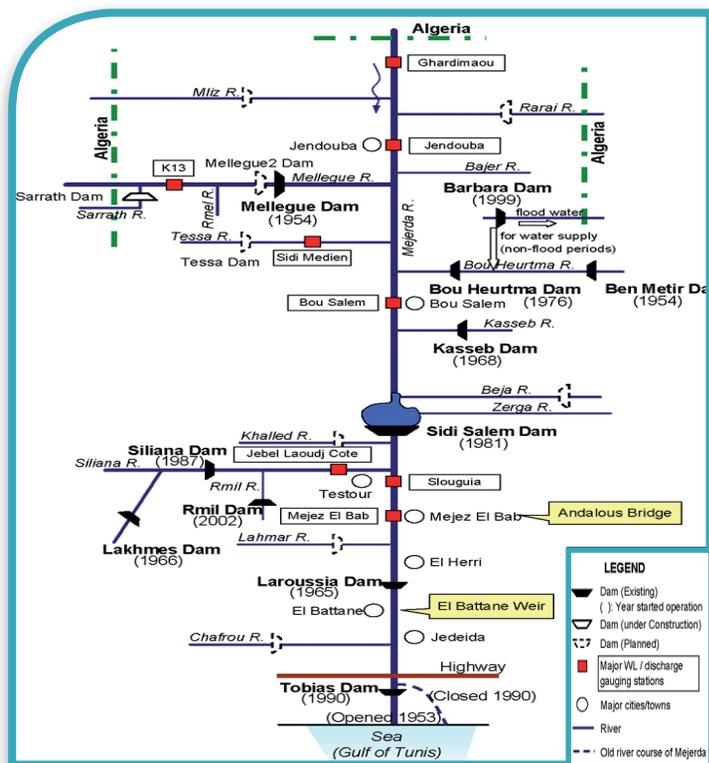
- gradation sur ballast HFR 1-10V;
- gestion des apports de lumière régulée par des détecteurs de présence;
- des commandes éclairage automatique (sur détection IR) et manuelle des détecteurs WAGO;
- la régulation du niveau d'éclairage artificiel sera :
 - indépendante de la gestion des stores;
 - autonome dès qu'une présence sera détectée dans la salle de classe pilotée par la GTB qui permet d'identifier une plage horaire pour la gestion des allumages.
- **La gestion des façades « intelligentes »** est assurée par des protections solaires extérieures motorisées pilotées par la GTB qui permettent de garantir l'isolation de la façade en fonction des saisons. Les protections solaires sont pilotées en fonction :
 - des données station(s) météo et de la position du soleil;
 - de l'ordre des plages horaires préprogrammées;
 - des sondes de température;
 - du détecteur de présence;
 - en temps réel de l'environnement naturel.
- **Sur-ventilations naturelles** : de façon à limiter les surchauffes et évacuer les calories accumulées dans la journée, la solution « sur-ventilation naturelle nocturne » a été adoptée.
- **L'accès à l'inertie** des structures et dalles béton a été optimisé dans les salles de classe par la mise en œuvre de « nappes de faux-plafond acoustique localisées » intégrant des luminaires et des équipements techniques.

Contact

Pierre Albasi - Directeur de l'agence de Toulouse
pierre.albasi@ingerop.com

En bref

Le premier bâtiment passif de la ville de Toulouse livré en juillet 2012 répond aux exigences de la classification. La production photovoltaïque associe un bâtiment à énergie positive. Un équipement de gestion centralisé assure l'automatisation des systèmes, le suivi énergétique et le contrôle des performances.



DISPOSITIF DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS BASSIN DE L'OUED MEJERDA TUNISIE

En Tunisie, les précipitations annuelles moyennes sur la totalité du pays sont extrêmement faibles (500 mm), et la moitié de la superficie des terres se trouve dans une zone semi-aride. Toutefois, dans le nord du pays, où coule l'Oued Mejerda, des pluies très intenses se sont produites à plusieurs reprises ces dernières années, provoquant des inondations et engendrant des dégâts importants dans les zones situées le long du cours d'eau.

PLAN DIRECTEUR ET ETUDE PRÉPARATOIRE DE FAISABILITÉ

Le Projet de Gestion Intégrée et de Lutte contre les Inondations dans le Bassin de la Mejerda a pour objectif de limiter les dommages provoqués par les inondations dans le cours inférieur de l'Oued, là où elles ont jusqu'à présent provoqué les dégâts les plus importants. Grâce à l'aménagement de l'Oued et à l'amélioration du rôle des retenues de barrages, et grâce aussi à une formation adaptée des personnels locaux responsables du dispositif et à une préparation des populations locales face aux inondations, cette réduction des risques contribuera au développement économique et industriel de la Tunisie. L'Oued Mejerda, d'une longueur de 312 km sur le sol tunisien, est le seul cours d'eau pérenne du pays. Son bassin, qui couvre une superficie totale de 23 700 km² (dont 1/3 se trouve en Algérie), est situé dans les régions du Nord où les précipitations sont relativement élevées. Il constitue une source d'approvisionnement en eau particulièrement importante pour la Tunisie.

Le pays a axé sa politique de gestion des ressources en eau sur la rétention. Pour cela, il a développé un vaste complexe de 27 barrages-réservoirs dans la partie nord du pays, dont 13 sont en phase de planification ou de construction. Jusqu'alors, la gestion des barrages a été davantage orientée sur un objectif de rétention d'un volume maximal d'eau que sur la prévention des dommages causés par les inondations.

Pourtant, les barrages jouent un rôle essentiel pour la protection contre les crues de la Mejerda. Pour optimiser la capacité de laminage de l'ensemble du dispositif, il faut connaître la venue d'une crue à l'avance afin de procéder à un abaissement préventif du niveau de certaines retenues. Le volume des crues est alors contenu par les barrages qui contrôlent les débits relâchés pour prévenir les inondations à l'aval, tout en préservant au maximum la ressource en eau.

UN CONCEPT DE MODÈLE

En tant que mesure non-structurelle, un concept de modèle pour la prévision et la gestion des crues est proposé. Il s'agit de doter les responsables des barrages d'un outil d'aide à la décision. Le

système "MINERVE", développé dans le cadre de la gestion des crues dans le bassin rhône-alpin avec l'optimisation de la production hydroélectrique, est un exemple de la fonctionnalité d'un tel outil.

Le principe général de fonctionnement est schématisé sur le graphique ci-dessus. Les données d'entrée du système sont les prévisions météorologiques, les mesures de pluies et de débits en temps réel ainsi que les pluies et débits enregistrés dans une base de données. A partir de ces éléments, le modèle de prévision hydrologique simule la réaction du réseau hydrographique pour un événement de pluie.

Les résultats de la modélisation sont les prévisions des débits aux endroits critiques avec la génération de scénarios possibles. Le système proposé permet aux décideurs d'avoir une vue d'ensemble de l'évolution des débits dans le réseau et de prendre les mesures adéquates en conséquence.

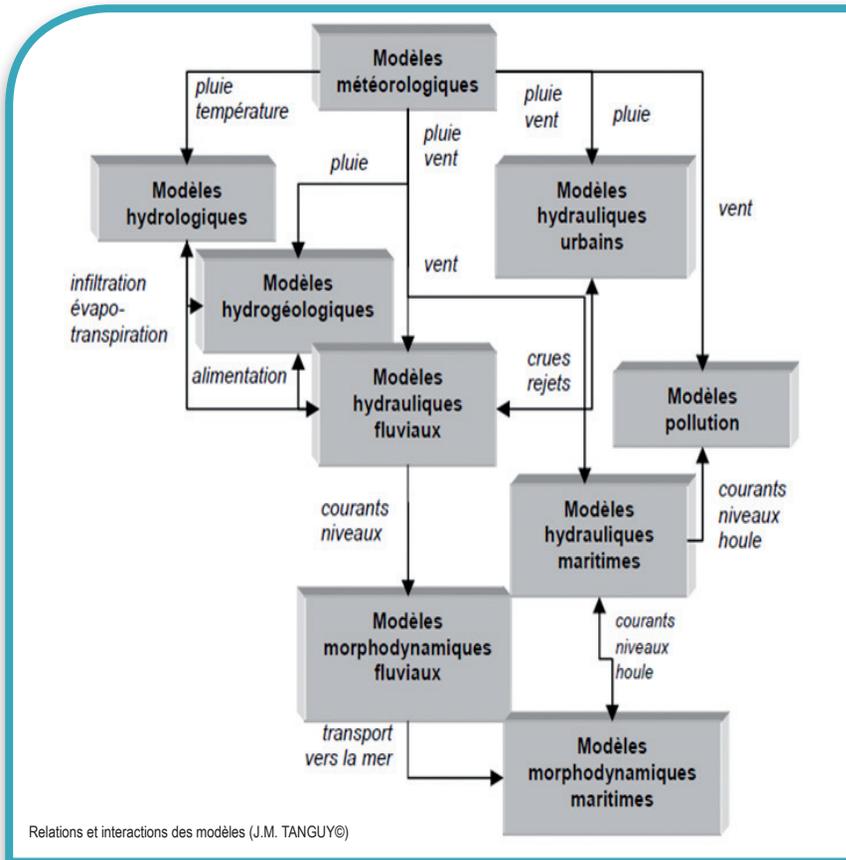
Contact

Mario Gerodetti - Directeur GEOS Genève
mario.gerodetti@geos.ch

Franck Charmaison - Ingerosec Corporation
franck.charmaison@ingerosec.com

En bref

Pour le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH) de Tunisie, les équipes de GEOS-Suisse, en groupement avec INGEROSEC au Japon, établissent, via l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), une étude préparatoire de faisabilité de l'aménagement de l'Oued Mejerda et de ses infrastructures hydrauliques, ainsi qu'un système de gestion optimisée des barrages et réservoirs, permettant de réduire les risques liés aux inondations tout en préservant la ressource en eau, précieuse pour ce pays.



L'HYDRAULIQUE FLUVIALE ET MARITIME ET LES NOUVEAUX OUTILS DE CALCUL

Le métier Eau s'est fortement développé ces dernières années, ayant la volonté de créer aux côtés des quatre métiers historiques un cinquième métier autour de l'eau et l'environnement.

Ayant une activité transversale aux autres métiers, les équipes d'hydrauliciens interviennent en amont des projets dans le cadre d'études de faisabilité, d'études de définition mais également au stade des phases de projet pour la réalisation d'ouvrages hydrauliques.

L'analyse hydraulique intègre de nombreux phénomènes régis par des lois complexes s'appuyant sur un grand nombre de paramètres. De nos jours, l'utilisation de modèles permet non seulement d'appréhender les phénomènes pris séparément, mais également de comprendre et simuler leur imbrication et leur interdépendance.

Ces modèles interviennent à tous les stades de l'analyse : depuis les phénomènes météorologiques en amont jusqu'aux études morphodynamiques maritimes en passant par les modèles hydrologiques et d'hydraulique fluviale.

Depuis le début, les équipes « Eau » du groupe INGÉROP se sont appuyées sur les outils les plus performants en matière de modélisation, il y a quelques années avec les modèles unidimensionnels ou pseudo-bidimensionnels mais plus récemment avec les modèles bidimensionnels tels que MIKEFLOOD (DHI©) et

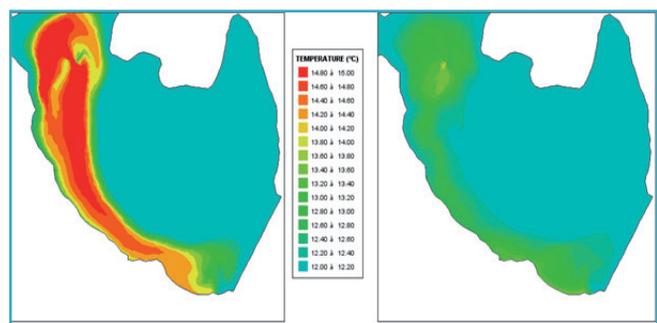
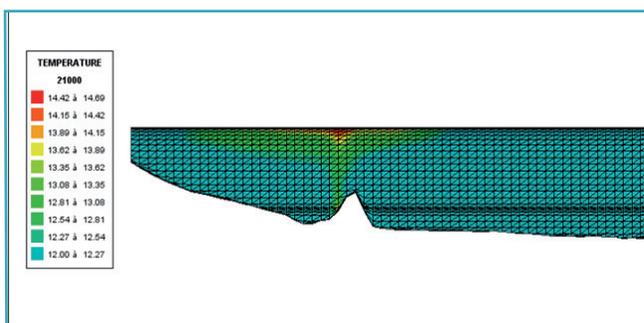
TELEMAC (EDF©).

Développé depuis le début des années 80 par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (Département de Recherche d'EDF), le système TELEMAC constitue aujourd'hui une référence dans son domaine.

Ce système de modélisation des écoulements en milieu naturel en deux et trois dimensions, qui fut l'un des premiers à utiliser la méthode des éléments finis, offre aujourd'hui un panel d'outils performants et cohérents permettant de traiter l'ensemble des aspects physiques : courantologie, houle, sédimentologie et qualité des eaux.

Disposant d'une communauté internationale de développeurs qui fait de lui un système logiciel en constante évolution, TELEMAC a été adopté par les équipes d'INGÉROP qui disposent de compétences pointues, non seulement dans le domaine de l'utilisation de ce système de modélisation, mais également dans celui de la formation, de l'expertise et de l'assistance à l'utilisation.

INGÉROP dispose à présent de nombreuses références sur cet outil.



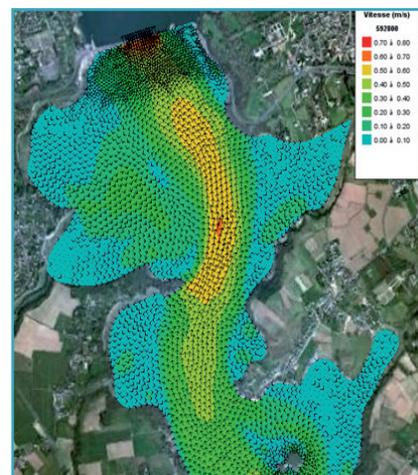
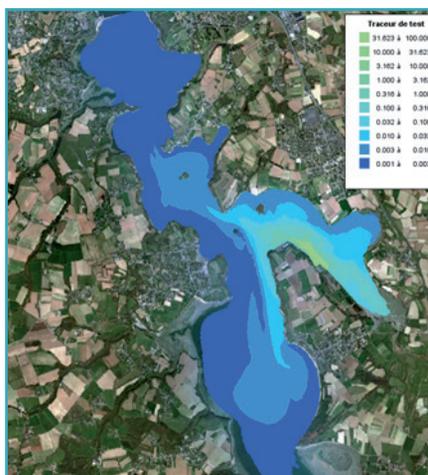
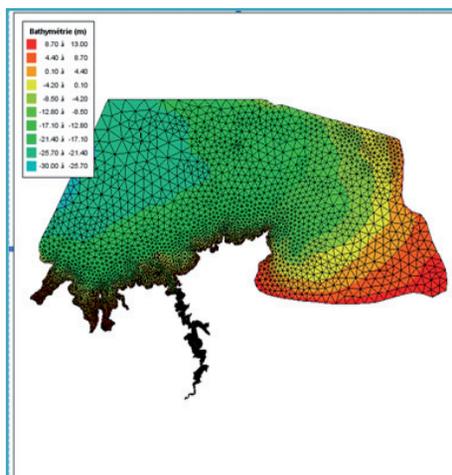
MODÉLISATION DE L'ESTUAIRE DE LA RANCE

INGÉROP assure auprès de COEUR-Emeraude (association de préfiguration du Parc Naturel Régional Rance Côte d'émeraude, Pleslin-Trigavou, Côtes d'Armor) une mission d'assistance et d'expertise dans le domaine de la modélisation numérique de l'estuaire de la Rance et de la zone côtière adjacente.

Les modèles réalisés par INGÉROP permettent d'acquérir la connaissance des phénomènes physiques auxquels est soumis l'estuaire : courants, houle, qualité des eaux, transport des sédiments.

L'outil numérique permet entre autres de modéliser les différents rejets présents sur l'emprise de l'estuaire. Il est notamment régulièrement mis en œuvre afin d'appréhender l'influence des émissaires des stations d'épuration, en particulier dans le cadre des demandes administratives de rejet en milieu naturel.

La mission d'INGÉROP s'appuie sur une parfaite maîtrise des outils de modélisation mis en œuvre associée à une excellente connaissance du site.



MODÉLISATION 3D

Au sein du système TELEMAC, le module TELEMAC-3D permet de résoudre les équations de Navier-Stokes en trois dimensions avec ou sans hypothèse hydrostatique. Le maillage 3D est obtenu par simple duplication du maillage horizontal sur la verticale.

En chaque point du maillage, la densité peut être calculée en fonction de la température et de la salinité. Ainsi, grâce aux différents modèles de turbulence disponibles au sein du code de calcul, TELEMAC-3D est un puissant outil numérique permettant de modéliser tous les types de panaches thermiques et/ou salins.

La modélisation tri-dimensionnelle permet également d'apporter une réponse pertinente lorsque l'évolution de la masse d'eau est influencée par le vent. Dans ce cas, le logiciel est capable de représenter la mise en mouvement des couches de surface ainsi que les éventuels courants de retour, particulièrement importants dans le cas d'un environnement confiné comme un lac ou une retenue de barrage.

Contact

Laurent Savouyaud - Directeur des services hydrauliques
laurent.savouyaud@ingerop.com

En bref

Les services spécialisés d'INGÉROP utilisent des modèles informatiques adaptés qui permettent non seulement d'appréhender les phénomènes hydrauliques pris séparément, mais également de comprendre et simuler leur imbrication et leur interdépendance.



LGV BRETAGNE PAYS-DE- LA-LOIRE, UNE MAÎTRISE D'ŒUVRE GÉNÉRALE AU SERVICE DE L'INTÉGRATION DU SYSTÈME FERROVIAIRE

INGÉROP, en groupement avec une autre ingénierie, assure, pour le compte du groupement constructeur en charge de la réalisation de la ligne nouvelle, une mission globale de gestion de la configuration et de management des interfaces.

Des compétences spécifiques précédemment développées notamment sur Trinidad Rapid Rail Transport ou Perpignan-Figueras sont mises en œuvre pour réussir la mise en exploitation commerciale de ce projet.

La gestion de la configuration est un outil essentiel au management des grands projets ferroviaires. Elle permet de connaître et de tracer l'état des systèmes à tous les stades de l'opération, le suivi des évolutions des données techniques et l'analyse de leurs impacts. La gestion de la configuration doit par conséquent prendre en compte les futurs besoins de l'exploitant et du mainteneur dès la phase initiale de conception. Cette gestion est assurée par la définition fonctionnelle technique et technologique du projet, et leur mise à jour.

Il s'agit principalement des documents suivants:

- programme fonctionnel,
- schéma des installations ferroviaires (SIF),
- schéma général d'alimentation électrique (SGA),
- schéma d'alimentation et de sectionnement (SAS),
- principes de signalisation et des automatismes,
- schéma d'architecture des réseaux de télécommunications,
- tracé et profil en long ferroviaires.

L'ensemble des exigences du projet peut, sur ces bases, être traduit en orientations techniques opérationnelles pour la conception par les différentes équipes de la maîtrise d'œuvre.

L'équipe de maîtrise d'œuvre générale assure également l'ensemble des tâches de sécurité, y compris la gestion de la FDMS et l'élaboration des dossiers nécessaires à la mise en service de la LGV. La gestion de la cohérence, du système et de l'intégration se fait au quotidien à travers une méthode rigoureuse de pilotage, des interfaces de toute nature, que ce soient :

- les interfaces entre sous-systèmes du projet : génie civil, voie, alimentation électrique de traction, caténaire, signalisation, télécommunications, (interfaces internes),
- les interfaces avec le sous-système maintenance (interface externe),
- les interfaces d'intégration du projet dans le réseau ferré national pour

son exploitation en télécommande, télécontrôle et télésurveillance, notamment les interfaces avec le poste de commande à distance et le central sous-station (interfaces externes).

Le management des interfaces internes est une des activités clefs de la bonne marche d'un projet ferroviaire.

En effet, une approche « système » est nécessaire afin de s'assurer que les nombreux sous-systèmes contribuent, tous ensemble, de manière intégrée et coordonnée, à la réalisation des objectifs fonctionnels initiaux du projet.

La mission comprend, de façon générale, les actions de coordination et de contrôle visant à ce que la conception et la réalisation projet prennent en compte les interdépendances et les interactions générées par chaque sous-système.

Ces interdépendances ou interactions plus communément appelées interfaces peuvent être physiques ou fonctionnelles. Les interfaces doivent être recensées, organisées, hiérarchisées, coordonnées, suivies, traitées et tracées.

Concrètement, la gestion des interfaces s'appliquera à toutes les phases du projet : de la conception à la mise en service de la ligne.

La mission comprend notamment la réalisation des tâches ci-après :

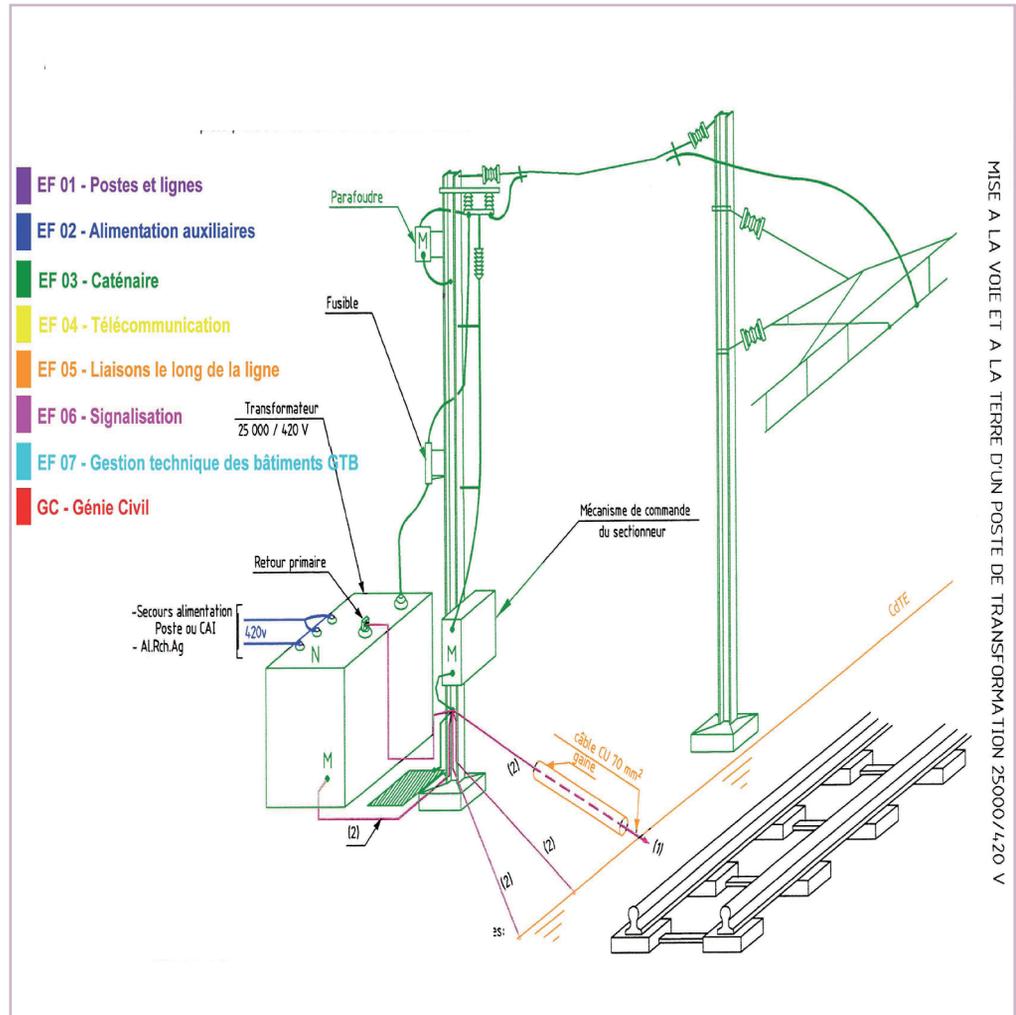
- hiérarchisation et identification de l'ensemble des interfaces entre sous-systèmes,
- mise en place d'un processus de management de ces interfaces tant en phase conception que réalisation, qui garantisse, grâce à une coordination entre les différents acteurs de la maîtrise d'œuvre et à la désignation de responsables du suivi :
 - une exhaustivité de l'approche,
 - la résolution de chaque interface,
 - la maîtrise du risque coût ou planning lié aux interfaces.

LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA GESTION DES INTERFACES : DU MONTAGE DU PROJET À LA CRÉATION D'OUTILS

La première phase consiste en la détermination des interfaces.

Celle-ci s'effectue par le découpage du projet en phases, en domaines, puis en constituants. Deux outils sont utilisés :

- Un tableau de répartition des tâches créé en croisant les phases avec les constituants. Ce tableau est composé de lignes reprenant les différents constituants du projet et de colonnes reprenant les différentes phases du projet.
- Des matrices d'interfaces créées en croisant les domaines et constituants. Chaque matrice correspond à une installation. Elle est composée de lignes reprenant la décomposition de l'ouvrage en constituants et de colonnes reprenant la décomposition en métiers (GC par exemple) et/ou en organismes (ERDF par exemple).



MISE A LA VOIE ET A LA TERRE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION 25000/420 V

LE PROCESSUS DE MISE EN PLACE DE RÉOLUTION DES INTERFACES

- Chaque case du tableau de répartition des tâches est renseignée avec l'identification de la maîtrise d'œuvre particulière en phase étude ou de la société de travaux en charge de la prestation.
- Pour chaque interface identifiée dans les matrices d'interface, une fiche de méthodologie de traitement de l'interface est ouverte.

Cette fiche comporte les éléments principaux suivants : **la désignation du pilote de l'interface ainsi que ses collaborateurs, une description sommaire de l'interface et un tableau**

d'enclenchement des tâches pour arriver à une résolution de l'interface avec une colonne de suivi.

L'interface est considérée comme résolue quand les documents qui apportent une description complète de la solution retenue sont produits.

Un tel dispositif a été mis en place sur le projet LGV-BPL. Il permet à tous les interlocuteurs du projet de suivre et de participer à l'avancement de l'état des interfaces (à ce jour plus de 300 fiches ont été créées).



Contact

Marcel Journet - Directeur ferroviaire.
marcel.journet@ingerop.com
Sylvie Lec - Chef de projet
sylvie.lec@ingerop.com

En bref

La mise en place d'une méthode rigoureuse de traitement des interfaces est un gage de la bonne intégration des différentes composantes d'un projet. Elle s'appuie non seulement sur les outils qui ont été développés par INGÉROP pour cette mission, mais aussi sur la qualité des acteurs responsables en charge de cette mission et leur parfaite connaissance des complexités du système ferroviaire.

ENVELOPPES POLYÉDRIQUES D'EFFORTS CONCOMITANTS

Les efforts concomitants agissant sur une section peuvent être représentés par des points dans un repère cartésien dont chaque axe mesure un des efforts. L'ensemble de tous les points générés par les différentes combinaisons de cas de charge forme un nuage qui ne peut, à l'inverse d'un effort unique, être caractérisé par les extrema d'un scalaire. La méthode et le programme développés visent à définir les sommets d'un polyèdre enveloppe du nuage de points. Dans le programme, le nombre d'efforts concomitants est limité à huit.

L'étude d'une structure complexe nécessite l'analyse de nombreux cas de charge, menée souvent à l'aide de plusieurs logiciels différents et parfois même par des spécialistes extérieurs. Un des problèmes de l'ingénieur structures est de combiner efficacement ces résultats d'origines diverses.

Si la section étudiée est dimensionnée par un seul effort, moment fléchissant par exemple, on peut combiner les valeurs de cet effort issues de plusieurs sources et trouver le maximum appliqué à cette section. Par contre si la section est dimensionnée par un torseur composé de plusieurs efforts concomitants tels que deux moments et un effort normal, on ne peut définir le maximum du groupe de scalaires mesurés de ce torseur.

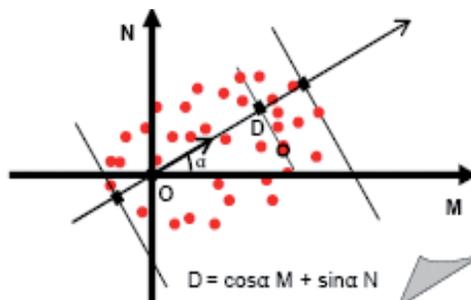
Souvent, on vérifie les extrema de chaque effort, accompagnés des valeurs concomitantes des autres efforts. Cela ne garantit pas que tous les torseurs possibles soient dans le domaine de résistance. A l'opposé, la vérification de sollicitations composées uniquement d'extrema d'efforts peut être très pénalisante.

La méthode proposée vise à déterminer les sommets d'un polyèdre enveloppant les points représentatifs, dans le repère des efforts, de tous les torseurs possibles. Dans le cas très général où le domaine de résistance est convexe, la vérification des sommets du polyèdre obtenu vaut pour tous les points intérieurs.

Pour ce faire, on recherche les extrema des abscisses des projections de tous ces points sur un axe.

Tous les points sont situés entre les deux droites perpendiculaires à l'axe aux abscisses D_{min} et D_{max} .

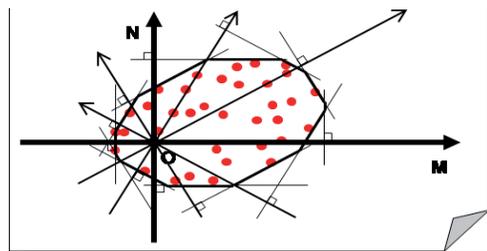
Pour obtenir un polygone circonscrit au nuage de points, il suffit de répéter l'opération avec une série d'axes.



Les concepts exposés ci-dessus dans un espace à deux dimensions (M et N) sont valides pour un nombre quelconque d'efforts, trois par exemple si l'on étudie la flexion composée déviée ou même huit lorsque l'on a à ferrailer un élément de coque. Le polygone est alors remplacé par un hyperpolyèdre dans un espace à huit dimensions.

Une remarque évidente autorise l'emploi de la méthode exposée pour simplifier grandement la récapitulation et la combinaison des enveloppes de torseurs appliqués à une section pour les différents cas de charge: la projection d'une somme vectorielle est la somme des projections de chaque vecteur.

Il faut au début de l'étude définir les sections à étudier et pour chacune d'elles les directions de projection. Pour chaque cas de charge, le spécialiste concerné projettera tous les torseurs possibles



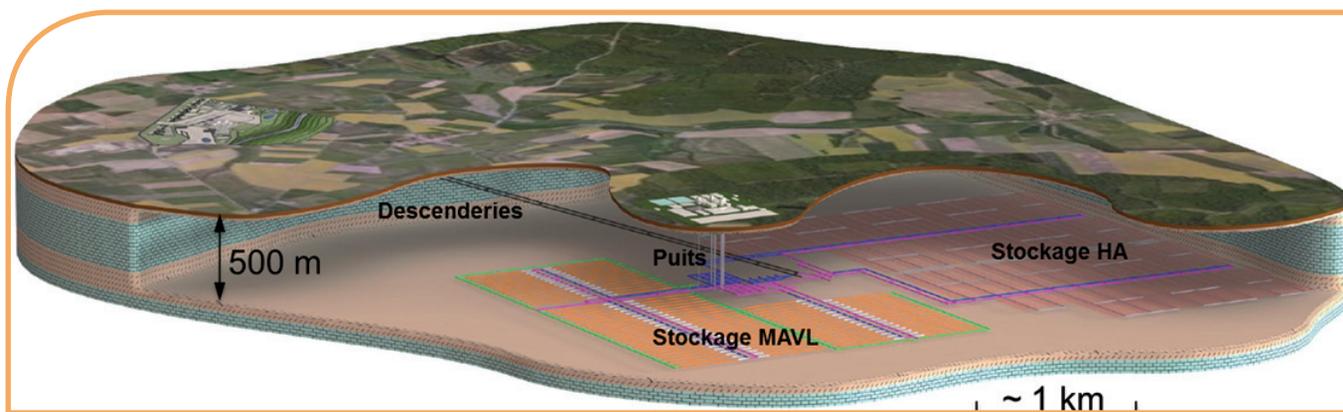
sur les directions convenues et retournera à l'ingénieur structure les extrema des abscisses des projections obtenues. L'ingénieur structure comblera les extrema aussi facilement que les valeurs d'un moment fléchissant. Il lui restera à utiliser le programme pour obtenir les sommets de l'enveloppe polyédrique recherchée.

Les enveloppes des cas de charge élémentaires ne peuvent généralement être calculées que pour des valeurs scalaires isolées (un effort ou un déplacement) et non pour des torseurs :

- exploitation des lignes et surfaces d'influence;
- calcul sismique avec combinaison modale CQC ou SRSS;
- composition SRSS des trois directions de séisme;
- calculs sismiques historiques basés sur plusieurs accélérogrammes avec moyenne et pourcentage de l'écart type des maxima trouvés pour chacun d'eux;
- calcul au vent turbulent par combinaison modale;
- calcul au vent turbulent par analyse historique.

Les abscisses des projections étant des combinaisons linéaires des composantes des torseurs étudiés, on appliquera à ces abscisses les méthodes applicables séparément à chacun des efforts.

Contact
Jean Schmitt - Ingénieur en chef Expertise et Structures
jean.schmitt@ingerop.com



CIGÉO : UN PROJET INDUSTRIEL INNOVANT DANS LE SECTEUR NUCLÉAIRE

Le projet français de stockage profond des déchets nucléaires exige un très haut niveau de technicité dans un grand nombre de domaines différents.

Il existe plusieurs catégories de déchets nucléaires qualifiées selon leur activité initiale et leur période de décroissance.

Parmi ceux-ci, les déchets radioactifs ultimes sont ceux dits à haute activité (HA) et moyenne activité à vie longue (MAVL) issus pour la plupart des combustibles usés et du démantèlement des réacteurs dont la nocivité peut perdurer pour certains d'entre eux pendant plusieurs centaines de milliers d'années.

La loi de programme du 28 juin 2006 a confié à l'Andra la responsabilité de concevoir, d'implanter, de réaliser et d'assurer la gestion des centres de stockage des déchets nucléaires. **Le projet associé aux déchets HA et MAVL nommé « Cigéo » sera implanté à la limite entre la Meuse et la Haute-Marne pour bénéficier des propriétés favorables d'un sous-sol composé d'une épaisse couche d'argilite stable depuis 154 millions d'années.**

Il est composé :

- d'installations de surface réparties en deux ensembles distincts dédiés essentiellement l'un aux activités d'exploitation nucléaire avec accueil et préparation des colis de stockage (zone descendrière), l'autre aux activités conventionnelles liées à la préparation des alvéoles de stockage (zone puits),
- d'installations souterraines composées de liaisons surface/fond, de galeries d'accès aux alvéoles de stockage et d'ouvrages techniques nécessaires au fonctionnement et enfin de quartiers de stockage.

Ce projet doit répondre à de nombreuses exigences. Parmi celles-ci, sa construction qui débutera en 2017 et son exploitation en 2025 se poursuivront en parallèle sur une période de plus de 100 ans. La sûreté des déchets à long terme ainsi que la notion de réversibilité (imposée par la loi de 2006) qui consiste à ne pas engager les générations futures par les choix opérés aujourd'hui sont très contraignantes et poussent l'Ingénierie vers de nouveaux modes de conception et de réflexion.

En janvier 2012, l'Andra a confié au **Groupement Gaiya**, alliance de Technip et du Groupe INGÉROP à parité, la maîtrise d'œuvre système de ce projet emblématique. La mission confiée à Gaiya se déroule en plusieurs étapes sur une période de près de 6 ans :

- définition des choix structurants;
- sélection de trois solutions d'ensemble niveau pré-esquisse;
- esquisse d'une solution d'ensemble;
- préparation du dossier en vue du débat public;
- consultation des maîtres d'œuvre sous-systèmes qui participeront aux avant-projets;
- avant-projet sommaire;
- avant-projet définitif;
- maîtrise d'œuvre de conception et de réalisation des travaux préparatoires.

Contact

Jean-Pierre Rapin - Directeur projet Cigéo

jean-pierre.rapin@ingerop.com

François Lauprêtre - Directeur Énergie Nucléaire

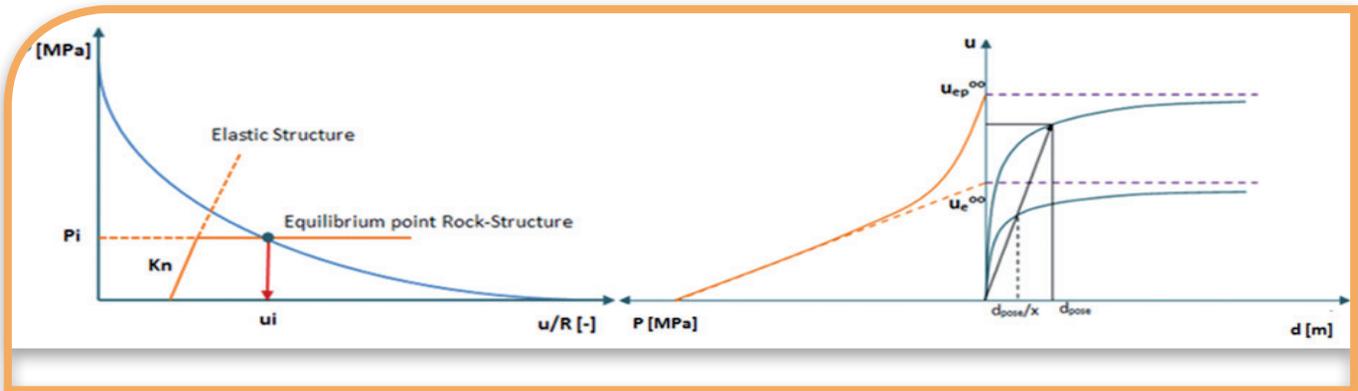
francois.laupretre@ingerop.com

Stéphane Potin - Directeur métier Énergie et Industrie

stephane.potin@ingerop.com

En bref

- **Volume de déchets à stocker** : env. 82.000 m³ de déchets MA-VL et 6.000 m³ de déchets HA.
- **Emprise des installations de surface** : environ 1000 hectares.
- **Liaison surface / fond** : plusieurs puits verticaux de 500 mètres et descenderies d'env. 4 km à 12%.
- **300 km de galeries et alvéoles de stockage** dans les installations souterraines.
- **Emprise totale des installations souterraines à terme** : ~15 km².
- **14 000 000 m³ de volume excavé et de terrassements**
- **100 alvéoles de stockage MA-VL et 2000 alvéoles de stockage HA.**



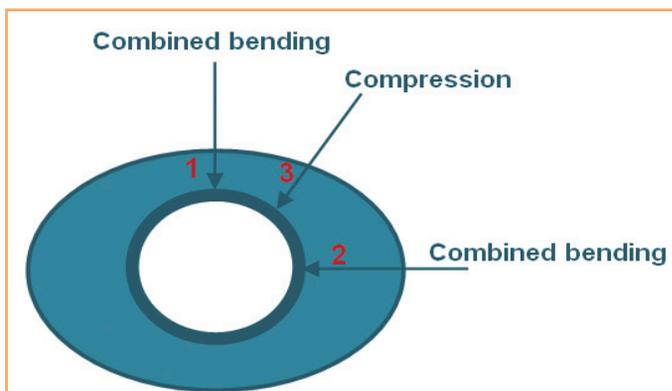
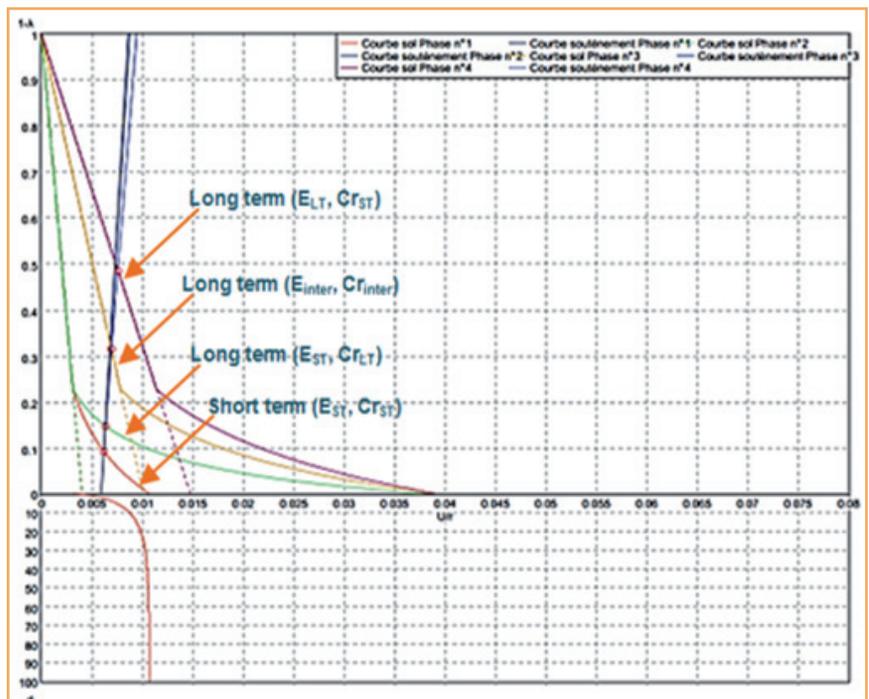
DE NOUVEAUX DÉVELOPPEMENTS UTILISANT LA MÉTHODE « CONVERGENCE-CONFINEMENT » DANS UN CHAMP DE CONTRAINTES ANISOTROPE

La recherche théorique, confortée par des modèles numériques, est indispensable à la conception maîtrisée des grands projets d'ouvrages géotechniques.

A l'horizon 2130, le projet Cigéo d'enfouissement profond des déchets nucléaires français comprendra un ensemble de galeries, à 500 mètres de profondeur dans les couches du Callovo-Oxfordien (COX) de l'Est du Bassin parisien.

Eu égard à la durée de service pour laquelle il sera conçu, l'ensemble structural de ce linéaire de galeries sera confronté sur le long terme au fluage du massif d'argilite dans lequel il sera construit.

De plus, un champ de contraintes anisotrope existe dans ces couches géologiques avec une direction horizontale des contraintes principales. C'est la raison pour laquelle les méthodes d'analyse de la structure, même dans une étape préliminaire, doivent prendre en compte cette caractéristique ainsi que le comportement à long terme, avec un radoucissement modéré qui se combine avec le fluage.



CHAMP DE CONTRAINTES ANISOTROPE

Dans les phases préliminaires de la conception, la méthode de référence en conditions axisymétriques, est l'approche convergence-confinement.

Le présent développement de GEOTUNNEL© permet de généraliser cette méthode lorsque le rapport entre les contraintes principales est différent de $k=1,00$.

Il peut être démontré qu'une solution analytique approximative pour l'équilibre élasto-plastique basée sur une solution implicite de Detournay et Fairhurst, peut approcher de manière satisfaisante les résultats obtenus avec un modèle numérique complet en situation de contraintes anisotrope.

PROFIL LONGITUDINAL DES DÉFORMATIONS

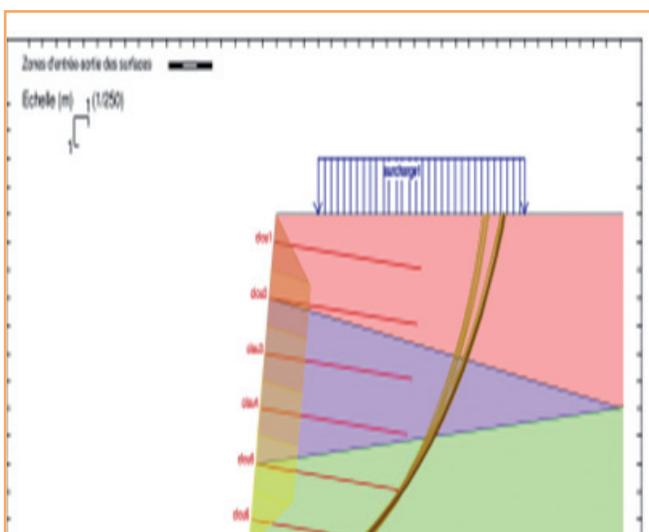
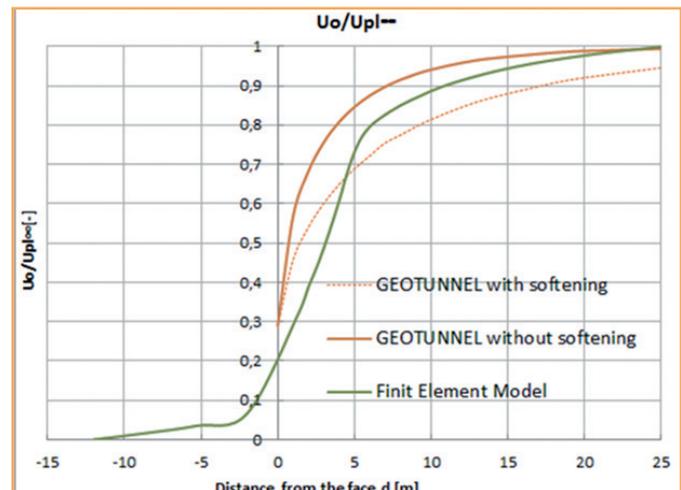
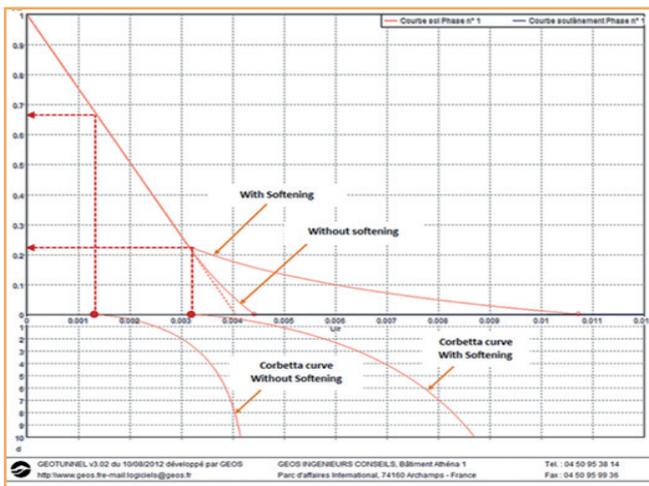
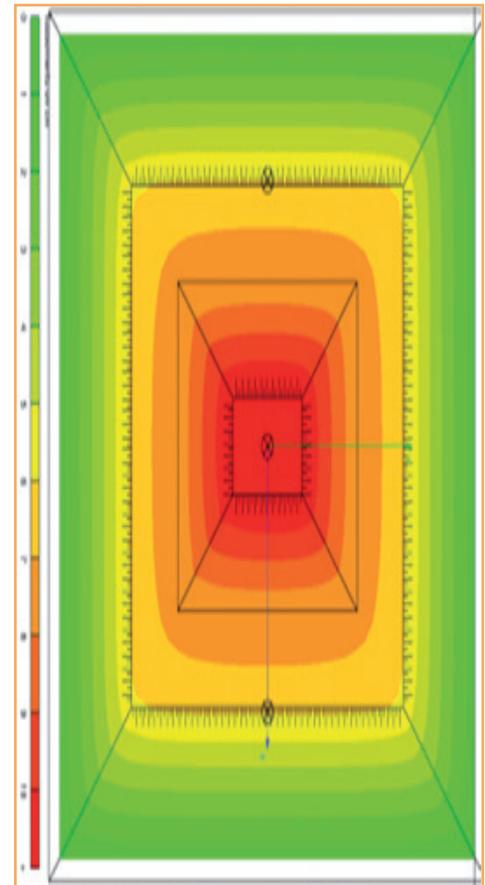
Le point le plus délicat concernant le calcul des structures de tunnels est la définition du taux de déconfinement au moment de leur pose.

Comme résultat pratique, le seul moyen de prendre en compte les effets de long terme du fluage est d'ajuster la pression interne fictive au moment où la structure est mise en place, comme si le comportement ultérieur provoquait une pression additionnelle à l'effet 3D des actions sur le front de taille.

Une comparaison entre un modèle aux différences finies réalisé avec FLAC par ITASCA Inc. et le modèle de Corbetta implémenté dans GEOTUNNEL montre que la courbe résultant du calcul numérique est encadrée par les courbes résultant de l'approche analytique, avec prise en compte ou non d'un radoucissement.



Fouille du bâtiment de l'OMC



Contacts

Alain Ménoret - Directeur GEOS
alain.menoret@ingerop.com

Christophe Jassionesse - Responsable ouvrages souterrains
christophe.jassionesse@ingerop.com

En bref

Depuis 2003, les experts géotechniciens de GEOS poursuivent, au sein d'INGÉROP, leurs actions de recherche et d'innovation, au service des projets de leurs clients.



TRAMWAY À VOIE UNIQUE DE VALENCIENNES

Le Syndicat Intercommunal des Transports Urbains de la Région de Valenciennes (SITURV) a lancé la troisième phase du TCSP de l'agglomération de Valenciennes. Cette troisième phase représente 15 km de voies nouvelles essentiellement à voie unique, une première en Europe.

LES DIFFICULTÉS INHÉRENTES À LA VOIE UNIQUE

En exploitation

La voie unique apporte une facilité d'insertion favorable au contexte urbain. Cependant, l'exploitation en voie unique demande d'intégrer plusieurs problématiques lors du croisement des rames en station :

- un temps de parcours attractif, malgré l'incidence des croisements en station (10 stations, en évitement, dont une pour du remisage);
- avoir une exploitation en mode dégradé satisfaisante (simulation d'une rame en demi-motorisation).

En insertion

- Les difficultés dans ce domaine correspondent aux aménagements au droit de la plate-forme nécessitant une sur-largeur et la sécurité autour de la voie unique;
- la gestion sécuritaire des piétons et des usagers de la route sur la perception du double sens du tramway sur la voie unique.

En signalisation ferroviaire

- La gestion de la voie unique en conformité avec les prescriptions des services de l'Etat (STRMTG/BIRMTG);
- l'intégration de l'exploitation en voie unique sur la ligne existante en voie double.

La troisième phase du TCSP reliera Valenciennes à Vieux-Condé. La longueur de cette nouvelle infrastructure est de 15,3 kilomètres, desservant 20 stations plus 2 optionnelles. Les contraintes d'insertion, liées à l'environnement de l'axe routier principal (Route Départementale), comme celles de budget ont déterminé le traitement de cette phase en voie unique.

LES OBJECTIFS MAJEURS VISÉS

- Faciliter la mobilité des habitants de l'agglomération de Valenciennes et désenclaver le Pays de Condé;
- avoir un mode de transport compatible avec les phases 1 et 2;
- satisfaire les prescriptions de sécurité des services de l'Etat.

LES PERFORMANCES À ATTEINDRE

- Réaliser une exploitation, en voie unique, avec une fréquence à 10 minutes, en intégrant le raccordement sur la ligne existante, tout en respectant un temps de parcours attractif.

Contacts

Olivier Laporte Many - Directeur métier Ville et Transports

olivier.laporte-many@ingerop.com

Mathias Boutillier - Directeur région Nord

mathias.boutillier@ingerop.com

Jérôme Damiens - Chef de Projet

jerome.damiens@ingerop.com

En bref

Le coût d'investissement pour un projet à voie unique est de l'ordre de 9 à 10 M€ /km (dépendant de l'aménagement de surface souhaité comme de la nécessité de construire ou non un dépôt).

La fréquence envisageable pour les passages du tramway est de l'ordre de 5 à 6 min. Le positionnement judicieux des zones d'évitement permet d'assurer cette fréquence. Ce principe de voie unique est une solution pouvant apporter des perspectives intéressantes pour des villes moyennes ou des extensions de réseaux.