



INTER
NATIONAL



1 © VIGNEREL-BOUYGUES

DYNAOPT

MESURE, INSTRUMENTATION, AUSCULTATION : UN SAVOIR-FAIRE MULTIDISCIPLINAIRE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

DYNAOPT (CONTRACTION DE DYNAMIQUE ET OPTIQUE) EST UNE ENTREPRISE INDÉPENDANTE D'INGÉNIEURS-CONSEILS EN INSTRUMENTATION ET AUSCULTATION QUI PROPOSE PRÈS DE 20 ANS D'EXPERTISE POUR TOUS LES BESOINS EN INSTRUMENTATION ET EN AIDE À L'ANALYSE DE RISQUE : DÉFINITION DU PROGRAMME D'AUSCULTATION, CHOIX DES TECHNOLOGIES ET DES SYSTÈMES PARTICULIERS, ACQUISITION, TRANSMISSION ET TRAITEMENT DE LA MESURE. SES PÉRIMÈTRES D'ACTIVITÉS, EN FRANCE COMME À L'INTERNATIONAL, SONT PRINCIPALEMENT LE GÉNIE CIVIL, LA GÉOTECHNIQUE, L'ENVIRONNEMENT AU SENS LE PLUS LARGE DU TERME (GLISSEMENTS DE TERRAIN, CHUTES DE ROCHERS, INONDATIONS, COULÉES DE BOUE...) ET PONCTUELLEMENT LE DOMAINE INDUSTRIEL.

Née au début du 20^e siècle, la démarche de l'auscultation a longtemps subi une réticence certaine parce que les résultats des instruments se révélaient peu fiables. Aujourd'hui, « *les progrès réalisés en ingénierie de l'auscultation*, indique Didier Dupuis, directeur technique et gérant de Dynaopt, *font qu'il est*

devenu impensable de construire sans ausculter ».

Le développement de ce métier d'expertise méconnu du grand public s'explique par deux raisons essentielles :
→ L'évolution des constructions et la réalisation de travaux importants en zones fortement urbanisées rendent les critères de sécurité et de qualité

1- Mesures de tassement sur la digue en mer du port Calais 2015.

de plus en plus exigeants et impliquent des connaissances quantifiées des ouvrages et des terrains toujours plus précises ;
→ Les modélisations mécaniques, bien qu'ayant grandement évolué, ne donnent encore que des images très simplifiées de la complexité des données géologiques et géotechniques.

LES ORIGINES DE L'ENTREPRISE

C'est à la suite d'une rencontre chez Telemac, un leader mondial dans la fabrication d'instruments destinés à l'auscultation d'ouvrages de génie civil⁽¹⁾, que Didier Dupuis et Frédéric Dadoun décident de fonder Dynaopt en 1999. « La création de Dynaopt, indique Didier Dupuis, directeur technique et gérant de l'entreprise, répond, d'une part, au besoin de lier les techniques topométriques avec les mesures collectées par des capteurs et, d'autre part, au besoin de développer une ingénierie spécifique en matière d'auscultation. Dynaopt rassemble, dans une seule structure, les compétences permettant la maîtrise complète de la "chaîne de la mesure", et cela de la traduction des objectifs de l'auscultation jusqu'au traitement de l'information en passant par la conception et la mise en œuvre des systèmes de mesure ».

Dès son démarrage, Dynaopt prend en charge deux opérations significatives : de 2000 à 2004, l'instrumentation en phase chantier du pont Charilaos Trikoupis (Rion Antirion en Grèce) pour le compte de Vinci Grands Projets, puis de 2004 à 2006, le soutien technique aux maîtres d'œuvre Arcadis et Inexia sur plusieurs lots de la ligne LGV Est. Le pont Charilaos Trikoupis, est un ouvrage à haubans qui relie le Péloponnèse à la Grèce continentale entre les deux villes de Rion et Antirion.

© MARC MONTAGNON



DYNAOPT EN BREF

Dynaopt emploie 16 personnes en France à son siège de Champigny-sur-Marne. Son chiffre d'affaires est d'environ 2 millions d'euros. Les ventes de matériel représentent 20% de ce chiffre d'affaires, les locations et prestations de services 80%. L'international (hors filiale algérienne) représente 10 à 15% de son chiffre d'affaire.

En 2015 Dynaopt a été lauréat du programme PM'UP et bénéficie du soutien de la région Île-de-France pour son développement au national et à l'international.

Un des objectifs de l'équipe Survey de Vinci Construction Grands Projets était de réduire les temps unitaires de chacune des opérations de réglage et d'optimiser les mises en tension des haubans à chaque clavage.

2- De gauche à droite, Frédéric Dadoun et Didier Dupuis, les cofondateurs de Dynaopt.

3- Le pont de Rion Antirion, l'une des premières grandes références de Dynaopt.

4- La centrale nucléaire de Qinshan en Chine.

Une instrumentation originale a été développée pour pouvoir fournir au logiciel de réglage les données requises. Des capteurs spécifiques, innovants pour certains d'entre eux, se sont révélés nécessaires là où les solutions plus traditionnelles n'étaient pas adaptées. La solution choisie a permis de réaliser des fléaux de 560 m de long avec des imperfections de construction de ± 15 mm, les opérations courantes de réglage ne dépassant pas la demi-heure, mesures et calculs compris. Pour cette prestation, le partenariat Dynaopt / équipe Survey / Formule Informatique a reçu le grand prix de l'innovation Vinci.

Sur le tracé de la LGV Est, la réalisation de grands remblais en zones compressibles a nécessité un suivi des tassements et des variations de pression interstitielle afin de garantir la stabilité des ouvrages.

Dans ce cadre, Dynaopt est intervenue, côté maîtrise d'œuvre, pour assurer un rôle de "chargé d'auscultations", à savoir : validation des choix des moyens et des procédures de mesure mis en œuvre, suivi des équipes mesure de l'entreprise sur le terrain, validation du traitement de l'information... Sa forte implication sur le terrain a permis une instrumentation plus performante quant au pourcentage de matériel opérationnel ce qui a été profitable autant à la maîtrise d'œuvre qu'à l'entreprise chargée des travaux.

À L'INTERNATIONAL : EN DIRECT OU EN PARTENARIAT

Dynaopt travaille avec l'ensemble des bureaux d'étude et des majors du BTP, en France et à l'étranger.



© DYNACOPT



5

© DYNAOPT



6

© STRUCTURAE



7

© DR

En 2008, Simecsol, chargé de l'étude et du suivi d'importants glissements de terrains impactant la ville de Constantine en Algérie, fait appel à Dynaopt pour former des entreprises locales à la mise en place de tubes inclinométriques profonds (jusqu'à 90 m). Pour Didier Dupuis et Frédéric Dadoun, c'est l'occasion d'entrer en relation avec des ingénieurs algériens et de créer Dynaopt Algérie, filiale basée à Constantine et aujourd'hui dirigée par Fayçal Benarab.

Cette filiale a permis l'implantation de Dynaopt au Maghreb et de travailler avec plusieurs entreprises étrangères. Lors de la construction de la première phase du tramway de Constantine en 2009, Dynaopt avait signé un contrat directement avec l'entreprise Pizzarotti pour le suivi et le contrôle des fondations. Aujourd'hui, le projet d'extension de cette ligne, qui renforcera la desserte des quatre universités de Constantine avec la création de 12 nouvelles stations, est très attendu par la population d'Ali-Mendjeli, une ville nouvelle de 500 000 habitants.

Dans cette seconde phase, Dynaopt Algérie devrait de nouveau réaliser le contrôle des fondations, pour le compte de Cosider, entreprise étatique adjudicataire des travaux.

Un autre exemple concerne le projet d'extension du port de Djen Djen en

Algérie. « L'ouvrage est un terminal à conteneurs gagné sur la mer par la réalisation d'une digue de 1 550 m de longueur en caissons préfabriqués associée à un remblai hydraulique, précise Didier Dupuis. L'auscultation consiste au suivi de la stabilité des caissons ainsi que de celle du remblai hydraulique situé à l'arrière de la digue. Ce sera une première en Algérie parce que l'instrumentation, totalement automatisée, se fait pendant la construction mais devrait passer, à la fin des travaux,

5- Le barrage hydraulique de Dumanoir en Guadeloupe.

6- Dynaopt a fourni l'instrumentation du barrage de Berke en Turquie.

7- Le site impressionnant du barrage de Berke.

8- Instrumentation dans le cadre de l'extension d'une raffinerie à Alger.

dans les mains du gestionnaire pour le suivi de la vie de l'ouvrage ».

Les autres contrats récents ou en cours concernent CRCC (Chine) pour des essais de chargement d'ouvrages sur des autoroutes algériennes ainsi que CGEC (Chine) pour l'instrumentation du barrage de Djenné au Mali.

« Pour toutes ces interventions, poursuit Didier Dupuis, les équipes de Dynaopt et de Dynaopt Algérie sont présentes physiquement pour assurer des prestations de service complètes avec la



8

© DYNAOPT



© DYNAOPT
9



© DYNAOPT
10



11

fourniture de matériel ainsi que le suivi des ouvrages sur lesquels elles réalisent les mesures et le traitement de l'information. Là encore, le rôle de nos équipes consiste à définir les moyens de mesure, les installer, valider la fiabilité des résultats, assurer la maintenance et enfin traiter les données pour les rendre interprétables par les ingénieurs des bureaux d'étude ».

CONSEIL TECHNIQUE À L'INTERNATIONAL

À l'international, Dynaopt intervient également comme conseil technique en assistance à des entreprises spécialisées. Ces conseils en instrumentation d'ouvrage sont le plus souvent de courte durée (3 à 4 semaines au maximum) et se déroulent à un moment très particulier du phasage des travaux. Ils sont presque toujours liés à un besoin de formation des équipes sur site afin de les rendre autonome pour la mise en œuvre et la lecture des différentes instrumentations installées. En cas de problème, ces équipes peuvent bénéficier du soutien de Dynaopt à distance ou sur site.

9- Chantier du port de Djen Djen en Algérie.

10- Mise en place d'une instrumentation sur le chantier d'extension du port de Djen Djen en Algérie.

11- Les caissons formant la digue du port de Djen Djen avant leur immersion.

Plusieurs exemples illustrent cette activité :

→ Zones compressibles au Maroc : Keller Fondations et Medocean (entreprise marocaine de géotechnique) sont intervenus dans le cadre du confortement des sols de la future zone des ateliers de maintenance de la ligne à grande vitesse Tanger - Kenitra (à Tanger). Ces deux entreprises ont fait appel à Dynaopt pour le suivi des tassements.

→ Barrages :

En Tunisie, Dynaopt est intervenue sur le barrage de El Brek pour Hidrotechnika (bureau d'études serbe) pour la formation à la mise en place de cellules de pression interstitielle.

En Turquie, l'instrumentation du barrage de Berke⁽²⁾ sur l'Euphrate a été fournie par Telemac pour le compte de CEAS, la compagnie turque de transport d'électricité. Elle comprend des pendules dans le corps du barrage pour surveiller son comportement, des extensomètres au niveau de la jonction barrage/terrain, des mesureurs de débit de fuite en pied de l'ouvrage, des appareils de surveillance sismique...

« Cette instrumentation ayant été livrée dix ans avant qu'il soit possible de la mettre en œuvre, précise Didier Dupuis, Telemac s'est appuyé sur Dynaopt pour suivre sa mise en place et valider le bon fonctionnement de l'ensemble. En dépit des dimensions exceptionnelles du barrage, l'ensemble de la surveillance ►

L'ADAPTATION DES MOYENS

À l'écoute de ses clients, Dynaopt intègre et commercialise des instruments de mesure, des systèmes clé en main et des logiciels spécifiques au traitement de l'information répondant au cahier des charges. Ses ingénieurs s'attachent à optimiser la solution proposée tout en respectant le budget alloué. Dynaopt propose ainsi un choix varié de techniques :

- Mesure par capteurs (corde vibrante, inductif, résistif, fibre optique...),
- Mesure optique automatisée,
- Automatisation de systèmes d'auscultation, gestion des alarmes,
- Logiciels de communication et de visualisation - suivi à distance.



12



13



14

© DYNACOPT

de l'ouvrage n'est pas automatisé mais réalisé physiquement (c'est-à-dire que les mesures sont faites manuellement au niveau de chaque capteur). Cette particularité était liée à une politique de préservation de

l'emploi local. Il était donc nécessaire de former les équipes locales à utiliser le matériel et à assurer sa maintenance, tout en restant capable de faire du diagnostic visuel sur l'ouvrage ».

12- La gare Le-Vert-de-Maisons du futur Grand Paris Express.

13- Dynacopt intervient sur la gare Les-Ardoines de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express.

14- Puits d'essai au Kremlin-Bicêtre dans le cadre du prolongement de la ligne 14 du métro parisien.

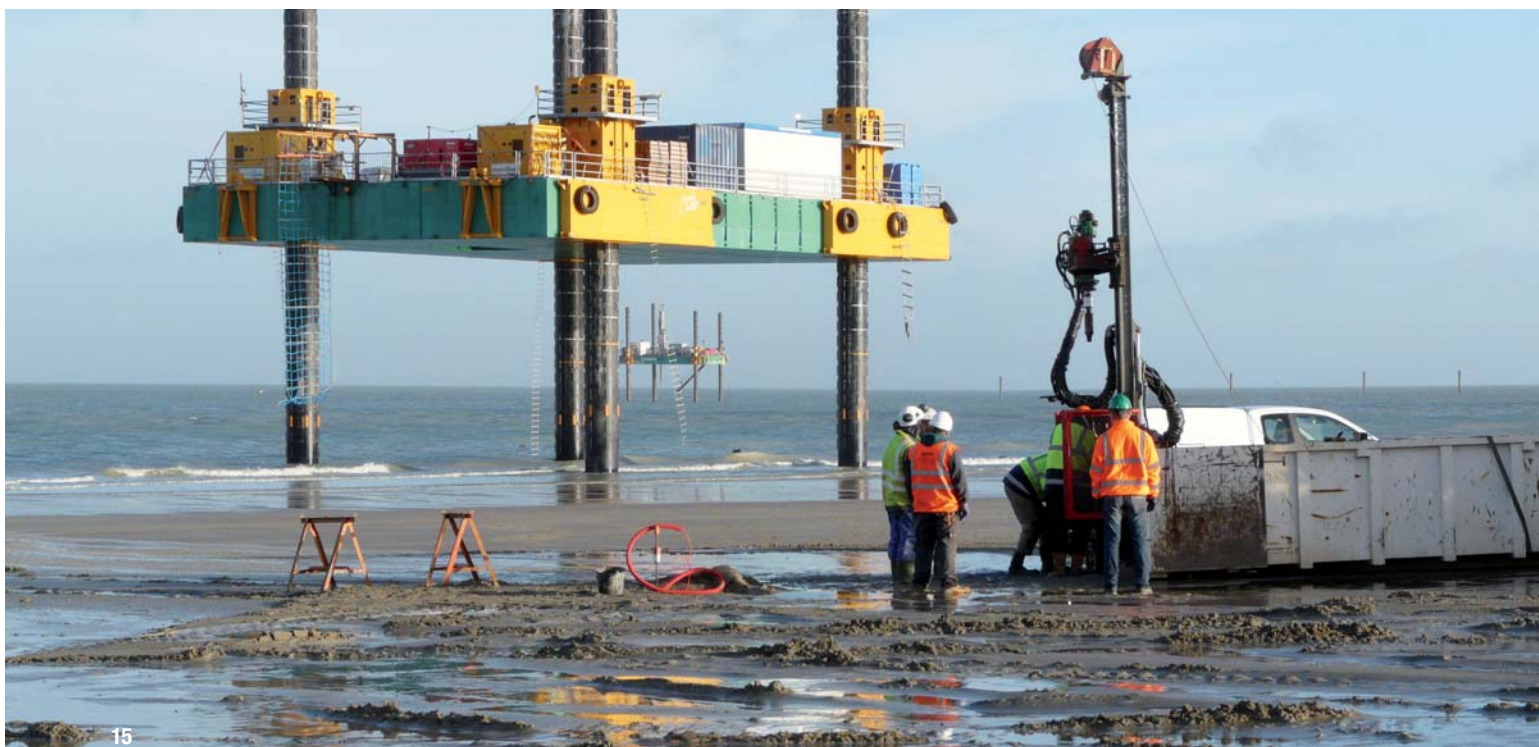
15- Mesures de tassement sur la digue en mer du port Calais 2015.

Au Maroc : diagnostic de l'instrumentation en place et étude de la faisabilité d'une automatisation des mesures.

→ Centrales nucléaires : en Chine, formation à la mise en place de capteurs et au traitement des données (centrale de Qinshan et de Lyanungang) pour Telemac et Freyssinet ; en Roumanie (centrale de Cernavoda) pour Telemac : préparation de l'automatisation de la lecture des capteurs installés lors de la construction du dôme et du radier.

SÉCURISATION ET SUIVI DES SITES NATURELS

À la suite d'une coulée de boue sur les pentes du volcan Chichontepec au Salvador, un village avait été partielle-



15

© V.GAUREL- BOUYGUES



© DYNAOPT
16



17

ment détruit. L'objectif était de réaliser des moyens de protection de ce village après sa reconstruction sur les lieux mêmes de la catastrophe, par la mise en œuvre de détecteurs de coulées de boue et de capteurs équipant les digues de détournement de nouvelles coulées.

Avec l'aide d'une entreprise locale, Dynaopt a réalisé la mise en place du système conçu par le bureau d'études français JPA et la société Modular One.

À noter que, sur ce chantier perdu dans la nature, les capteurs de surveillance sont alimentés par des panneaux solaires : pour l'anecdote, une milice

16- Suivi de remblais sur un chantier de terrassement.

17- Installation d'un théodolite automatisé en bordure d'une voie ferrée.

armée locale était chargée de protéger contre le vol ces panneaux et les batteries associées.

D'autres projets similaires ont été étudiés en Algérie et en France.

GRAND PARIS EXPRESS : UN SOUTIEN ET UNE PRESTATION COMPLÈTE

Dynaopt est présente sur le marché français dans de nombreux domaines d'instrumentation d'auscultation et de surveillance. Elle intervient directement auprès de la maîtrise d'ouvrage ou de la maîtrise d'œuvre ainsi que pour le compte d'entreprises ou de groupements adjudicataires des marchés.

Dans le cadre des chantiers du Grand Paris Express, l'entreprise a créé un Groupement d'Intérêt Économique avec deux de ses partenaires historiques :

→ Structure et Réhabilitation, bureau d'étude installé à Bagnolet et Igny

spécialisé dans les ouvrages souterrains et les ouvrages enterrés ;
→ Hyp-Arc bureau de géomètres basé à Saint-Julien-en-Genevois spécialisé dans la topométrie de précision et des "travaux spéciaux".

Ce GIE baptisé Gauss Monitoring (Géométrie AUScultation et Suivi) regroupe environ 130 personnes dont une quarantaine spécialisée dans l'instrumentation et l'auscultation.

Il abrite l'ensemble des disciplines nécessaires pour répondre aux exigences de monitoring de ces grands chantiers allant de la fourniture et la pose du matériel jusqu'à l'interprétation des mesures. ▷





« Ce groupement, dirigé par Grégory Lebon, un des ingénieurs de Dynaopt, poursuit Didier Dupuis, permet d'apporter une meilleure attente aux exigences de ces marchés tout en continuant à assurer un service de qualité aux clients historiques de Dynaopt sur les autres marchés ».

Les premières interventions de Dynaopt (avant la création de Gauss Monitoring) et de Gauss Monitoring sur les chantiers du Grand Paris Express ont été, entre autres, l'instrumentation et le suivi du puits d'essai Marcel-Sembat au Kremlin-Bicêtre pour le compte du bureau d'études Antea, le suivi des plateformes ferroviaires au niveau des gares Les-Ardoines et Le-Vert-de-Maisons pour le groupement Horizon et le suivi du comportement des terrains par l'extensomètre incrémental dans le puits Calmette dans le cadre du prolongement de la ligne M11⁽³⁾.

Le puits d'essai Marcel-Sembat a été réalisé dans le cadre du prolongement de la ligne 14⁽⁴⁾. Ce puits d'essai réalisé par Eiffage, d'un diamètre de 5 m et d'une profondeur de 40 m, a nécessité un suivi topométrique de surface, des mesures de convergence du puits, la réalisation d'essais de chargement à la plaque horizontaux et verticaux.

Pour ces prestations, Dynaopt a proposé, en fonction des contraintes de chantier et de la fréquence des mesures, des solutions aussi bien automatisées que manuelles. La réalisation d'une galerie horizontale de 12 m de longueur en fond de puits a bénéficié d'un suivi inclinométrique et extensométrique vertical à partir de la surface et, en galerie, d'un suivi extrusométrique.

Située à la limite entre Alfortville, à l'ouest, et Maisons-Alfort, à l'est, la

future gare Le-Vert-de-Maisons se trouve sous les voies ferrées à proximité du square Dufourmantelle. Elle assurera une correspondance avec celle, existante, du RER D. La future gare Les-Ardoines est implantée à Vitry-sur-Seine, à proximité du Technicentre Paris Rive Gauche, un important centre de maintenance RER de la SNCF. La présence des plateformes ferroviaires et des habitations nécessite une surveillance. Gauss Monitoring a été sollicité par le groupement Horizon

18- Radar de structure dans un ouvrage souterrain.

19- Fissurométrie dans un ouvrage ayant subi des désordres de structure.

20- Instrumentation de pieux sur le chantier de la raffinerie de Skidda en Algérie.

(Bouygues - Soletanche Bachy) sur le lot T2A de la ligne 15 Sud. Le GIE fournit un suivi en temps réel, par un ensemble de théodolites automatisés des voies en gares de Le-Vert-de-Maisons et Les-Ardoines.

PRÉSENCE DIVERSIFIÉE EN PROVINCE

Bien que son siège et ses installations soient situés en région parisienne, Dynaopt intervient dans toute la France. Elle est actuellement présente sur le



21 - Surveillance d'une voie ferrée par une batterie de clinomètres.

chantier Calais 2015 pour le compte de Bouygues TP. Le projet consiste à réaliser une digue en mer de plus de 3 kilomètres, à terrasser par dragage le fond du futur bassin de 90 hectares, et à utiliser les matériaux issus de ces dragages pour construire de nouveaux terre-pleins gagnés sur la mer en les stockant derrière des digues provisoires.

La digue principale servira à protéger la navigation et les équipements du port à l'intérieur d'un bassin de 90 hectares navigables. Sa carapace composée de Xbloccs® est conçue pour résister aux tempêtes et à la montée des eaux dans les cent prochaines années.

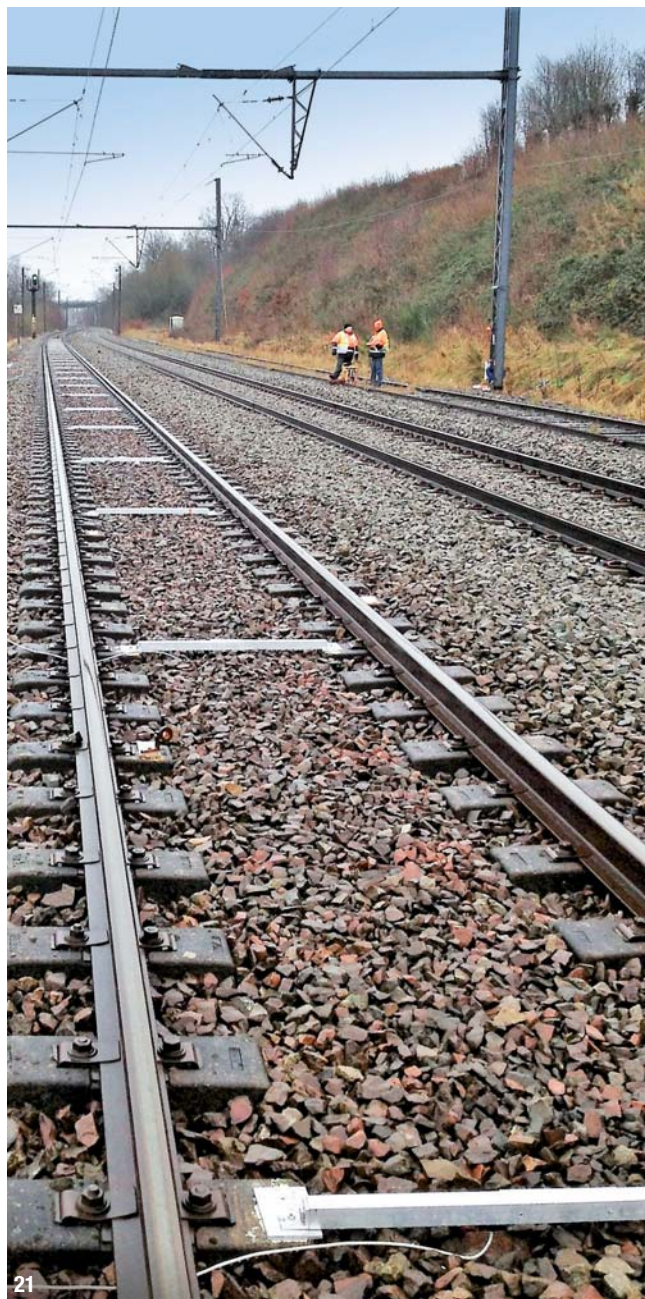
Les cotes de la digue sont variables selon les sections mais, globalement, sur la section la plus au large, qui est la plus importante et la plus profonde, elle a une hauteur maximale de 25 m par rapport au fond marin, une largeur en pied de 90 m, hors tapis de protection anti-affouillement, et de 15 m en tête. Sur ce chantier, Dynaopt participe au suivi et à la mesure des tassements des terrains porteurs du remblai hydraulique.

« La particularité de travailler dans des zones gagnées sur la mer, précise Didier Dupuis, implique des réflexions et des dispositions spécifiques tant pour la conception des moyens de mesure que pour la mise en œuvre des matériels de contrôle et de suivi des tassements ».

Toujours en province, en direct ou en partenariat, Dynaopt a une activité sur des chantiers de natures et de tailles diverses :

→ Suivi de plateformes ferroviaires lors de traversées sous voies : Dynaopt propose à la location ou la vente des systèmes de mesure de stabilité de la plateforme ferroviaire répondant aux exigences de la SNCF. Elle propose en complément un suivi vibratoire à la directive IN1226 et une auscultation par géoradar avec son partenaire Geoscan Structure et Réhabilitation.

→ Surveillance de différentes zones rocheuses et glissements. En Haute-Savoie, en particulier, la Sage (Société Alpine de Géotechnique) assure le suivi du glissement du Chambon avec les solutions techniques développées par Dynaopt.



21
© DYNAOPT

DES PRODUITS SPÉCIFIQUES

Lorsque la solution technique n'est pas disponible auprès de ses fournisseurs ou sur le marché, Dynaopt développe des solutions de mesures dédiées ou non à un client :

- **Pendule laser** : mesure de déviation de verticalité sans fil,
- **Hathor (en collaboration avec Hyp-Arc)** : système de mesure par théodolite motorisé asservi,
- **Référence topographique profonde** : report d'un point ancré en profondeur,
- **Artix** : système de contrôle de positionnement des voies ferrées (développé pour TSO),
- **MT5E** : profilomètre multipoint automatisé pour les mesures de tassement.

→ L'instrumentation pour Antea de zones de stockage de résidus provenant de l'industrie de l'aluminium dans la région de Decazeville, avec sélection, mise en œuvre et automatisation des mesures.

→ Diverses instrumentations de remblais (cellules de pression interstitielle, piézomètres, tassomètres...) pour le compte de plusieurs bureaux d'études et entreprises de sondages comme Fondasol, Forsol, Althea Ingénierie...

UNE DOUBLE COMPÉTENCE

Suivant les projets et la disponibilité des équipes de ses clients, Dynaopt propose soit une prestation complète allant de la conception de l'instrumentation jusqu'au rendu des mesures (l'interprétation de ces dernières étant réalisée par des bureaux d'études externes), soit simplement la fourniture du matériel d'auscultation, à la vente ou à la location.

Par exemple, l'entreprise fournit du matériel d'auscultation pour l'instrumentation de la mine de cuivre et d'or d'Oyu Tolgoi située en Mongolie dans le désert de Gobi ainsi que plusieurs types d'instruments servant au réglage du tablier du pont de l'Atlantique sur le canal de Panama (Vinci Construction Grands Projets).

« Si Dynaopt se tient évidemment au fait de l'évolution des techniques de suivi et de mesure, conclut Didier Dupuis, son savoir-faire se situe dans sa maîtrise des choix au niveau des matériels et ou des techniques à mettre en œuvre et de leur gestion en regard des conditions de chantier rencontrées. L'auscultation n'est pas une fin en soi, c'est un outil que Dynaopt s'emploie à maîtriser pour aider à comprendre le comportement d'un ouvrage et son incidence sur son environnement ». □

1- Telemac (société française acquise en 1991 par l'entreprise canadienne Roclest) a participé à l'instrumentation de surveillance de plus de 400 barrages dans 75 pays à travers le monde. La société a été fondée par André Coyne en 1947 afin de faire la promotion des extensomètres à corde vibrante dans le domaine du génie civil. Ces instruments ont été utilisés pour la première fois en 1930, dans le barrage de Brommat, en France.

2- Le barrage de Berke est un ouvrage voûte en béton de 201 m de hauteur au-dessus des fondations (257 m de hauteur totale), d'un volume de 735 000 m³, dont le réservoir a une superficie de 800 000 m².

3- Le prolongement de la ligne M11 de l'actuel terminus Mairie-des-Lilas à la gare RER E de Rosny-Bois-Perrier facilitera les déplacements dans l'Est parisien.

4- Le prolongement de la ligne 14 va mener de la station Olympiades (Paris XIII^e) à l'aéroport d'Orly d'ici à 2024.