

## Actualité

Commémoration du Séisme de Boumerdès (21 mai 2003)

Journée Technique :

## SÉISME DE BOUMERDÈS, 22 ANS APRÈS

(Page 09)



Cycles de Vulgarisation RPA 2024  
Déployés par les Directions  
Régionales du CTC



Les cycles des journées de vulgarisation relatives aux nouvelles Règles Parismiques Algériennes -RPA 2024- ont été entamés le 06 avril 2025 et s'étaleront tout au long du deuxième trimestre de l'année en cours.

(Page 07)

CONFÉRENCES  
DU 27<sup>e</sup> BATIMATEC  
LE ROLE DU CTC  
DANS LA PROMOTION  
DES START-UP  
MIS EN EXERGUE



(Page 04)

## Dossiers

Comportement des matériaux cimentaires sous l'effet d'un écociment à base de boues de dragage

Les opérations de dragage génèrent une grande quantité de sédiments qui sont rejetés en aval du site du barrage ou transportés vers des sites de transit ou de regroupement. La gestion de ces sédiments en déblais issus de dragages peut être envisagée sous forme de deux types de gestion bien distincts.

(Page 10)

Approche par Machine Learning pour l'identification des sols agressifs contenant des sulfates

Les Sol Acides Sulfatés font partie des types de sols les plus problématiques vis-à-vis des constructions et d'infrastructures. Dans la planification de nouvelles infrastructures, telles qu'un pont, une route ou un bâtiment, il est essentiel de connaître le taux en sulfates SO<sub>4</sub> du sol car cela peut contribuer à la corrosion des infrastructures en acier ou à la détérioration rapide d'un bâtiment, ce qui peut avoir un impact économique et environnemental significatif.

(Page 25)

# SOMMAIRE

## ACTU

CTC

Formation Préparation de la Relève

**Top départ pour la deuxième promotion**

06



Déployés par les Directions Régionales du CTC

**Cycles de vulgarisation  
RPA 2024**

07

Projet de coopération algéro-japonaise (DNRM - JICA)

**Réunions de coordination entre  
les experts algériens et japonais**

08

## DOSSIER TECHNIQUE

**COMPORTEMENT DES MATERIAUX  
CIMENTAIRES SOUS L'EFFET D'UN ECOCIMENT  
À BASE DE BOUES DE DRAGAGE**

10

**“Le Courrier du CTC”**

Publication professionnelle éditée par le CTC

Organisme National de Contrôle Technique de la Construction

Siège Social: 01, Rue Kaddour Rahim Hussein Dey Alger  
Tél: 023 77 25 84 - 023 77 57 78 Fax: 023 77 57 97  
[www.ctc-dz.org](http://www.ctc-dz.org)

Directeur Général Responsable de la Publication  
**MEZIANI Khaled**

Diffusion gratuite aux professionnels de la Construction

## Édito

# Sur une dynamique de performance ascendante

*Le secteur du BTP, véritable locomotive de croissance, demeure l'un des principaux propulseurs en mesure d'entrainer et de faire prospérer l'économie d'un pays ; et l'adage, si bien connu, "Quand le bâtiment va, tout va !", est toujours d'actualité. Il l'est véritablement, en ce sens que le Bâtiment reste un puissant donneur d'ordres qui fait travailler l'ensemble des branches industrielles, faisant appel au concours de nombreux acteurs et corps de métiers ; ce qui se répercute positivement sur les chiffres de l'activité économique. L'idée est que la santé du Bâtiment et celle de l'économie sont intimement liées.*

*Dans cette lancée de développement et ce nouvel élan de croissance économique que connaît actuellement l'Algérie, les choses se font bien ressentir à l'échelle Entreprise. C'est une réalité. Palpable ! L'on est bel et bien sur une dynamique de performance ascendante et les firmes et autres organismes des différents secteurs sont dans l'obligation de s'adapter à ce nouveau rythme de travail très soutenu avec une accélération de la cadence qui monte crescendo.*

*Pour le CTC, fortement sollicité par les projets d'investissement dans l'immobilier, les infrastructures, l'industrie et l'énergie dans le cadre des différents programmes initiés par les pouvoirs publics, il s'agit de relever le défi; ou plus exactement les défis.*

*En effet, parmi les acteurs du secteur construction, il faut bien le dire, le CTC occupe une place prépondérante et joue un rôle pivot dans un environnement en pleine effervescence technique et réglementaire. L'évolution incessante de ces deux axes implique un ajustement permanent de la stratégie de gestion et une mise à niveau continue des compétences de l'Organisme. Ce dernier doit s'adapter aux nouvelles évolutions technologiques et réglementaires afin d'assurer un degré de performance assez élevé.*

*Pour ce faire, le CTC a toujours accordé une importance particulière à la formation, et ce à travers une démarche méthodique continuellement adaptée aux nouvelles exigences du métier. Il a constamment investi dans l'élément humain, unique vraie ressource durable capable d'assurer l'atteinte régulière des objectifs tracés et la réalisation de résultats supérieurs à la moyenne.*

*A l'ère de la transformation digitale et de l'Intelligence Artificielle (IA), qu'on qualifie de rendez-vous qu'aucune Entreprise ne doit rater ; il est particulièrement important de noter que le défi des compétences est la seule clé de réussite.*

BATIMATEC 2025  
(Salon International du Bâtiment, des Matériaux de Construction et des Travaux Publics)  
- Safex Pins Maritimes - Alger - du 04 au 08 mai 2025

## CONFERENCES DU 27<sup>e</sup> BATIMATEC

Journée du jeudi 08 mai 2025

# LE ROLE DU CTC DANS LA PROMOTION DES START-UP MIS EN EXERGUE



Salle Ali Maâchi - Safex - Pins Maritimes Alger - Jeudi 08 mai 2025

La dernière journée des conférences du Batimatec 2025 a été consacrée à la **“PROMOTION DE L’INNOVATION ET DU SOUTIEN A L’ECOSYSTEME ENTREPRENEURIAL UNIVERSITES / ENTREPRISES”**. Une rencontre scientifique qualifiée d’excellente opportunité pour mettre en avant des projets innovants dans le cadre de la promotion des start-up.

Dans leur allocution d’ouverture et de présentation des objectifs de la journée, M.Ali BRAHIMI Directeur Général Adjoint du CTC (représentant le ministère de l’Habitat, de l’Urbanisme et de la Ville) et M<sup>me</sup> Wassila KNATEF Directrice de l’Incubation, de l’Entrepreneuriat et de la Formation à l’ANPT (Agence Nationale de Promotion & de Développement des Parcs Technologiques), ont mis l’accent, chacun de son côté, sur

l’importance du partenariat universités/entreprises qui joue un rôle clé dans l’émergence des start-up aidant les porteurs de projets innovants à transformer leurs idées en projets concrets.

Pour sa part, M.BRAHIMI a réitéré l’engagement du CTC dans le développement et la promotion des start-up traduisant une volonté immuable de contribuer efficacement à l’effort des pouvoirs publics pour donner

un essor sans précédent à l'entrepreneuriat basé sur la connaissance et l'innovation. A ce titre, l'intervenant a rappelé aux présents la signature, en février 2024, d'une convention-cadre entre le CTC et l'ANPT visant la mutualisation des efforts des deux institutions pour l'accompagnement et le renforcement de la croissance des start-up incubées à l'ANPT. Dans ce sens, M.BRAHIMI a évoqué la mise en œuvre effective de cet accord.

Mme KNATEF a, quant à elle, souligné l'importance de la collaboration et de la coopération entre les différents intervenants de cet écosystème (Universités-Entreprises-ANPT) dans la concrétisation des projets portés par les start-up. Elle a remercié, à l'occasion, le CTC pour son implication et son engagement dans cette synergie de l'innovation, encourageant l'intégration des solutions technologiques de pointe et des outils d'aide à la décision ; un travail d'incubation et d'accompagnement réalisé avec les efforts conjoints du CTC et de l'ANPT.

La journée a connu, également, l'intervention très enrichissante de M.Chemseddine BENMOUSSAT, Directeur des start-up et des structures d'appui au ministère de l'Économie de la Connaissance, des Start-up et de la Micro-Entreprise, qui a largement évoqué les avantages du nouveau concept de «open innovation».

## Franc succès pour "LES ATELIERS TECHNIQUES DU CTC"

De toutes les activités enregistrées au niveau du stand d'exposition de l'Entreprise, l'on ne manquera pas de noter que "Les Ateliers Techniques du CTC" ont eu un franc succès auprès des participants qui n'ont pas hésité à exprimer leur satisfaction ainsi que le souhait de voir ce genre de rencontres se renouveler à l'avenir.

En tout, quatre ateliers techniques ont été réalisés durant les après-midi du 05 au 08 mai 2025, de 13h00 à 16h00, avec des communications pertinentes autour des thèmes suivants:

**•Atelier n° 01: SENSIBILISATION DES PARTIES INTERESSEES SUR LA PROCEDURE DU DIAGNOSTIC ET EXPERTISE DU CTC**  
Animé par Mme CHIBANI Nabila Cheffe de Département des Référents Techniques DRT-DDE / CTC;

**•Atelier n°02: LES NOUVELLES DISPOSITIONS TECHNIQUES DES RPA 2024 DANS LE DOMAINE DE LA GEOTECHNIQUE**  
Animé par M.BENHAMMOUCHE Toufik Directeur de Projet SIG/DTM/DG/CTC & Mme HADJIMI Nacera Ingénieur Contrôleur /DTM/DG/CTC;

**•Atelier n°03: CONTROLE DES CORPS D'ETAT TECHNIQUES -C.E.T- DANS LE BATIMENT : CAS DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES** Animé par M DOUGAREM Reda Directeur de Projet C.E.T DTM/DG/CTC;

**•Atelier n°04: CONCEPTION STRUCTURELLE SELON LES RPA2024 : ETUDE DE CAS : BATIMENTS EN R+5 ET R+9, EN COFFRAGE TUNNELS** Animé par Mme SMAIL Nacera Cheffe de Département des Référents Techniques DRT-DRC/CTC & M.GHIAT Houssem Chef de Département Technique DTM/DG/CTC.



Communications pertinentes au niveau du Stand CTC  
durant le 27ème BATIMATEC (04 au 08 mai 2025)

# CTC-FORMATION "PRÉPARATION DE LA RELEVE" TOP DEPART POUR LA DEUXIEME PROMOTION



*Initiée en 2022 et réalisée avec succès au profit d'un premier groupe d'ingénieurs du CTC, le lancement de la seconde édition confirme l'engagement de la Direction Générale dans sa démarche d'anticipation des besoins futurs de l'Entreprise en matière de compétences appelées à occuper des postes de responsabilité au sein de l'Organisme, notamment Directeur d'Agence/CDE et Directeur Régional.*

*M.Khaled MEZIANI, DG-CTC, a donné le coup d'envoi officiel pour la deuxième promotion de la Formation intitulée "Préparation de la Relève".*

*Cette formation comprend neuf (09) modules et se déroulera en mode alterné à raison d'une semaine par mois :*

*· Début de formation :  
le 04 mai 2025 ;*

*· Fin de formation :  
le 06 février 2026.*

## *Programme de la formation:*

- 01- Les Fondamentaux du Management;*
- 02- Gestion Economique et Financière;*
- 03- Notions de Droit et Gestion des Ressources Humaines;*
- 04- Management de Projet (Partie 01);*
- 05- Communication écrite et Gestion des Relations Publiques;*
- 06- Management de Projet (Partie 02)*
- 07- Mission du Contrôle Technique au CTC (Partie 1);*
- 08- Mission du Contrôle Technique au CTC (Partie 2);*
- 09- Soutenances.*

*Bon courage et plein succès à nos ingénieurs qui entament leur parcours avec le premier module de la formation : LES FONDAMENTAUX DU MANAGEMENT durant la semaine du 04 au 08 mai 2025.*

# CYCLES DE VULGARISATION

## DÉPLOYÉS PAR LES DIRECTIONS RÉGIONALES DU CTC SUR LES NOUVELLES RÈGLES PARASISMHIQUES ALGÉRIENNES

### - RPA 2024 -

Les cycles des journées de vulgarisation relatives aux nouvelles Règles Parasismiques Algériennes -RPA 2024- au profit des Project-Managers et Ingénieurs Contrôleurs des Agences des Cinq (05) Directions Régionales (DR), ont été entamés le 06 avril 2025 et s'étaleront tout au long du deuxième trimestre de l'année en cours.

Animés par les participants CTC à la formation donnée par les experts du CGS (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique) au siège de la Direction Générale du CTC, du 17 au 19 février 2025, ces actions de formation devraient permettre à tous les ingénieurs du CTC de :

- Comprendre en profondeur et maîtriser le contenu des RPA2024, en explorant sa structure, ses objectifs et ses méthodes de calcul;
- Identifier et intégrer les nouvelles méthodes de calcul des structures en zones sismiques;

■ Maîtriser les approches d'analyse et les intégrer efficacement dans le calcul des projets;

■ Pratiquer le calcul parasismique selon les nouvelles RPA.

#### Points essentiels du programme de formation:

- Concepts des RPA 2024;
- Critères de classification des bâtiments;
- Méthodes de calcul;
- Justification de la sécurité;
- Constructions en béton armé;
- Constructions en acier;
- Bâtiments en maçonnerie chainée;
- Liquéfaction des sols;
- Vérification de la stabilité des pentes et des ouvrages de soutènement;
- Isolation sismique à la base.



Projet de coopération algéro-japonaise (DNRM - JICA) intitulé :  
"Evaluation of Existing Buildings Vulnerability Against Seismic Risk"

## REUNIONS DE COORDINATION ENTRE LES EXPERTS ALGERIENS ET JAPONAIS

*Des experts japonais dans le domaine sismique se sont déplacés en Algérie, du 10 au 22 mai 2025, dans le cadre des travaux du projet de coopération algéro-japonaise intitulé "Evaluation of Existing Buildings Vulnerability Against Seismic Risk" ; projet lancé en 2024 entre la Délégation Nationale aux Risques Majeurs (DNRM) et l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA).*

*La réunion tenue au siège de la direction générale du CTC, le 19-05-2025, fait donc partie des rencontres de travail programmées avec les représentants des différents intervenants engagés dans ce projet, à savoir la JICA, la DNRM, le CGS, le CNERIB, le CRAAG et le CTC.*

*Une communication portant sur "La méthodologie d'évaluation de la conformité structurale d'une construction existante en béton armé située en zone sismique" a été présentée par les ingénieurs CTC du Centre*



Coopération algéro-japonaise dans le domaine de la réduction du risque sismique  
Séance de travail tenue au siège de la Direction Générale du CTC Alger le 19-05-2025

*de Diagnostic & Expertise d'Alger (CDE-Alger) suivie d'un débat scientifique autour de la question et la méthodologie appliquée.*

*Il est à rappeler qu'une campagne d'essais in-situ a été réalisée, sur un bâtiment spécimen, qui est le bâtiment en R+3 du Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) en date du 14 - 05 - 2025 en présence*

*des experts japonais, à savoir le Dr. Tomohisa MUKAI, chercheur principal à l'Institut japonais de recherche sur le bâtiment et M. INOUE Akira, expert en diagnostic sismique, conception et renforcement parasismique, et contrôle qualité des constructions ; des essais qui s'inscrivent dans le programme de la campagne d'investigation et de diagnostic des constructions en béton armé des années 1970.*



*Diagnostic in situ réalisé sur le siège du CGS (Hussein Dey - Alger) le 14-05-2025*

Commémoration du Séisme de Boumerdès (21 mai 2003)  
Journée Technique :

## SÉISME DE BOUMERDÈS, 22 ANS APRÈS



LE CTC A ORGANISÉ UNE JOURNÉE TECHNIQUE INTITULÉ : **“SÉISME DE BOUMERDÈS, 22 ANS APRÈS”**, ET CE EN COMMÉMORATION DU VIOLENT SÉISME QUI A SECOUÉ LA RÉGION LE MERCREDI 21 MAI 2003 ; UNE DATE QUI, AU-DELÀ DES PERTES HUMAINES ET MATÉRIELLES, MARQUE LA TRANSFORMATION PROFONDE DES APPROCHES EN MATIÈRE DE CONSTRUCTION ET DE PRÉVENTION DES RISQUES SISMIQUES DANS NOTRE PAYS.

L'événement, qui s'est déroulé à l'institut de l'enseignement professionnel -IEP de Boumerdès-, a enregistré la présence des autorités locales, à leur tête Madame Fouzia NAAMA Wali de Boumerdès reçue en début de matinée par M.Khaled MEZIANI, DG-CTC.

Cette rencontre s'est articulée principalement autour des nouvelles dispositions des RPA 2024 avec cinq (05) communications présentées par les experts du CTC et du CGS (Centre National

de Recherche Appliquée en Génie Parasismique). Abordant plusieurs volets du document, les présentations ont porté sur : l'aléa sismique, les principaux changements RPA 99 version 2003 Vs RPA 2024, les nouvelles exigences dans le domaine de la géotechnique, séisme et réglementation et la conception structurelle selon les RPA 2024.



De droite à gauche  
Mme Fouzia NAAMA Wali de Boumerdès  
M.Khaled MEZIANI DG-CTC  
M.Hakim BECHTOULA Directeur CGS



Séisme de Boumerdès, 22 ans après  
Déroulement des travaux de la journée

**Dossier Technique**

# **Comportement des matériaux cimentaires sous l'effet d'un écociment à base de boues de dragage**

Par

Dr. ALI HALASSA Riad

Chef de Département des Référents Techniques DRE-CTC

---

## **INTRODUCTION**

Les opérations de dragage génèrent une grande quantité de sédiments qui sont rejetés en aval du site du barrage ou transportés vers des sites de transit ou de regroupement. La gestion de ces sédiments en déblais issus de dragages peut être envisagée sous forme de deux types de gestion bien distincts :

- en tout premier lieu la **valorisation** des déblais, piste à privilégier dans un esprit de développement durable.
- en cas d'impossibilité, par une mise en stockage définitif de ces déblais dans des bassins de décantation et/ou de stockage.

En plus de l'impact économique, les sédiments en déblais présentent une menace sérieuse pour l'environnement. La réutilisation de ces sédiments constitue tout l'enjeu d'une programmation efficiente pour de nouvelles opérations qui consistent à récupérer les boues de sédiments et de les valoriser. Donc, il serait plus juste d'exercer une réflexion sur l'emploi judicieux des boues de dragage qui peuvent être valorisées dans plusieurs filières.

La production de ciment en Algérie s'élèvera à plus de 40 Mio. Tonnes / an, dont le béton et le mortier utilisent la majeure partie. Ces deux matériaux sont des composants essentiels de la

construction que nous connaissons et maîtrisons déjà. Ce sont les deux premiers types de matériaux de construction produits et consommés le plus dans le pays.

Actuellement, la fabrication du béton est faite dans des centrales à béton mobiles, plus flexibles, plus faciles à transporter et à installer que les centrales à béton fixes. Par conséquent l'avantage de la filière « **bétons et mortiers** » c'est qu'elle pourrait intégrer des quantités considérables de sédiments des barrages.

Compte tenu de la forte demande de ces deux matériaux dans des applications potentiellement

différentes, la filière « béton et mortier » apparaît comme une filière prometteuse pour la valorisation des sédiments. Cependant, un choix approprié de la méthode et du taux d'incorporation des résidus est nécessaire pour répondre aux exigences de la norme applicable au béton. Comme il est nécessaire, tout d'abord de déterminer la capacité du sédiment à obtenir une caractéristique de la réaction pouzzolanique.

C'est pour cette raison que nous contribuons à travers cette étude qui permettra de valoriser les boues du barrage de K'sob de Msila comme alternative renouvelable dans la composition des mortiers et des bétons ordinaires.

Cette étude vise à atteindre trois objectifs :

- Objectif écologique : réduire les boues de dragage dans la nature en préservant ainsi l'environnement et réduisant l'utilisation de ciment qui émet des gaz à effet de serre;
- Objectif technique : préparer des mortiers et bétons à base de boue de dragage avec une résistance à la compression intéressante;
- Objectif économique : substituer une partie du ciment par des boues de dragage traitées (matériau intéressant et peu coûteux).

## I. IDENTIFICATION DES MATERIAUX DE L'ETUDE

### I.1. Boue de dragage

Des échantillons de boue ont été prélevés à partir des boues de dragage pompées en aval des bassins de décantation construits sur des terres non cultivées..

La boue collectée a été adéquatement préparée selon les étapes :

- La boue a été séchée pendant 12h dans une étuve à 80° pour exclure toute présence éventuelle d'humidité et faciliter le broyage et le tamisage (opération au niveau du laboratoire CTC de Constantine);

- Pour faciliter le broyage, la boue a été coccacée (opération au niveau du laboratoire du CTC et celui de l'ENG Constantine);

- Un broyage de la boue concassée à l'aide d'un broyage électrique de laboratoire (opération au niveau de la cimenterie SCS d'Oum El Bouaghi);

- Un tamisage par voie sèche de la boue broyée au tamis de 80 µm (opération au niveau du laboratoire de l'ENG);

- La boue préparée a été calcinée dans le cadre d'un traitement thermique dans un four électrique à lit fixe appelé

Nabertherm (laboratoire de la cimenterie SCS). L'échantillon a été chauffé à la vitesse de 5 /min à 600 , puis maintenu constant pendant 5h (vitesse réglée pour éviter les chocs thermiques). Après le traitement, la couleur des boues est passée de la couleur verdâtre naturelle à la couleur rouge brique. La boue calcinée est stockée loin d'humidité et d'air.

### I.2. Ciment

Le ciment de la préparation du béton est le CEM I 42.5N de la cimenterie « SCS » située à Oum El Bouaghi, une région de l'Est Algérien. Sa densité est de 3,10 et sa surface spécifique est de 4 356 cm<sup>2</sup>/g.

### I.3. Granulat

Les granulats calcaires utilisés proviennent de la carrière d'Aïn Abid située à Constantine à l'Est du pays. Les principaux composants sont : le sable 0/3 de densité absolue égale à 2,66 g/cm<sup>3</sup>, et des graviers 3/8, 8/15 et 15/25, dont les densités sont respectivement de 2,60, 2,61 et 2,64 g/cm<sup>3</sup>. Le sable des mortiers est normalisé.

### I.4. Formulations

Quatre mélanges de béton ont été développés. Trois d'entre eux contiennent des proportions différentes de boues (10%, 15% et 20%), et le quatrième est l'échantillon témoin (sans boue).

La limite supérieure du taux de substitution des boues a été

**Dossier Technique**

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**

(suite)

(0,100 mm). Cet essai a été réalisé au Laboratoire LTP/Est de la ville de Constantine.

**II.1.2 La diffraction des rayons X (DRX)**

La diffraction des rayons « X » est une méthode couramment appliquée pour déterminer la nature et la structure des produits cristallins. En effet, cette méthode n'est applicable qu'aux milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles, etc.) qui présentent les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire l'arrangement cyclique, ordonné et dans le réseau tridimensionnel des atomes constitutifs.

La « DRX » permet de reconnaître des produits de même composition chimique brute, mais de cristallinité différente, par exemple de distinguer différentes silices (toutes de même formule brute  $SiO_2$  : quartz, cristobalite, etc.) ou différentes alumines (ont toutes la même formule  $Al_2O_3$  : corindon / alumine  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\theta$ ...).

Les diffractogrammes aux rayons « X » des deux échantillons ont été enregistrés sur le diffractomètre à rayons X PANalytical XPert MPD. La longueur d'onde des rayons « X » utilisée dans cette étude était le rayonnement K-Alpha Cu (Matériau d'anode) avec K-Alpha1 = 1 54060 Å et K-Alpha2 = 1 54443 Å. Les données ont été collectées pour chaque échantillon

fixée à 20 %. Si le taux dépasse cette limite, le besoin en eau augmentera à cause de la porosité des grains de boues et, par conséquent, la plasticité peut atteindre le pourcentage limite, faisant en sorte que les matériaux cimentaires s'effritent et perdent toutes leurs valeurs. Le tableau 1 donne les compositions des différents bétons.

Les données qui ont servi dans les formulations de béton sont inspirées des normes européennes EN 206-A1 et EN 13791 (Classe de «  $R_c$  » C25/30, résistance caractéristique à la compression à 28 jours = 25 MPa, Résistance caractéristique minimale à la compression sur site = 21 MPa).

La consistance désirée pour un béton plastique de vibration courante, évaluée par référence à l'affaissement au cône est entre 6 et 9 cm.

**Tableau 1.** Formulation des bétons

	<b>BB0</b>	<b>BB10</b>	<b>BB15</b>	<b>BB20</b>
<b>Ciment (kg/m<sup>3</sup>)</b>	400	360	340	320
<b>Boue calcinée (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0	40	60	80
<b>Sable (kg/m<sup>3</sup>)</b>	665	665	665	665
<b>Gravier 3/8 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	216	216	216	216
<b>Gravier 8/15 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	400	400	400	400
<b>Gravier 15/25 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	551	551	551	551
<b>Eau (kg/m<sup>3</sup>)</b>	205	210	214	219
<b>E/ (C+B) (%)</b>	0,513	0,525	0,535	0,547

**II. METHODES EXPERIMENTALES**

**II.1. Essais sur la boue de dragage**

De multiples essais ont été réalisés pour caractériser les échantillons de boue naturelle et calcinée.

**II.1.1 L'analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique a été réalisée par séimentométrie d'après la norme franco-européenne NF EN ISO 17892-4 [69], visant à fixer la distribution pondérale de la taille des particules. La séimentométrie a pour but l'analyse granulométrique des sols cohérents dont le diamètre des grains est inférieur à 0,080 mm

sur des valeurs de  $2\theta$  allant de  $9,1744^\circ$  à  $68,5807^\circ$ . Ce test a été réalisé à la plateforme scientifique et technologique (PFT-ST) et à l'institut de physique de l'Université des Frères Mentouri de Constantine.

### II.1.3. La fluorescence aux rayons X (XRF)

La « XRF » est une technique d'analyse élémentaire qui révèle les atomes composant l'échantillon et leurs proportions. Cependant, elle ne reflète pas l'organisation de ces atomes ni leur forme chimique. Cette technique d'analyse élémentaire globale permet d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent l'échantillon. Cet essai a été effectué au niveau des laboratoires des cimenteries « SCS » et « SCAEK ». La spectrométrie par fluorescence « X » est une technique analytique non destructive. Les données de Fluorescence X (XRF) ont été générées sur spectromètre Thermo Scientific ARL 9900.

### II.1.4. Classification des sols

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état par son indice de consistance. La classification des sols des échantillons de boues est basée sur la norme franco - européenne NF EN ISO 17892 - 12 [70].

Les limites d'Atterberg ont été déterminées au laboratoire LTP/Est de Constantine.

### II.1.5. Densité et finesse

La densité des grains solides de chaque échantillon de boue a été estimée suivant la norme franco-européenne NF EN ISO 17892-3. La surface spécifique (finesse Blaine) de chaque échantillon a été mesurée selon la norme EN 196-6, en utilisant la méthode de perméabilité à l'air Blaine. Ces tests sont réalisés au niveau du laboratoire de la cimenterie « SCS ».

### II.2. Essais sur pâtes

Les temps de début et de fin, ainsi que la durée de la prise des pâtes ont été déterminés selon la norme européenne EN 196-3+A1. Cet essai est réalisé au laboratoire de la cimenterie « SCS ».

Le tableau 2 indique les proportions de ciment, de boue et d'eau utilisées pour préparer les pâtes.

Tableau 2. Dosage des constituants de la pâte de ciment

	PS0	PS10	PS15	PS20
Boue (%)	0	10	15	20
Ciment (g)	500	450	425	400
Boue calcinée (g)	0	50	75	100
Eau (ml)	130	140	136	144
	131	138	142	147
				149
N° Test	1	3	5	7
	2	4	6	8
				9

### II.3. Essais sur bétons

Pour avoir un mélange homogène de ciment et boue, nous avons utilisé un agitateur type « Turbula ». Le récipient mélangeur fonctionne selon un mouvement tridimensionnel dont le produit est soumis à un mouvement pulsé rythmique changeant continuellement. Les mélanges obtenus en un minimum de temps sont d'excellente qualité .

L'affaissement des bétons est déterminé selon à la norme EN 12350-2, en se basant sur celui requis par la formulation du béton (6 à 9 cm) indiquée ci-dessus.

Le béton est mis dans des éprouvettes cylindriques métalliques. Un total de 120 échantillons a été préparé pour les essais d'écrasement à différents âges (7, 14, 28, 60 et 90 jours).

**Dossier Technique**

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**  
(suite)

Chaque mélange est composé de six échantillons (0, 10, 15 et 20% de boue), qui ont tous été conservés dans de l'eau à 20°C. Les échantillons ont été serrés à l'aide d'une aiguille vibrante de 25 mm de diamètre. La fréquence de vibration dépend de la valeur de l'affaissement du cône d'Abams et de l'angularité des granulats. La formulation du béton est spécifiée dans le tableau 1 ci-dessus.

Le béton durci a été soumis à des essais destructifs et non destructifs. Des échantillons cylindriques, d'un diamètre de 16 cm et d'une hauteur de 32 cm, sont testés respectivement à 7, 14, 28, 60 et 90 jours.

Conformément à la norme NF EN 12504-4, un test d'auscultation sonique a été réalisé sur chaque échantillon. Durant l'essai, la méthode de transmission directe a été employée pour s'assurer que la direction de mesure du temps de transit est perpendiculaire au sens de la confection. Cet essai a été mis en œuvre pour mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores entre deux points du béton.

La vitesse ultrasonore  $V_u$  (m/s) peut être déduite de la distance émetteur-récepteur

« $L$ » (longueur de l'échantillon), et du temps de propagation « $T$  (μs) » des ondes ultrasonores dans le béton :

$$V_u = \frac{L}{T}$$

La vitesse ultrasonore obtenue est la moyenne des mesures sur la surface de l'échantillon. Elle permet par des formules empiriques de déterminer la résistance présumée « $R_{cu}$ » (MPa) du béton en fonction du module d'élasticité dynamique, « $E_d$ » :

$$R_{cu} = 16.7 \times \frac{E_d}{\exp. 122500}$$

où,  $E_d$  peut être calculé par :

$$E_d = V^2 \times \frac{\gamma}{g} \times \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{(1 - \mu_d)}$$

où,  $\mu_d$  est le coefficient de Poisson dynamique (0,25 pour le béton jeune ; 0,20 pour le béton de plus de 28 jours) ;  $\gamma$  (kg/m<sup>3</sup>) est la masse volumique du béton (la moyenne de tous les échantillons dont le volume a été mesuré et pesé sur une balance électronique) ;  $g$  (m/s<sup>2</sup>) est l'accélération de la pesanteur.

Ensuite, les essais de dureté au rebond (scléromètre) réalisés selon la NF EN 12504-2 sur tous les échantillons. Enfin, des essais destructifs sont réalisés par écrasement de l'échantillon surfacé selon la NF EN 12390-3.

Tous les essais sur bétons sont réalisés au niveau des laboratoires du CTC de Constantine, de la cimenterie de Sigus et du LTP/Est.

### **III. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS**

#### **III.1. Résultats des essais sur la boue de dragage**

##### **III.1.1 Résultats physiques et géotechniques**

Le tableau 3 montre les propriétés physiques et géotechniques des échantillons préparés.

Tableau 3. Propriétés physiques et géotechniques de la boue de dragage du barrage de K'sob

	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega$ (%)	$W_L$ (%)	$W_P$ (%)	$I_P$ (%)	Éléments à Poids < 80 $\mu\text{m}$ (%)
<b>Boue naturelle tamisée</b>	2,65	60	39,11	20,44	18,67	98
<b>Boue calcinée</b>	2,67	50	37,28	19,11	18,17	89

Les échantillons ont été dénommés selon la classification L.C.P.C. Plus de 50% des éléments en poids étaient inférieurs à 80  $\mu\text{m}$ . Les courbes granulométriques (Figures 1) montrent que la boue du barrage de K'sob est un sol fin.

Les sols fins sont généralement classés avec les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg. Selon ce critère, la boue draguée du barrage de K'sob est un sol argileux, qui présente une plasticité dépendant de l'eau, et une limite de liquidité de la teneur en eau équivalente à 25 coups du test d'Atterberg .

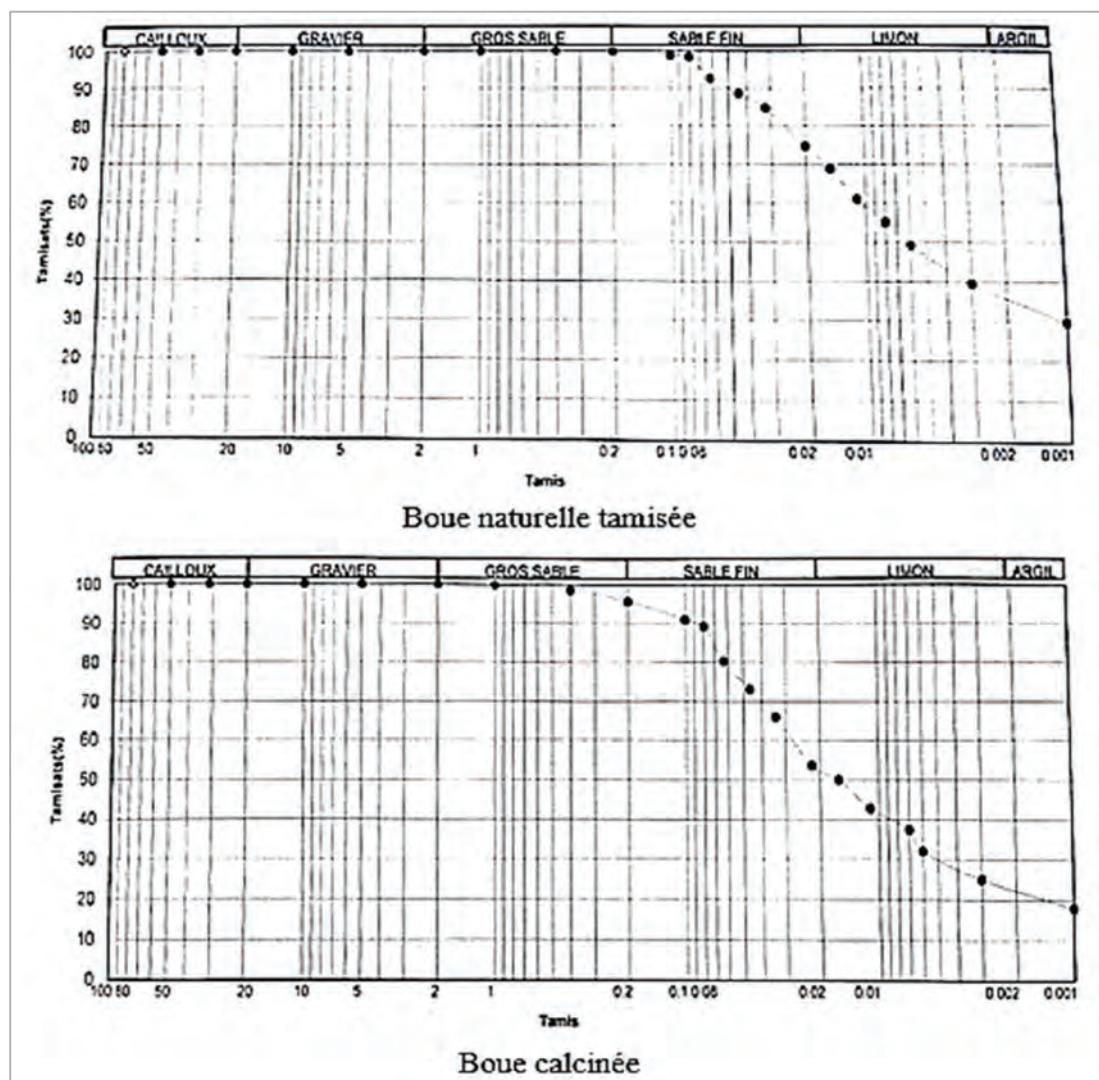


Figure 1. Courbes granulométriques de la boue de dragage du barrage K'sob

Dossier Technique

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**  
(suite)

**III.1.2 Résultats minéralogiques**

Les diffractogrammes des rayons « X » de la boue de dragage naturelle et calcinée du barrage de K'sob sont représentés sur la figure 2.

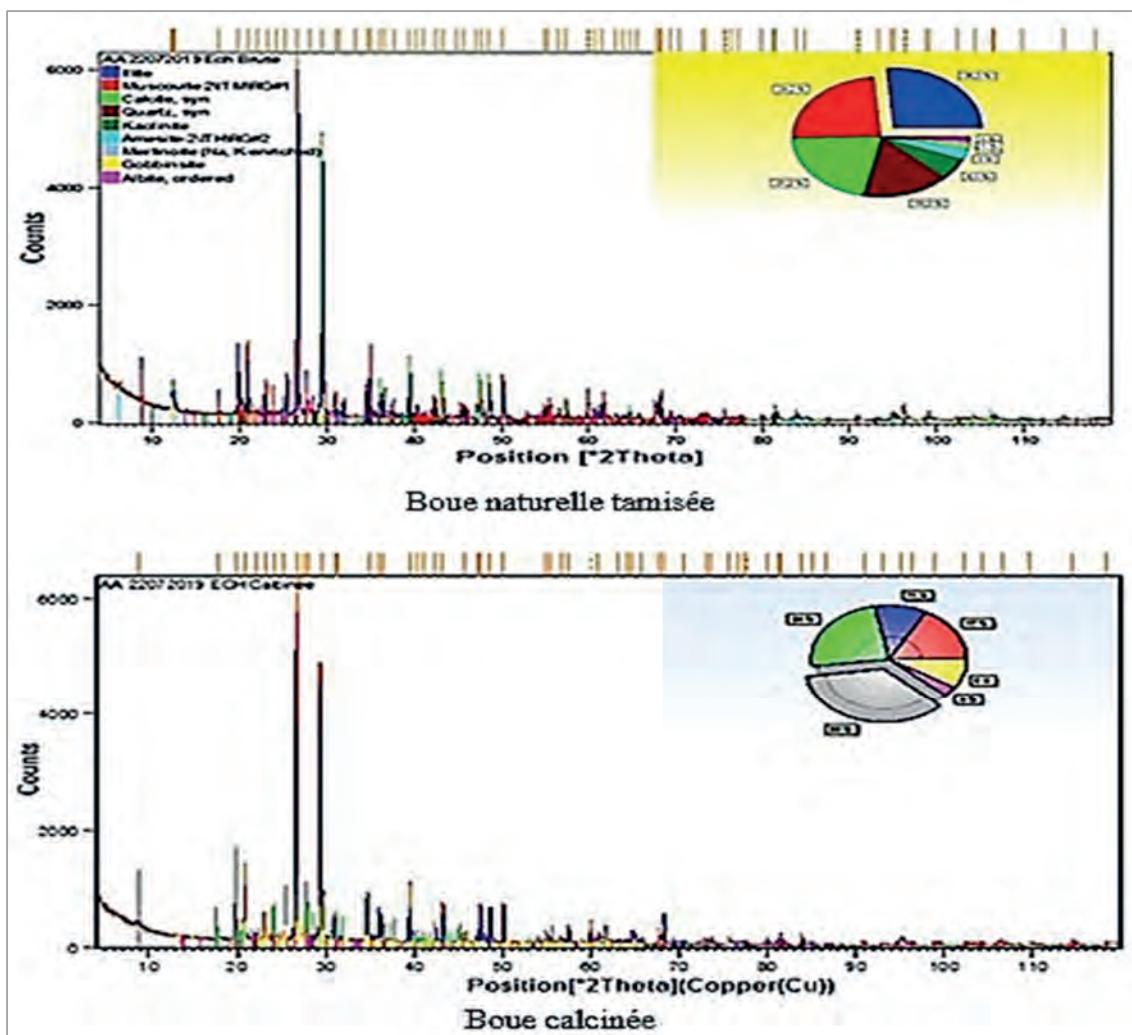


Figure 2. Diffractogrammes des rayons X de la boue de dragage du barrage K'sob

Les deux échantillons sont essentiellement constitués de quartz, de la calcite, d'illite et de la muscovite. Trois types de phyllosilicates coexistent dans la boue de dragage. Le composant principal est l'illite et la muscovite (environ 50%), suivi par la kaolinite.

Le quartz est l'élément principal des fractions limon et argile (Tableau 4). Les boues peuvent être activées après avoir été chauffées à différents taux à plus de 550°C, et la déshydroxylation serait assez complète à 600°C.

**Tableau 4.**  
Composition minéralogique de la boue de dragage du barrage de K'sob

Oxydes	Composition minéralogiques (%)	
	Boue naturelle tamisée	Boue calcinée
Quartz	16,2	18
Calcite	21,2	15
Kaolinite	6,1	/
Illite	26,3	32
Muscovite	24,2	28
Amesite	3	/
Merlinoite	1	4
Gobbinsite	1	/
Albite	1	3

La présence de ces deux oxydes confirme la minéralogie de la boue, et l'existence de kaolinite et d'illite, deux minéraux argileux composés principalement de feuillets d'alumine et de silice. Le taux de perte au feu est remarquable, comme en témoignent la teneur en matière organique de 22,12 à 15,05 %, et le pourcentage de chaux de 20,83 à 22,77 %.

### III.1.3 Résultats chimiques

Les analyses chimiques visent à quantifier la composition de la boue d'oxyde et à confirmer les résultats de l'analyse minéralogique (Tableau 5).

**Tableau 5.**  
Résultats de l'analyse chimique de la boue de dragage du barrage de K'sob

Oxydes	Formule chimique	Composition chimique (%)	
		Boue naturelle tamisée	Boue calcinée
Silice	SiO <sub>2</sub>	37,67	39,54
Alumine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,71	9,96
Oxyde de fer	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,80	4,09
Chaux	CaO	20,83	22,77
Magnésie:	MgO	3,60	4,00
Trioxyde de soufre	SO <sub>3</sub>	0,07	0,09
Oxyde de potassium	K <sub>2</sub> O	1,24	1,31
Oxyde de sodium	Na <sub>2</sub> O	0,37	0,40
Chlorure	Cl	0,010	0,011
Perte au Feu	PAF	22,12	15,05
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Néant	Néant

L'activation thermique de la boue permet aux structures minérales, qui sont dans un état naturellement stable, de se transformer en structures amorphes par le réarrangement de la structure de l'hydroxyde. Elle permet également aux minéraux argileux de réagir avec l'eau, formant des composés qui durcissent à des températures ordinaires. Pour atteindre la température cible, la vitesse de traitement doit être ajustée afin d'améliorer l'activité chimique de l'alumine et de la silice.

### III.2. Résultats des essais sur pâtes

#### III.2.1. Consistance

Le tableau 6 présente les résultats des tests de consistance de pâtes de ciment.

Il est à noter que le traitement thermique a modifié la composition chimique de la boue : on a enregistré davantage de silice et de chaux libre, avec une diminution significative de la perte au feu. La silice et l'alumine représentent une grande partie de la boue.

Dossier Technique

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**  
(suite)

**Tableau 6. Mesures de la consistance**

Pâte	PB0	PB10	PB15	PB20
<b>Essai N °</b>	01	02	03	04
<b>Eau (ml)</b>	130	131	140	138
<b>E/(C+B) (%)</b>	0,26	0,262	0,28	0,276
<b>d (mm)</b>	9*	7	3,5*	7
			12*	8
			8	15*
			9*	8
				(*) test échoué

Pour les distances de  $d > 8\text{mm}$ , il n'y a pas assez d'eau; Pour  $d < 4\text{mm}$  : il y a trop d'eau. Dans les deux cas, la pâte en question a été jetée, tandis que l'équipement était nettoyé et séché, et recommandé avec un nouveau volume d'eau. Ce processus a été répété jusqu'à l'obtention des valeurs dont la pâte est de consistance normale.

Comme le montre le tableau 6, le remplacement de 10 à 20 % de ciment par la boue de dragage calcinée a augmenté le volume d'eau essentiel pour avoir une consistance du liant normale. Cela est dû à la grande surface spécifique du mélange (ciment-boue). Par conséquent, il y a un fort besoin de molécules d'eau pour mouiller toute la surface.

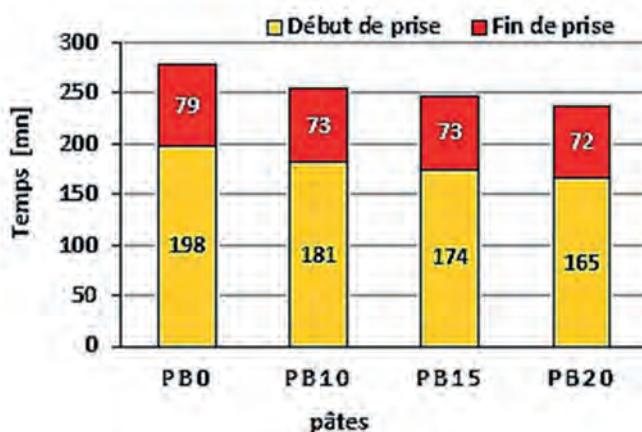
Le tableau 7 donne les résultats de surface spécifique de Blaine du mélange mixte (ciment-boue), mettant en évidence la surface spécifique potentiellement importante du mélange et son effet sur la teneur en eau.

**Tableau 7. Surface spécifique Blaine des mélanges ciment-boue calcinée ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )**

Ciment + 10% Boue	Ciment + 15% Boue	Ciment+ 20% Boue
5058	5509	5776

**III.2.2. Temps de prise**

Le temps de début et de fin de prise des pâtes de ciment est donné dans la figure 3.



**Figure 3. Influence de la teneur en boue sur le temps de prise des différents mélanges de pâtes.**

Comme le montre la figure 3, le temps de prise a légèrement diminué lorsque le rapport « boue/ciment » a augmenté. Cela est dû au fait que la substitution du ciment par la boue affecte les minéraux du ciment, en particulier le  $C_3S$  et  $C_2S$ , qui sont responsables de la précipitation du gel de silicate de calcium hydraté (CSH) ainsi que du début de la prise. La réduction du temps de prise est proportionnelle à l'augmentation de la finesse du mélange « ciment-boue » (Tableau 7). Cela signifie que la cinétique d'hydratation du liant s'accélère à mesure que la finesse augmente. Lorsque jusqu'à 20% du ciment a été remplacé par la boue, le temps de prise des pâtes n'a pas été significativement affecté. Cela souligne l'importance de valoriser et d'utiliser cette boue de dragage comme accélérateur de prise du béton par temps froid. Ces résultats d'essais ont été confirmés par une confrontation avec des travaux antérieurs qui donnent des résultats très cohérents [55, 56, 58].

### III.3. Résultats des essais sur bétons

#### III.3.1. Mesure de l'affaissement

L'essai d'affaissement du béton est effectué dans le but de vérifier la consistance du béton avec la maniabilité spécifiée dans le béton plastique avec un affaissement au cône de 6 à 9 cm. Les résultats sont repris dans le tableau 8.

Pour obtenir la consistance souhaitée du béton plastique (6 à 9 cm), nous avons ajouté de l'eau de gâchage à différents volumes en fonction du pourcentage de boue calcinée remplaçant le ciment.

**Tableau 8.** Affaissement en fonction du volume d'eau de gâchage et du pourcentage de boue calcinée pour un béton ordinaire.

Béton	BB0	BB10	BB15	BB20
Volume Eau (kg/m <sup>3</sup> )	205	205	210	205
Affaissement du cône (cm)	6	4*	8	3,5*
			7,5	2,5*
		(*) test échoué		7,5

Grâce à sa capacité d'absorption, la boue traitée et à différents mélanges détournera une partie de l'eau employée pour hydrater le ciment. Cette eau ne contribue pas à la fluidité qui affecte la maniabilité du béton et les réactions d'hydratation.

#### III.3.2. Résultats des essais destructifs et non destructifs

Le tableau 9 présente les valeurs moyennes des paramètres de calcul de la «  $R_c$  » des échantillons à différents âges.

Ces paramètres ont été mesurés lors des essais destructifs et non destructifs. Les paramètres spécifiques sont définis comme suit :

$P$  : poids de l'échantillon ;  $\gamma$  : masse volumique du béton ;  $V_u$  : vitesse ultrasonique ;  $E_d$  : module d'élasticité dynamique donné par la formule du paragraphe 4.4 ;  $I_s$  : indice sclérométrique.

Dossier Technique

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**  
(suite)

**Tableau 9.** Valeurs moyennes des paramètres de calcul des résistances à la compression des échantillons.

Age (Jours)	Béton	Paramètres de calcul				
		P (kg)	$\gamma$ (kg/dm <sup>3</sup> )	V <sub>u</sub> (km/s)	E <sub>d</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	I <sub>s</sub>
7	<b>BB0</b>	15,08	2,34	4,42	389 411,93	27
	<b>BB10</b>	14,84	2,31	4,28	359 377,27	26
	<b>BB15</b>	15,08	2,34	4,21	352 881,43	26
	<b>BB20</b>	15,03	2,33	4,13	339 080,19	25
14	<b>BB0</b>	15,31	2,38	4,62	430 862,74	29
	<b>BB10</b>	15,17	2,36	4,42	391 323,17	27
	<b>BB15</b>	14,93	2,32	4,41	383 039,61	27
	<b>BB20</b>	15,18	2,36	4,28	366 831,86	26
28	<b>BB0</b>	15,47	2,40	4,78	464 804,81	31
	<b>BB10</b>	15,11	2,35	4,48	400 069,09	29
	<b>BB15</b>	15,04	2,33	4,54	409 360,41	28
	<b>BB20</b>	14,94	2,32	4,44	388 938,25	28
60	<b>BB0</b>	15,16	2,35	4,86	508 556,29	32
	<b>BB10</b>	15,11	2,35	4,42	420 044,47	30
	<b>BB15</b>	15,13	2,35	4,50	436 983,10	29
	<b>BB20</b>	15,10	2,35	4,54	443 630,19	30
90	<b>BB0</b>	15,31	2,38	4,86	515 138,44	33
	<b>BB10</b>	15,21	2,36	4,62	463 453,90	31
	<b>BB15</b>	15,29	2,37	4,63	467 659,98	31
	<b>BB20</b>	15,15	2,35	4,69	474 973,87	32

A noter que:

- La vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le béton dépend du module d'élasticité et de la masse volumique du béton;
- La vitesse sonique évolue en fonction du module d'élasticité dynamique et de la résistance à la compression. Cette relation est la base logique de l'estimation de la résistance à la compression du béton à partir des mesures de la vitesse des ondes;
- La vitesse des ondes ultrasonores à travers le béton est le résultat du temps de propagation de l'onde à travers le liant dur (ciment-boue) et le granulat.

Comme le montre le tableau 9 les masses volumiques de béton diminuent généralement avec l'augmentation du pourcentage de boue, par rapport au béton témoin. La raison possible réside dans le caractère légèrement expansif des particules, qui gonflent en compactant les particules de ciment, provoquant une augmentation du volume.

Encore, il ressort du tableau 9 que la vitesse des ondes ultrasonores traversant le béton augmente avec l'âge de tous les types de béton. La vitesse à 7 et 14 jours de cure a diminué avec le pourcentage croissant

de boues traitées dans tous les types de béton. Les bétons BB10 et BB15 ont connu une légère diminution de la vitesse à 60 jours, et une augmentation rapide à 90 jours. Ce phénomène peut être expliqué par le fait suivant : pendant le processus de durcissement, la structure du béton devient plus dense en raison de la réaction d'hydratation.

Pour le béton BB10, la croissance rapide des vitesses ultrasonores au cours des premiers jours résulte du remplissage des pores par les produits d'hydratation et de la modification du rapport

« vide/solide ». Pendant ce temps, les bétons de ciment et boue de dragage (BB10, BB15, BB20) développent dans les premiers jours une autre propriété compensant la perte de production de l'hydrate : l'effet de remplissage de la boue de dragage.

On peut donc conclure que la vitesse de propagation des ondes peut dépendre des changements de comportement de la pâte de liant durcie. Dans le ciment CEM I, la proximité entre les particules de ciment facilite l'hydratation, et accélère la réduction des vides. Dans les ciments mélangés à des sédiments de dragage (boue), les particules sont plus éloignées, ce qui oblige les produits d'hydratation à remplir davantage les pores. En d'autres termes, ces ciments ont tendance à avoir un rapport « vide/solide » élevé. Les vides sont responsables de l'accélération du mouvement des ondes. Par conséquent, la réduction des vitesses ultrasonores est proportionnelle au taux de substitution.

L'indice sclérométrique « *Is* » met en évidence la dureté de la surface du béton. La hauteur de rebond d'une masse projetée à une certaine vitesse sur la surface du béton augmente la résistance de la surface du béton. Plus la dureté est élevée, plus le béton est résistant.

Les valeurs de dureté enregistrées pour les différents mélanges de béton étaient proches dans chaque période de cure.

Le tableau 10 présente les résistances moyennes à la compression mesurées par l'essai de compression, l'essai ultrasonique et l'essai au scléromètre.

Tableau 10. Résistance moyenne à la compression des bétons (MPa)

Ages	Bétons					
	BB0			BB10		
	Rcé	Rcu	Rcs	Rcé	Rcu	Rcs
à 7 jours	18,30	19,53	22,84	17,75	18,02	21,13
à 14 jours	21,30	21,62	26,13	19,90	19,63	23,63
à 28 jours	25,90	23,37	29,71	22,70	20,06	26,28
à 60 jours	28,55	25,66	31,56	23,15	21,07	28,12
à 90 jours	30,10	25,84	34,03	26,40	23,24	31,01
Ages	Bétons					
	BB15			BB20		
	Rcé	Rcu	Rcs	Rcé	Rcu	Rcs
à 7 jours	17,10	17,70	20,95	15,15	17,01	19,79
à 14 jours	19,60	19,21	22,50	17,80	18,40	21,67
à 28 jours	21,13	20,47	25,48	19,20	19,51	23,92
à 60 jours	22,84	21,93	27,19	22,70	22,25	28,57
à 90 jours	25,20	23,45	30,25	24,98	23,82	32,00

Rcé : « *Rc* » par écrasement ; Rcu : « *Rc* » par ultrason ; Rcs : « *Rc* » au scléromètre

Comme le montre le tableau 10 les résistances mécaniques de tous les bétons soumis à des essais destructifs et non destructifs ont augmenté régulièrement avec l'âge, sans aucune diminution. Des « *Rc* » à 28 jours sont généralement admises, toutes supérieures à la valeur caractéristique minimale (21 MPa) du béton sur site.

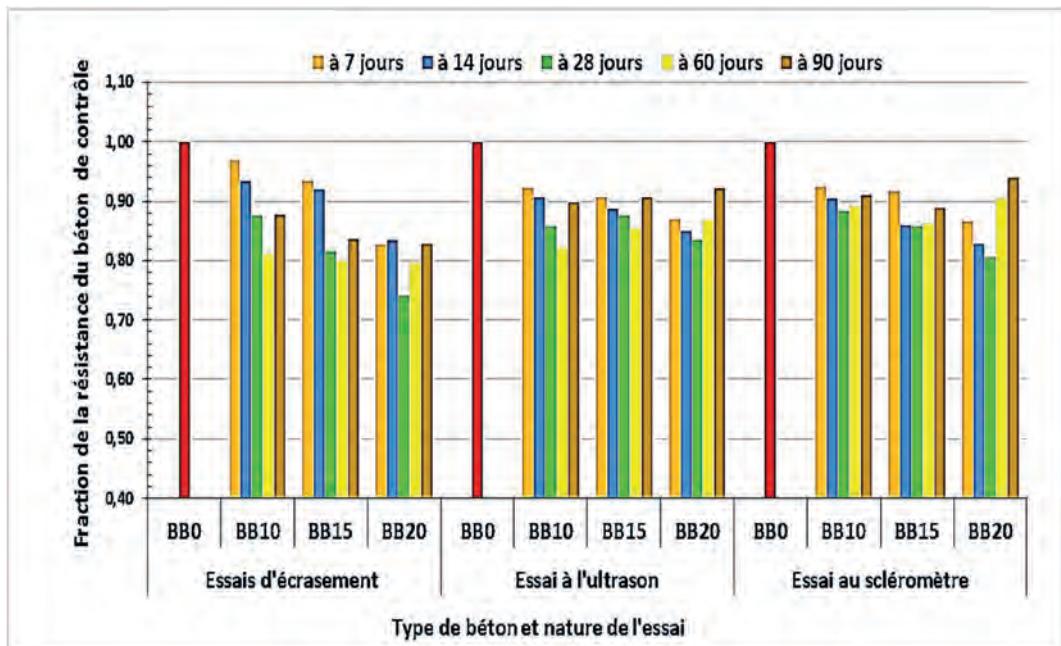
À 90 jours, le béton témoin a atteint une bonne performance en compression comme un béton ordinaire : sa « *Rc* » n'est jamais tombée en dessous de 25 MPa. Dans certains cas, la résistance a même dépassé 30 MPa. La résistance mécanique du béton avec un taux de substitution de 10% était évidemment la meilleure de tous les bétons à base de boue. Ce béton a atteint une « *Rc* » allant jusqu'à 30 MPa à 90 jours. Les autres bétons avec des teneurs en boue de 15, et 20% ont également donné des résultats satisfaisants.

Pour mieux visualiser l'évolution de la « *Rc* », la résistance du béton à base de boue a été comparée à la résistance du béton témoin (0% de boues) à différents âges (Figure 4).

Dossier Technique

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**

(suite)



**Figure 4. Évolution de la résistance à la compression du béton à base de boue par rapport au béton témoin BBO.**

En effet, les bétons contenant 15 et 20% de boues ont atteint des performances mécaniques moyennes respectivement supérieures à 92 et 86% à 7 jours, et supérieures à 89 et 84% à 14 jours, par rapport au béton témoin. Il a également été noté que la résistance se développe généralement moins rapidement pour les bétons à base de boue calcinée dans les premiers jours, ce qui signifie que l'hydratation est plus lente dans ces bétons que dans les ciments Portland.

L'effet de la boue est devenu perceptible au-delà de 28 jours pour le BB20, et de 60 jours pour le BB10 et le BB15, car les résistances des bétons de boue calcinée se sont rapprochées

de celles du béton témoin. A 90 jours, les bétons BB20 ont atteint des résistances d'environ 90% par rapport au béton témoin. Si l'âge de maturation dépasse 90 jours, il est très probable que la résistance des bétons préparés dépasse celle du béton témoin.

L'évolution de la résistance à la compression décrite ci-dessus s'explique par le pouvoir d'action de la boue calcinée, ainsi que par le fait suivant : les propriétés hydrauliques ne sont sensibles qu'aux âges les plus avancés; il est alors facile de fixer la chaux libérée par l'hydratation du ciment, en formant de nouveaux silicates de calcium hydratés qui

contribuent à la résistance à la compression. Ces propriétés hydrauliques consistent en la création de composés hydratés stables, peu solubles dans l'eau, ayant une forte adhérence entre eux et avec les granulats. Ces composés augmentent progressivement la cohésion des mortiers et des pâtes à béton. De plus, les particules de boue calcinée, plus fines que les particules de ciment, favorisent l'hydratation du ciment et de boue, principalement par un processus physique, et produisent une matrice cohésive à structure dense.

## **CONCLUSION**

*Les travaux de recherche présentés dans ce document s'inscrivent dans le cadre général de la lutte contre l'envasement des barrages en Algérie. Notre contribution a porté principalement sur les possibilités potentielles de valorisation pour les sédiments dragués du barrage K'sob dans la fabrication de mortier et de béton. Dans cette étude, ces déchets naturels ont été considérés comme des matières premières minérales potentielles.*

*Certes, les effets du premier dragage du barrage de K'sob ont eu un impact négatif sur l'économie et l'environnement de la région qui faisait auparavant preuve de richesse et de prospérité.*

*Les objectifs de cette étude étaient de caractériser chimiquement, physiquement et minéralogiquement une boue extraite du barrage K'sob et à l'utiliser dans la fabrication de béton ordinaires. L'effet d'une incorporation de 10, 15 et 20 % de boues comme substituts du ciment sur le développement de la résistance mécanique du béton et des mortiers ordinaires est bien documenté.*

*Une meilleure préparation et maîtrise des propriétés des particules de la boue sont essentielles à la progression de la filière « béton » à valeur ajoutée pour la valorisation de cette boue. Plusieurs essais ont été effectués.*

*Sur le comportement des matériaux cimentaires sous l'effet de l'écociment proposé à base de sédiments de dragage, on a pu avoir les analyses et les conclusions suivantes :*

### ***Caractéristiques de la boue de dragage***

*La boue de dragage a été soumise à des essais de caractérisation physique, géotechnique, minéralogique et chimique en vue d'une valorisation. Il en découle de ces essais ce qui suit :*

- La boue a pu être activée à 600 après avoir été entièrement déshydroxylée par traitement thermique. La boue de dragage contient des minéraux bruts essentiels des liants hydrauliques courants ;*
- Plus de 50% des éléments en poids sont inférieurs à 80µm. Les courbes granulométriques montrent que la boue draguée est un sol fin;*
- L'indice de plasticité varie de 18,17 à 18,67%, ce paramètre est fortement influencé par la nature et la quantité de minéraux argileux et de matière organique;*
- Les principaux minéraux qui constituent la boue draguée sont le quartz (18%), la calcite (15%), l'illite (32%) et la muscovite (28%). Trois types de phyllosilicates coexistent dans la boue de dragage, (essentiellement des minéraux argileux);*
- Les compositions chimiques en éléments essentiels sont liées à la minéralogie. La silice ( $SiO_2$ ) était la plus abondante dans la boue étudiée (37,67 à 39,54 %). L'alumine ( $Al_2O_3$ ) et l'oxyde de calcium ( $CaO$ ) étaient présents dans la plage de 9,71 à 9,96 % et de 20,83 à 22,77 %, respectivement ;*
- Teneur en matière organique de 15,05 à 22,12 %.*

**Dossier Technique**

**Comportement des matériaux cimentaires  
sous l'effet d'un écociment à base  
de boues de dragage**  
(suite & fin)

**Résultats des essais de valorisation**

*Une implémentation à l'échelle du laboratoire a été réalisée pour la filière béton-mortier. La boue de dragage du barrage K'sob a été employée comme composants dans des mélanges avec d'autres matériaux fréquemment employés comme substituant partielle du ciment dans des bétons ordinaires.*

*Sur le comportement des matériaux cimentaires sous l'effet de l'écociment proposé à base de sédiments de dragage, les différentes analyses et les conclusions suivantes sont recensées :*

- L'incorporation de la boue traitée augmente la demande en eau, assurant la consistance normale de la pâte;*
- Le temps de prise des pâtes n'était pas fortement touché, tant que moins de 20% du ciment était remplacé par la boue. L'ajout de la boue calcinée au mélange de béton accélère la prise, facilitant le bétonnage par temps froid;*
- Tous les mortiers ont montré des résistances aussi bien à la flexion qu'à la compression augmentant régulièrement avec l'âge et ne diminuent pas. Par rapport au mortier témoin, la diminution de la résistance à la flexion à l'âge de 28 jours du mortier MB20 (après la substitution de 20% du ciment par la boue calcinée) n'a pas dépassé 7%. Le remplacement du ciment par la boue calcinée peut être utilisé pour produire des éléments fragiles. La résistance «  $R_c$  » à la compression à 28 jours des mortiers préparés (10, 15 et 20% de boue calcinée) a dépassé la valeur normative de 42.5MPa;*
- Pendant l'hydratation, les boues calcinées ont bien réagi avec le ciment, et ont atteint certaines performances mécaniques dans le béton et le mortier. La boue est donc un matériau réactif et non un matériau inerte, d'autant plus que son indice d'activité de résistance dépasse 75% à 28 jours;*
- Aucun changement remarquable n'a été observé dans les résistances mécaniques des échantillons de béton avec 10 et 15% de boue calcinée par rapport au béton témoin qu'elles soient données par des essais destructifs ou non destructifs. Par contre, les «  $R_c$  » ont augmenté à moyen terme pour le béton contenant 20 % de boue calcinée, dépassant ainsi 83 % de celles du béton témoin. Les performances à long terme des bétons préparés sont prometteuses.*

**Dossier Technique**

# **Approche par Machine Learning pour l'identification des sols agressifs contenant des sulfates**

Par  
Mme ABOURA NEDJRAOUI Khedoudja  
Ingénierie Contrôleur Direction des Techniques & Méthodes-CTC

## **INTRODUCTION**

Les Sol Acides Sulfatés font partie des types de sols les plus problématiques vis-à-vis des constructions et d'infrastructures. Dans la planification de nouvelles infrastructures, telles qu'un pont, une route ou un bâtiment, il est essentiel de connaître le taux en sulfates SO<sub>4</sub> du sol car cela peut contribuer à la corrosion des infrastructures en acier ou à la détérioration rapide d'un bâtiment, ce qui peut avoir un impact économique et environnemental significatif.

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de recherche émergeant avec un grand potentiel pour analyser et résoudre des problèmes dans différents domaines de recherche. Les méthodes

d'apprentissage automatiques font partie de l'intelligence artificielle et qui sont très efficace dans la cartographie des sols sulfatés, permettant de créer des cartes plus précises avec un nombre d'échantillon inférieur à celui des méthodes traditionnelles. Parmi ces techniques d'apprentissage automatique on a l'algorithme de la forêt aléatoire « RF » (Random Forest), et l'algorithme du Gradient Boosting « GB » qui sont de très bonnes méthodes pour la classification et la prédiction précises de sols sulfatés.

## **Matériels et méthodes**

L'un des problèmes de la cartographie des sols AS est le manque d'échantillons de sol dans certaines régions. Cela entrave la création de cartes d'occurrence des sols AS au moyen de techniques d'apprentissage automatique supervisées.

L'utilisation d'une technique d'apprentissage automatique supervisé dans la cartographie des sols AS nécessite deux types de données différents : les échantillons de sol (données SO<sub>4</sub> test) et les variables environnementales généralement créées à partir de données de télédétection. Les échantillons de sol et leurs valeurs de variables environnementales correspondantes sont utilisés pour entraîner et valider le modèle de machine learning.

Dans la présente recherche nous avons utilisé l'**algorithme XGBoost** qui est un algorithme de machine learning basé sur l'ensemble learning, en particulier le boosting par gradient.

Le machine learning ou apprentissage automatique est une sous discipline de l'intelligence artificielle où les ordinateurs apprennent à partir des données.

Le XGBoost combine plusieurs modèles simples (arbres de décision) pour créer un modèle plus puissant. L'idée est d'ajouter des arbres de manière séquentielle, chaque nouvel arbre corrigeant les erreurs des arbres précédents.

Les principes de base de XGBoost sont les suivants :

- **Arbres de décision** : Ce sont des modèles qui divisent l'espace des données en différentes classes. Chaque arbre prédit une valeur basée sur les règles de décision qu'il construit.
- **Boosting par Gradient** : Ce processus améliore un modèle de manière itérative en corrigeant les erreurs faites par les arbres précédents. L'objectif est de minimiser une fonction de perte, souvent en utilisant une méthode de descente de gradient.
- **Optimisation** : XGBoost optimise non seulement la précision du modèle, mais aussi la vitesse de calcul et la capacité à gérer des données massives.

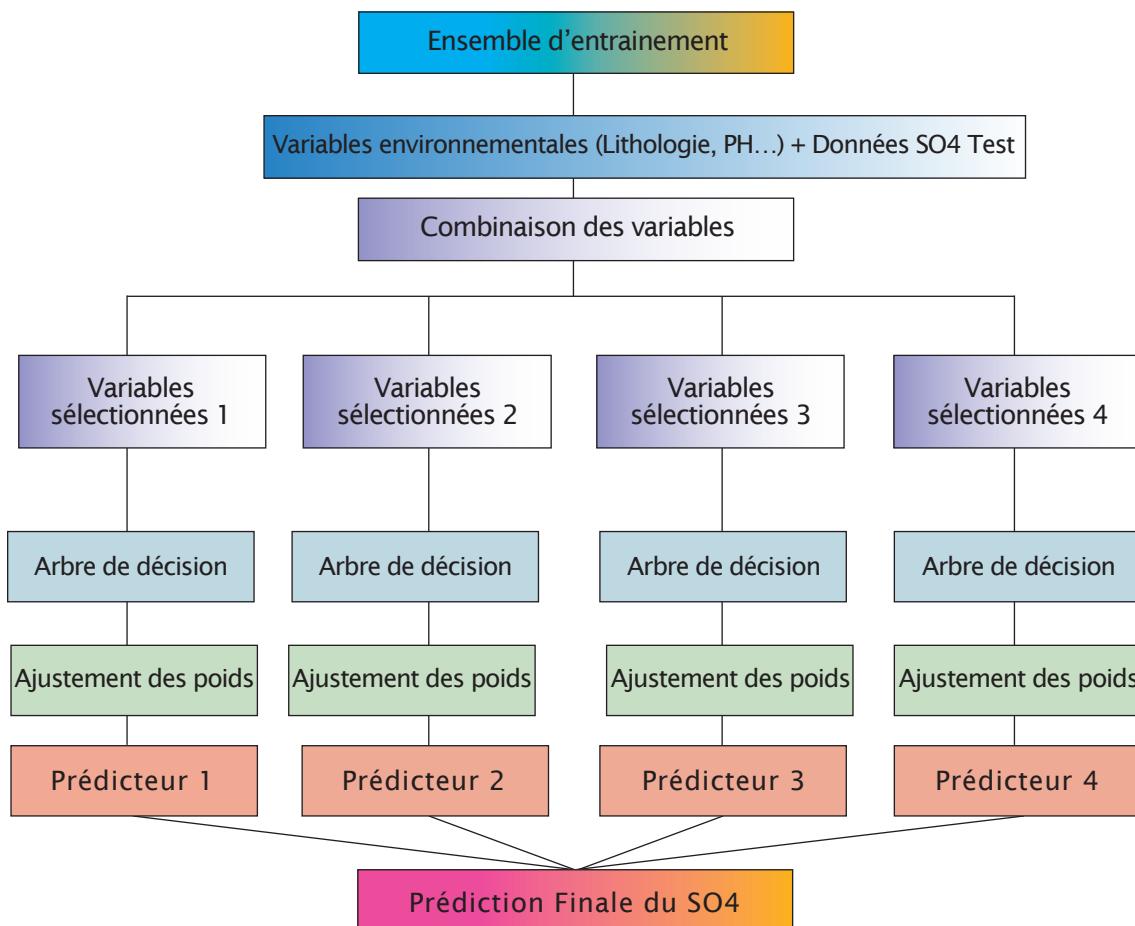


Figure 1: Schéma de l'algorithme de XGBoost

Dossier Technique

Approche par Machine Learning  
pour l'identification des sols  
agressifs contenant des sulfates  
(suite & fin)

Le modèle XGBoost a été entraîné sur les données SO4 test extraites de rapports de sol et les variables environnementales tel que la pente (Figure 2) et le PH (Figure 3) de plusieurs wilayas de l'Est d'Algérie, à savoir : Mila, Annaba, Constantine, Oum El Bouaghi, Skikda, Jijel, Taref, Souk Ahras, Setif, Bordj Bou Arriridj.

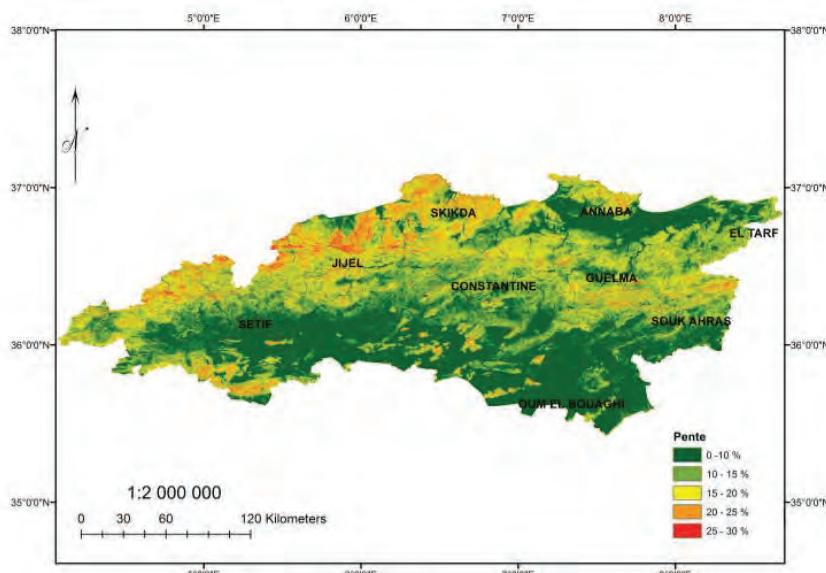


Figure 2: Carte des pentes de la zone Est du pays

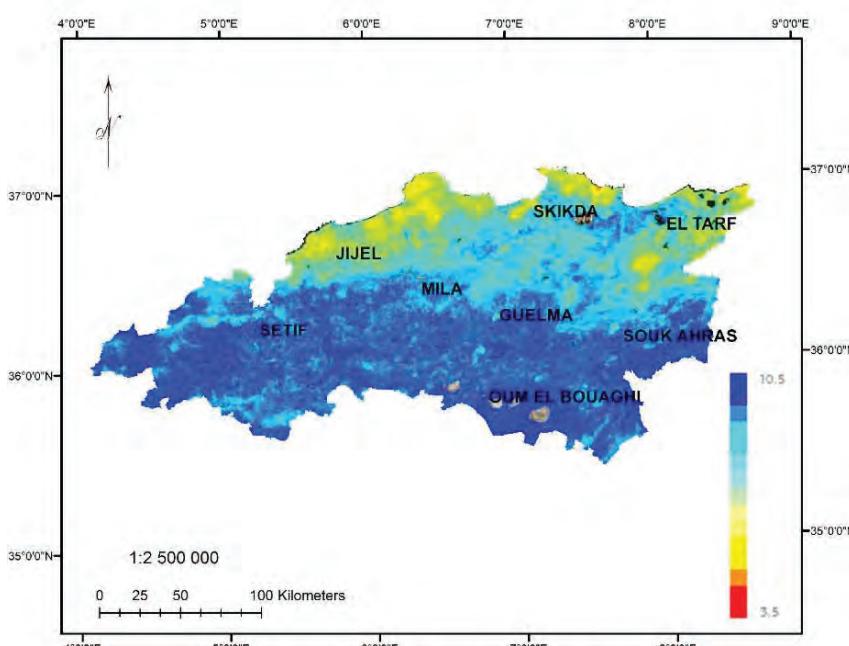


Figure 3: Carte du PH de la zone Est du pays

**CONCLUSION**

Cette étude en cours au sein du **Département Méthodes** (DTM-CTC) vise à cartographier le risque d'agressivité des sols par les sulfates en s'appuyant sur un modèle d'intelligence artificielle basé sur l'algorithme XGBoost. L'intégration de variables environnementales telles que la lithologie, le pH et la pente et d'autres permet d'analyser les facteurs influençant la présence de sulfates dans le sol. L'approche adoptée devrait démontrer son efficacité en identifiant les zones les plus exposées, fournissant ainsi un outil d'aide à la décision pour la prévention et la gestion des risques liés aux sulfates.

Ce travail sera appliqué aux wilayas du territoire algérien confrontées à cette problématique, constituant ainsi une première étape vers une meilleure compréhension des interactions entre les paramètres environnementaux et l'agressivité des sols. Les résultats obtenus contribueront à l'optimisation de la gestion des infrastructures et à la préservation des matériaux de construction face aux risques liés aux sulfates.



## Problématique de conception et d'exécution des conduits d'évacuation des gaz brûlés (type shunt)

### 1- DESCRIPTION DU PROBLÈME TECHNIQUE :

Problème d'étanchéité des conduits : fuites constatées lors des essais d'étanchéité



Essais d'étanchéité doit être réalisé conformément au DTU 24.1



Apparition de fuites de fumées au niveau des prises, boîtes de dérivation et cadres des portes



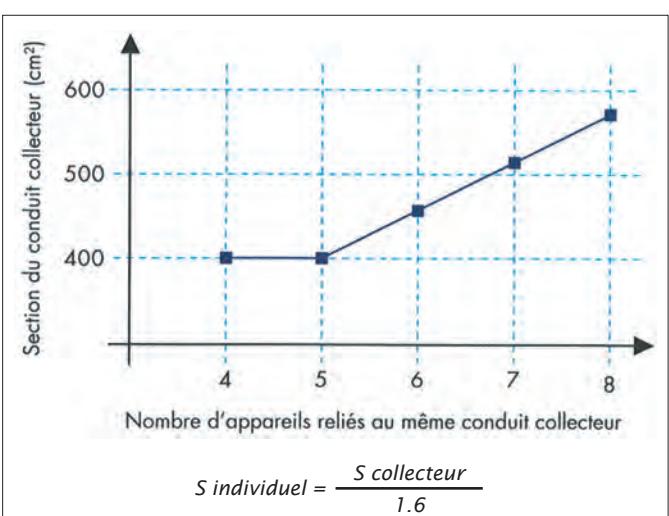
Refoulement des fumées à cause d'une conception erronée

### 2- ÉLÉMENT DÉCLENCHANT LE PROBLÈME :

Problème de conception : non-respect des prescriptions réglementaires du DTR C4.2 (conception et calcul des installations de gaz dans les locaux à usage d'habitation) concernant le dimensionnement des éléments constituants les conduits d'évacuation des gaz brûlés à savoir : Un tirage général naturel se fait dans le conduit collectif et il y a aspiration par effet de succion

au niveau de chaque raccordement, avec les spécificités suivantes :

- un conduit collecteur,  $400 \text{ cm}^2$
- des départs individuels de hauteurs d'étage,  $250 \text{ cm}^2$
- 5 appareils peuvent être installés au maximum sur le collecteur
- le 6<sup>e</sup> étant évacué directement.
- au-delà de 6 appareils, le conduit shunt doit être dédoublé.



**Problème de réalisation :**

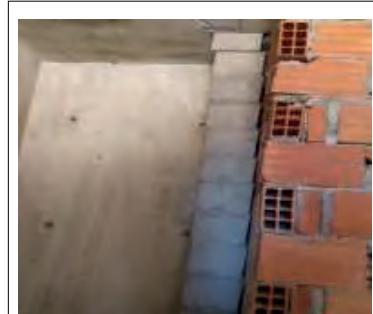
- Non-respect des dimensions des sections intérieures des raccordements individuels et collecteurs des conduits shunt lors de la fabrication des boisseaux.
- Réalisation des conduits Shunt non conforme-présence de fissures sur les parois des conduits (trous dans les boisseaux, insuffisance du mortier de jointement, absence de la paroi en maçonnerie de recouvrement des boisseaux).
- Fixation des conduits de gaz et d'eau sur les parois des conduits de fumée.
- Absence de crépissage au mortier de ciment du côté postérieur des boisseaux des conduits shunt
- Décalage en verticalité-mauvaise superposition des orifices des conduits collectifs et individuel.
- La jonction au conduit collecteur est exécutée perpendiculairement à l'axe du conduit collecteur empêchant que les filets gazeux soient dirigés vers le haut.
- Les foyers situés aux derniers niveaux, notamment ceux des chauffe-eaux n'ont pas une hauteur de tirage suffisante.
- Non-respect des hauteurs de raccordement des conduits individuels sur les conduits collecteurs.
- Non-respect des hauteurs réglementaires des débouchés des conduits.



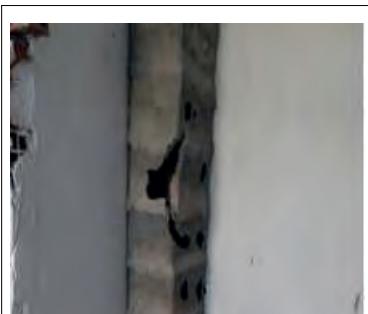
Non-respect des dimensions minimales des conduits individuels et collectifs



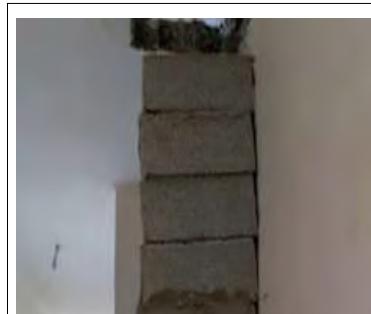
Fixation des conduits de gaz et d'eau sur les parois des conduits de fumée sans habillage en brique



Décalage en verticalité et mauvaise superposition boisseaux



Utilisation de boisseaux détériorés



Insuffisance du mortier de jointement



Absence de crépissage au mortier de ciment du côté postérieur des boisseaux



Absence de jonction selon un angle ouvert pour diriger les filets gazeux vers le haut



Non-respect des hauteurs réglementaires des débouchés des conduits



Les foyers situés aux derniers niveaux, sans accès direct vers l'extérieur

### 3- RÉFÉRENCES RÉGLEMENTAIRES OU NORMATIVES:

- DTR-C 3.31 : Ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation.
- DTR-C 4.2 : conception et calcul des installations de gaz dans les locaux à usage d'habitation.
- DTU 24.1 : Travaux de fumisterie-système d'évacuation des produits de combustion

### 4- DISPOSITIONS À PRENDRE POUR LA MISE EN CONFORMITÉ (VOIR SCHÉMAS CI-DESSOUS)

- Les essais d'étanchéité et de vacuité doivent être exécutés conformément à la procédure décrite dans le DTU 24.1 : Travaux de fumisterie-système d'évacuation des produits de combustion.
- Afin de pouvoir rectifier et réparer les conduits defectueux, les essais d'étanchéité doivent être effectués au fur et à mesure de l'avancement des travaux et non pas à la fin.
- Veiller au strict respect des plans examinés par le CTC.

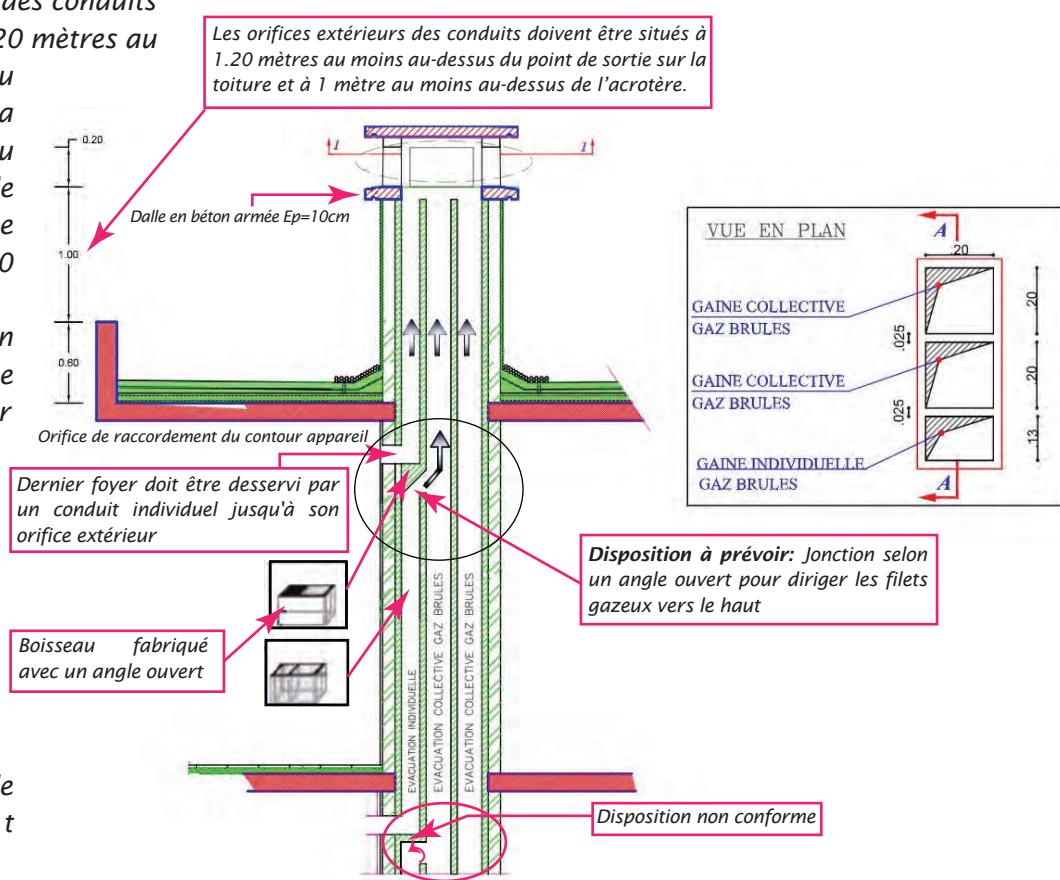
Au cours des travaux de réalisation il faut veiller au respect des règles suivantes :

- A chaque étage, le conduit collecteur ne peut recevoir les produits de combustion que d'un seul foyer.
- Une attention particulière doit être réservée aux éléments des conduits shunt en respectant les dimensions des boisseaux qui doivent être au moins égale à 400 centimètres carrés pour les conduits collecteurs et 250 centimètres carrés pour la section des raccordements individuels.
- Chaque foyer doit obligatoirement être raccordé au conduit collecteur par un raccordement individuel s'élevant au moins sur la hauteur d'un étage et au plus sur 3,50 mètres.
- Chaque fois qu'un foyer situé à un étage supérieur n'a pas cette hauteur de tirage, il doit être desservi par un conduit individuel jusqu'à son orifice extérieur.
- Chaque raccordement individuel doit être vertical et sans dévoiement jusqu'à sa jonction au conduit collecteur; cette jonction doit être exécutée selon un angle très ouvert de telle sorte que les filets gazeux soient dirigés vers le haut, ce qui exclut notamment tout débouché du raccordement individuel perpendiculairement à l'axe du conduit collecteur.

- Les orifices extérieurs des conduits doivent être situés à 1,20 mètres au moins au-dessus du point de sortie sur la toiture et à 1 mètre au moins au-dessus de l'acrotère lorsque celui-ci a plus de 0,20 mètre.

- Un habillage en maçonnerie de brique doit être prévu pour assurer le confinement des conduits d'évacuation des gaz brûlés.

- Les composants doivent être présentés d'aplomb et réglés de façon telle que les surfaces intérieures n'accusent pas de désafflement supérieur à 2 mm.



**Rappel de la Procédure de l'essai d'étanchéité :**  
(Extrait du DTU 24.1 - C.4.2 Essais fumigène)

L'essai fumigène consiste à brûler une cartouche fumigène dans le conduit et à rechercher les fuites éventuelles de fumée à travers ce dernier. Il exige la présence d'au moins deux opérateurs, dont un à chaque extrémité du conduit.

Le premier opérateur monte sur le toit muni d'une plaque lui permettant d'obturer le conduit. Le second opérateur se place à l'orifice inférieur du conduit.

Après avoir créé un courant d'air ascensionnel dans le conduit en brûlant un peu de papier, il allume une cartouche fumigène correspondant au volume du conduit à vérifier et l'introduit dans ce dernier et il bouche aussitôt l'orifice.

Le premier opérateur surveille le dégagement de fumée et dès son apparition obture l'extrémité supérieure du conduit.

Le conduit est ainsi maintenu obturé le temps nécessaire au second opérateur pour parcourir les locaux contigus au conduit en vue de déceler les fuites éventuelles de fumée.

Une fois l'essai terminé, le haut du conduit est débouché pour permettre l'évacuation de la fumée puis le bas est débouché à son tour.

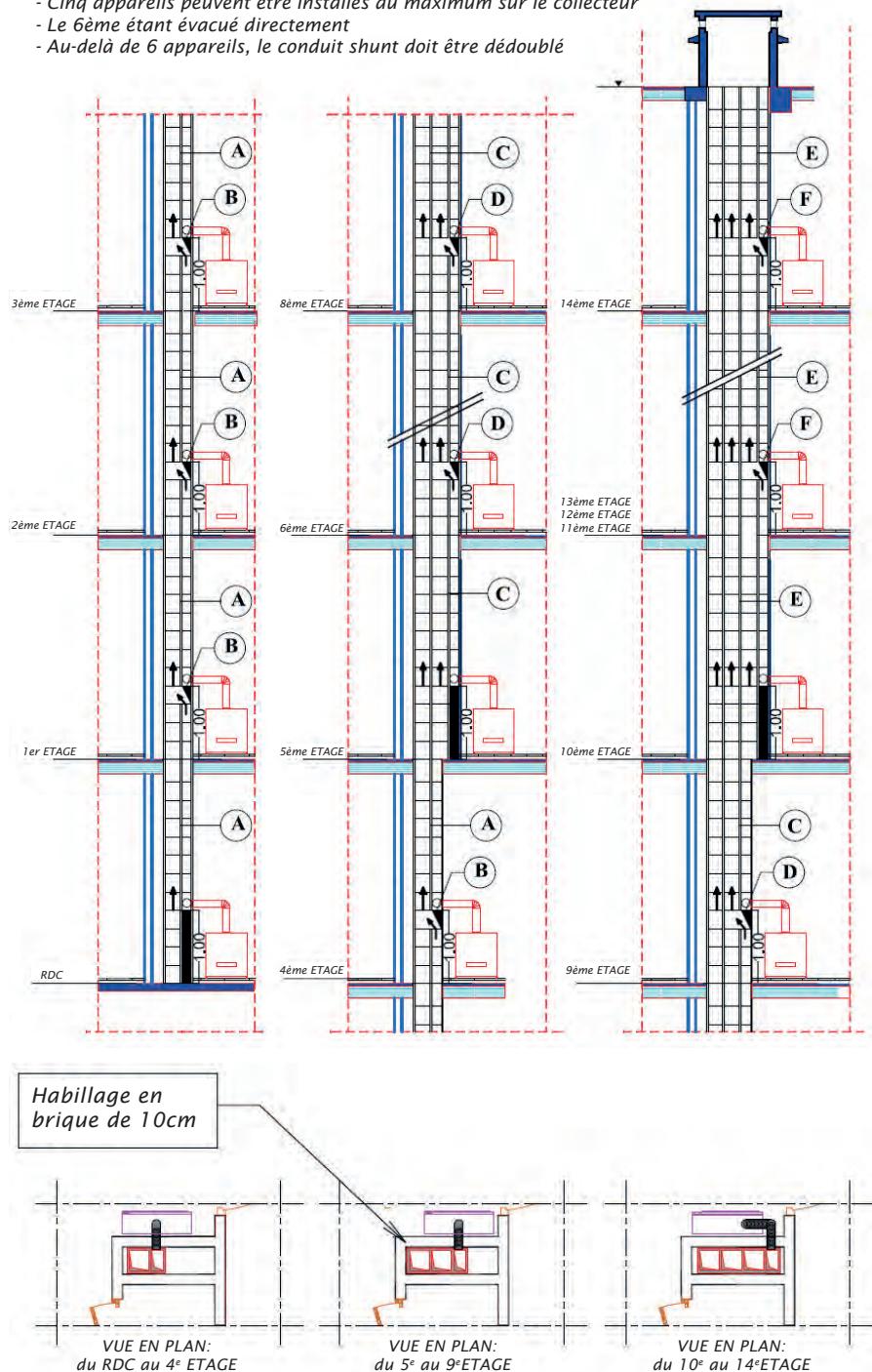
L'essai fumigène peut également être réalisé avec un appareil de fumée selon les mêmes principes.

La procédure d'essais doit être validée par tous les intervenants (M.O, CTC, BET, Entreprise), les premiers essais sont réalisés par sondage en présence du CTC.

L'entreprise doit procéder aux essais d'étanchéité de façon exhaustive en présence du bureau d'étude.

Les résultats de ces essais doivent être consignés dans un dossier d'auto-contrôle.

- Cinq appareils peuvent être installés au maximum sur le collecteur
- Le 6ème étant évacué directement
- Au-delà de 6 appareils, le conduit shunt doit être dédoublé



### Formation CTC- AAF (Algerian American Foundation)

## UNE PRESTATION DE HAUT NIVEAU

Le coup d'envoi officiel à la formation organisée conjointement par le **CTC** et l'**Algerian American Foundation (AAF)** a été donné le 25 mai 2025 pour une durée d'une semaine au profit des ingénieurs des cinq (05) Direction Régionales et de la Direction Diagnostic & Expertise du CTC.



Les participants à cette formation de haut niveau ont assisté à des présentations de pointe, animées par des experts algériens de renommée internationale. Les communications ont porté principalement sur : l'évaluation post-catastrophe, l'évaluation structurale du bâti existant, la dynamique des sols, dimensionnement capacitaire des bâtiments de grande hauteur, méthodologie de modélisation des catastrophes avec applications et méthodes vibratoires et intelligence artificielle pour le monitoring des structures existantes.

#### COMMUNICATIONS DU CYCLE DE FORMATION CTC-AAF:

- **ETAT DE L'ART SUR L'ÉVALUATION POST-CATASTROPHE (Pr.Amar CHAKER)**
- **L'ÉVALUATION STRUCTURALE DU BÂTI EXISTANT AVEC ÉTUDES DE CAS PRATIQUES (Dr.Hakim BOUADI)**
- **DYNAMIQUE DES SOLS (par visioconférence) (Pr.Tarik HADJ-HAMOU)**
- **DIMENSIONNEMENT CAPACITAIRE DES BÂTIMENTS DE GRANDE HAUTEUR (Pr.Amar CHAKER)**
- **MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DES CATASTROPHES AVEC APPLICATIONS (Dr.Omar KHEMICI)**
- **MÉTHODES VIBRATOIRES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LE MONITORING DES STRUCTURES EXISTANTES - ÉTUDES DE CAS (Pr.Nouredine BOURAHLA)**

**Journée de vulgarisation sur :  
LES TRAVAUX DE FONDATIONS PROFONDES (DTR B.E 1.32)**

Fidèle à ses traditions de sensibilisation des intervenants et partenaires du secteur construction, et dans le cadre de la diffusion de l'information technique et réglementaire, le CTC a organisé **une journée de vulgarisation sur "Les Travaux de Fondations Profondes"** au niveau du siège de sa direction générale à Alger, le lundi 16 juin 2025.



Cette journée d'information s'est tenue au profit des ingénieurs des filiales du Groupe Etudes & Engineering (GEE) ; une rencontre scientifique qui a connu le passage en revue du document de référence en la matière, à savoir le **DTR B.E 1.32**, suivi, en fin de séance, d'un débat général sur la thématique en question, abordant les détails de ses différents chapitres .

Il est à noter que les Agences CTC ont également suivi les travaux de cette journée, et ce à distance par visioconférence.

**Rappel Filiales GEE :** BEHA, BEREG, BEREPI, ENRI OUEST, BEET BATNA, BETP BECHAR, SETAM MEDEA, BEM MILA, BERM M'SILA, SATO O.B.E, MHT TLEMCEN et GART ANNABA.