



ISSN : 1270-9840

SÉRIE BIMESTRIELLE N° 4/2016

(anciennement : Annales de l'I.T.B.T.P.,  
Revue créée en 1948)

DÉCEMBRE 2016

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**

Serge KEBABTCHIEFF

**RÉDACTION****Rédacteur en chef**François BUYLE-BODIN,  
université de Lille**Représentant l'Union  
des Associations Françaises  
de Génie Civil**

Jean-Marc TANIS (EGIS), Président

**Représentant****l'Association Française  
de Génie Civil AFGC**Bruno GODART (IFSTTAR),  
Président du CA  
Patrick GUIRAUD (Cimbéton),  
Président du Comité des Affaires Générales  
Thierry KRETZ (IFSTTAR),  
Président du Comité Scientifique et Technique**Représentant l'Association  
Universitaire de Génie  
Civil AUGC**Olivier PLÉ,  
Président du CA  
Sofiane AMZIANE (Université de Clermont-  
Ferrand), Président du Conseil Scientifique  
Hélène CARRÉ (université de Pau),  
chargée du prix jeunes  
chercheurs René Houpert**Représentant l'Ifsttar**

Jean-Luc CLÉMENT, direction scientifique

**Représentant l'Union des Ingénieurs et  
Scientifiques Francophones UISF**

Élie ABSI, président

**Relations internationales**

Zoubeir LAFHAJ, École Centrale de Lille

**ABONNEMENT :**

Éditions ESKA

<http://www.eska.fr>12, rue du Quatre-Septembre - 75002 PARIS  
Tél. : 01 42 86 55 65 - Fax : 01 42 60 45 35**FABRICATION : AGPA EDITIONS**4, rue Camélinat - 42000 Saint-Etienne  
Tél. : 04 77 43 26 70 - Fax : 04 77 41 85 04  
E-mail : agpaedit@wanadoo.fr**PUBLICITÉ - À la rédaction****IMPRESSION :**

Imprimé en France

# sommaire

## éditorial

Marjorie Petitpain, Patrick Rougeau

## introduction du rédacteur en chef

## ÉCONOMIE CIRCULAIRE CIRCULAR ECONOMY

### Utilisation des matières premières secondaires dans les bétons

#### *Using alternative raw materials in concrete*

Marjorie Petitpain, Sylvain Dehaut, François Jacquemot,  
Patrick Rougeau

<b>1. Introduction</b> .....	7
<b>2. Économie circulaire – historique et contexte</b> .....	7
<b>3. Contexte réglementaire</b> .....	8
3.1. Introduction .....	8
3.2. La Directive-cadre « déchet » 2008/98/CE .....	8
3.2.1. Notion de « co-produit » et de « sous-produit » .....	9
3.2.2. Sortie du statut de déchet .....	9
3.3. Réglementation liée aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement .....	9
3.3.1. Généralités .....	9
3.3.2. Classification .....	9
3.3.3. Rubrique affiliée aux usines de préfabrication .....	9
3.3.4. Les activités de réception de matières .....	10
3.3.5. Les activités de traitement de déchets .....	10
3.3.6. Transport des déchets .....	11
3.3.7. Traçabilité des déchets/matières .....	12
3.3.8. Circulaire du 17/03/03 relative à la nomenclature des activités liées aux déchets pour les ICPE .....	12
<b>4. Contexte normatif pour les bétons</b> .....	12
4.1. Cadre Général .....	12
4.2. Produits préfabriqués structuraux .....	12
4.3. Produits en béton relevant d'une norme spécifique .....	12
4.4. Utilisation de matières premières secondaires dans les produits en béton .....	12
<b>5. Le matériau béton</b> .....	13
5.1. Données générales sur le béton .....	13
5.2. Le béton sur le territoire français .....	13
5.3. Le béton : un matériau en constante évolution .....	14
<b>6. Utilisation de matières premières secondaires dans les bétons</b> .....	17
6.1. Introduction .....	17
6.2. Matières premières secondaires en substitution ou en complément des granulats d'origine minérale .....	17
6.2.1. Les granulats végétaux ou agro-sourcés .....	17
6.2.2. Les granulats provenant du recyclage des produits de déconstruction .....	19
6.2.3. Les granulats issus d'autres secteurs industriels .....	20
6.2.4. Les granulats provenant d'autres sources .....	21
6.3. Matières premières secondaires en substitution ou en complément du liant .....	23



ISSN : 1270-9840

SÉRIE BIMESTRIELLE N° 4/2016

(anciennement : Annales de l'I.T.B.T.P.,  
Revue créée en 1948)

DÉCEMBRE 2016

Photos de couverture : les auteurs  
Crédits photos : les auteurs

Bulletin d'abonnement, p. 2

Recommandations aux auteurs, p. 56

## sommaire

6.3.1. Les cendres volantes de charbon .....	23
6.3.2. Les fumées de silice .....	24
6.3.3. Les laitiers de haut fourneau .....	24
6.3.4. Les laitiers d'aciérie .....	25
6.3.5. Les laitiers de cubilot.....	26
6.3.6. Les boues de papeterie.....	26
6.3.7. Les cendres issues des chaudières papetières .....	27
6.3.8. Les fines de plaques de fibro-ciment .....	28
6.3.9. Les fines de fonderie .....	29
6.4. Matières premières secondaires en substitution de pigments.....	30
6.5. Matières premières secondaires en substitution des fibres.....	30
6.5.1. Les fibres métalliques .....	30
6.5.2. Les fibres polymères.....	30
<b>7. Cahier des charges .....</b>	<b>30</b>
<b>8. Méthodologie opérationnelle pour valoriser les matières premières secondaires ou co-produits industriels dans les bétons .....</b>	<b>31</b>
8.1. Origine de cette méthodologie.....	31
8.2. Démarche générale de la méthodologie de valorisation.....	31
8.3. Détail de la méthodologie pour une utilisation dans le béton .....	31
8.3.1. Phase 1 : État des lieux .....	31
8.3.2. Phase 2 : Étude préliminaire .....	32
8.3.3. Phase 3 : Faisabilité technique à l'échelle du laboratoire .....	33
8.3.4. Phase 4 : Faisabilité technique à l'échelle pré-industrielle .....	33
<b>9. Conclusion .....</b>	<b>34</b>
<b>10. Annexe. Exemples d'utilisation dans les bétons de co-produits industriels ou matériaux issus de la déconstruction des bâtiments.....</b>	<b>35</b>
<b>résumés — abstracts .....</b>	<b>6</b>
<b>communiqués — colloques .....</b>	<b>45</b>



## BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner aux Éditions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. 01 42 86 55 65 – Fax 01 42 60 45 35

Nom .....

Raison sociale.....

Adresse .....

Code postal ..... Ville ..... Pays .....

Je m'abonne pour l'année 2017 (6 numéros/an) à la revue « *Annales du BTP* » :

- Tarif FRANCE individuel (TTC) : **269 €**       Tarif ETRANGER individuel (HT) : **326 €**  
 Tarif FRANCE institution (TTC) : **337 €**       Tarif ETRANGER institution (HT) : **388 €**

Je joins :       Un chèque bancaire à l'ordre des Editions ESKA  
 Un virement bancaire aux Editions ESKA -  
 BNP Paris - Champs Elysées - 30004-00804 - Compte 000101399.56

## éditorial

Comme il est souligné dans le récent rapport de l'Institut Montaigne<sup>1</sup>, le concept d'économie circulaire est en évolution et il en existe plusieurs définitions, celle-ci en est une parmi d'autres :

*« La transition vers une économie circulaire, c'est l'ensemble des transformations qui permettent de poursuivre la création de valeur pour les différents acteurs économiques (dont les consommateurs finaux), en préservant le capital naturel et en utilisant de moins en moins des ressources existant en quantité limitée. »*

Si la conceptualisation est récente, ce qu'elle revêt ne l'est pas complètement. L'économie circulaire est bien à la base ce mode de fonctionnement ancestral, connu de la plupart des civilisations, consistant à utiliser les ressources naturelles de manière parcimonieuse en veillant à ce que les équilibres naturels soient préservés, y compris pour les générations d'après et à réutiliser les matériaux déjà extraits du milieu naturel puis travaillés par la main de l'homme. Les romains construisaient ainsi des maçonneries à base de matériaux recyclés. Des mélanges de chaux, de cendres volcaniques pouzzolaniques et d'argiles cuites broyées étaient utilisés comme liants pour réaliser des mortiers et bétons composés de granulats naturels ou provenant de précédentes constructions.

Ce n'est que depuis peu, seulement quelques générations en réalité, que les sociétés, à commencer par celles occidentales mais pas seulement, se sont détachées de ces principes à mesure que progressaient l'ère industrielle et ses formidables outils facilitant grandement l'extraction et la transformation des matières premières, améliorant de manière spectaculaire le confort, la santé et le bien-être des personnes.

Les mythes ne sont pas l'apanage des sociétés antiques. Chaque époque véhicule les siens, ces

derniers structurant en retour les modes de pensées et figeant pour un temps les comportements. Penser que l'innovation technologique peut résoudre à elle seule tous les problèmes, y compris celui de la pénurie des ressources et des impacts de l'homme sur l'environnement, est comme le souligne P. Bihouix<sup>2</sup> un mythe qui a fonctionné pendant plus d'un siècle, mais qui montre aujourd'hui ses limites parce que la donne a changé : raréfaction de certaines ressources, démographie grandissante, extension du mode de consommation occidental... Le recyclage, idée phare de l'économie circulaire, a aussi des limites. Bien que vertueux et nécessitant d'être renforcé, mais parce qu'il n'est jamais total, le recyclage n'annule pas le recours aux ressources naturelles. Il en diminue seulement l'amplitude comme d'autres facteurs peuvent le faire à commencer par nos modes de consommation.

Et si l'économie circulaire n'était qu'un nouveau mythe ? Un mot de plus dans le vocabulaire médiatique venant après ou de manière concomitante avec celui du développement durable ? On le voit à travers ce dernier terme, les concepts eux-mêmes sont mis à rude épreuve et sont concernés eux aussi par une certaine forme d'obsolescence. Sans chercher à opposer développement durable et économie circulaire, ce qui n'aurait de sens d'ailleurs tant leurs champs sont vastes et se recouvrent, il est frappant de constater à quelle vitesse le terme d'économie circulaire a supplanté celui de développement durable dans l'espace public.

Il importe donc de ne pas être dupe de ces effets de mode et de nos besoins sociétaux en nouveautés salvatrices. Il convient ainsi de mesurer les limites de l'économie circulaire tout autant que d'en percevoir ses bienfaits, de considérer les remises en question fortes qu'elle opère sur nos sociétés pour initier sans tarder les actions qui

1. « *Économie circulaire, réconcilier croissance et environnement* ». Rapport de l'Institut Montaigne. Novembre 2016.

2. « *L'âge des low-tech : Vers une civilisation techniquement soutenable* ». Philippe Bihouix. 2014.

s'imposent. Au-delà des concepts, ce sont bien les actes, nos actes, qui importent.

Dans la mesure où le secteur du BTP regroupe des activités et réalisations humaines touchant l'ensemble de notre cadre de vie, il a nécessairement des impacts sur les ressources naturelles. De fait, les matériaux de construction et les systèmes constructifs ont un rôle clé à jouer dans la préservation des ressources et la réduction des impacts environnementaux, en considérant l'ensemble des critères fixés par les normes environnementales internationales.

Qu'en est-il de la construction en béton ? L'ensemble de la filière béton, l'industrie des produits en béton et le CERIB à ses côtés, s'engagent pleinement pour répondre aux enjeux de l'économie circulaire et de l'utilisation durable des ressources. Les travaux menés dans le cadre du Projet National Recybéton ont ainsi permis de montrer que le béton est un matériau parfaitement recyclable et réutilisable pour faire de nouveaux matériaux. L'objectif du présent numéro des Annales du BTP est d'illustrer à travers différents exemples la diversité des applications qui peuvent être envisagées en utilisant des matières premières secondaires dans les bétons. Leur utilisation est presque toujours possible techniquement et de plus en plus souvent économiquement viable. Les matières premières secondaires contribuent ainsi à une utilisation raisonnée des

ressources naturelles, sans sur-qualité inutile. Il s'agit également d'exposer les freins qui limitent aujourd'hui les initiatives. Bien que légitimes parce que garantissant la construction d'ouvrages sûrs et sains, les textes normatifs et réglementaires rédigés dans un contexte d'économie linéaire peuvent limiter ou compliquer l'utilisation de matières premières secondaires dans les bétons. C'est le cas également de la mise en décharge qui bien que d'un coût croissant constitue encore trop souvent la solution la plus économique. Un autre aspect est celui des plateformes de collecte, de traitement et d'assemblage des matières premières secondaires encore trop peu présentes sur le territoire.

Enfin, il est essentiel de rappeler que les bétons et les solutions industrielles en béton resteront majoritairement composés de constituants traditionnels, ces derniers ayant fait leurs preuves quant à l'obtention d'ouvrages durables, sains et sûrs. Ils sont par ailleurs constitués d'éléments (Ca, Si, Al, Fe...) qu'on trouve en très grande quantité dans l'écorce terrestre. L'utilisation dans les bétons de matières premières secondaires et de co-produits industriels en particulier vient en complément et est amenée à se développer. On le voit, le béton, matériau porteur d'innovations, est incontestablement un matériau de construction majeur pour demain.

**Marjorie PETITPAIN et Patrick ROUGEAU**

## introduction

Chères lectrices, chers lecteurs,

Vous avez ici le premier numéro des *Annales du BTP* entièrement consacré à l'Économie Circulaire. Pourquoi ce choix éditorial ?

Derrière le mot économie circulaire se cache un ensemble de préoccupations de préservation des ressources naturelles, de performance énergétique, de respect de l'environnement... Et la recherche de solutions technologiques en réponse à ces préoccupations est maintenant un des premiers moteurs de l'innovation dans notre secteur du BTP.

La revue vous propose de vous présenter au rythme d'un numéro par an les principales recherches sur ce thème, et nous commençons avec ce numéro en abordant le secteur de la construction en béton, couramment étudié par la revue et à ce jour un des plus en avance dans les réflexions sur ce thème.

Il convient en effet de rappeler que les ressources les plus consommées dans le secteur de la construction sont des ressources non renouvelables. Extraites, transportées et transformées en quantités toujours plus élevées, à des coûts énergétiques parfois grandissants et avec des conséquences non négligeables pour l'environnement, il est important que leur usage s'inscrive davantage encore dans une logique durable. Une réflexion en termes d'économie circulaire invite donc à réinterroger ces modèles linéaires et consommateurs, tant au niveau de la matière pour la construction, de l'énergie, du foncier, que de la gestion des déchets.

En économie circulaire, l'approche « 3 R » (« Réduire, Réutiliser, Recycler ») invite avant tout à s'interroger sur la manière d'éviter la production des déchets (écoconception, modélisation des données de l'ouvrage, lutte contre l'obsolescence programmée...). Cette approche est quant à elle traduite dans la loi française par la directive-cadre relative aux déchets, qui préconise de hiérarchiser les modes de traitement en favorisant la prévention, la réutilisation et le réemploi avant même d'envisager le recyclage ou la valorisation énergétique.

Cela revient à considérer le bâti non plus seulement comme consommateur et émetteur de GES (gaz à effet de serre), mais aussi comme une ressource, ce qui implique de se pencher sur les matériaux et les solutions constructives.

Le bâti, tout comme les co-produits de l'industrie, peut alors être envisagé comme un stock de matières premières secondaires, immobilisé pour une durée plus ou moins longue, et qui représente autant de ressources pour le territoire qui permettront de limiter l'importation de nouvelles matières (et les émissions associées).

Je vous renvoie pour cela à de nombreuses études dont celles de la plateforme OREE qui m'a largement inspiré pour cet éditorial.

<http://www.oree.org/>

Bonne lecture

**Le rédacteur en chef,  
Prof. François Buyle-Bodin**

## résumés — abstracts

### ÉCONOMIE CIRCULAIRE

#### Utilisation de matières premières secondaires dans les bétons

L'économie circulaire se définit comme « un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable et dont l'objectif est de produire des biens et des services tout en limitant la consommation et le gaspillage des matières premières, de l'eau et des sources d'énergie ». Ce concept vise à changer le système linéaire de l'économie actuelle, qui consiste à « extraire, fabriquer, consommer, jeter », en un système circulaire où le déchet de l'un devient la matière première de l'autre.

Le présent numéro illustre comment le béton s'inscrit dans ce mouvement en permettant d'utiliser et valoriser des matières premières secondaires.

Les contextes réglementaires et normatifs sont exposés. Des exemples d'utilisation dans les bétons de matières premières secondaires, dont des coproduits industriels, sont présentés.

Le présent numéro décrit également une méthodologie opérationnelle permettant de s'assurer de la faisabilité d'incorporation d'une nouvelle matière première secondaire dans les bétons ainsi que les principaux éléments des cahiers des charges à respecter.

### CIRCULAR ECONOMY

#### Using alternative raw materials in concrete

*Circular economy is defined as “an economic concept associated with the precepts of sustainable development whose objective is to produce goods and services while limiting the use and wastage of raw materials, water, and energy resources”. It aims to change today’s linear economic approach, i.e. “take, make, use, dispose”, into a circular system where one person’s waste becomes another’s raw material.*

*This issue illustrates how concrete fits into this movement by using alternative raw materials beneficially.*

*The regulatory and normative situations are outlined. Examples are given of how alternative raw materials, including industrial by-products, can be used in concrete.*

*The issue also presents an operational methodology for checking the feasibility of incorporating a new alternative raw material in concrete, along with the main components of the specifications to be met.*



# Économie circulaire / *Circular Economy*

## UTILISATION DES MATIÈRES PREMIÈRES SECONDAIRES DANS LES BÉTONS

### USING ALTERNATIVE RAW MATERIALS IN CONCRETE

MARJORIE PETITPAIN<sup>1</sup>, SYLVAIN DEHAUDT<sup>2</sup>, FRANÇOIS JACQUEMOT<sup>3</sup>, PATRICK ROUGEAU<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingénieur au Pôle Matériaux – CERIB ; <sup>2</sup>Responsable Développement et Innovation – CERIB

<sup>3</sup>Responsable du Pôle Matériaux – CERIB ; <sup>4</sup>Directeur Matériaux et Technologies du Béton – CERIB  
CERIB, 1 rue des Longs Réages, 28233 Epernon

## 1. INTRODUCTION

Le ministère français du développement durable définit l'économie circulaire comme étant « un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable et dont l'objectif est de produire des biens et des services tout en limitant la consommation et le gaspillage des matières premières, de l'eau et des sources d'énergie ». Ce concept vise à changer le système linéaire de notre économie actuelle, qui consiste à « extraire, fabriquer, consommer, jeter », en un système fermé où le déchet de l'un devient la matière première de l'autre.

Le présent document se situe dans le contexte de l'économie circulaire et porte sur l'utilisation de matières premières secondaires dans les bétons.

Les chapitres 2, 3 et 4 présentent le contexte, les aspects réglementaires et normatifs. Le chapitre 5 comprend des données générales sur les bétons.

Les objectifs du présent document sont de :

- présenter les nombreux exemples d'utilisation expérimentés dans les bétons (chapitre 6) ;
- identifier les principaux éléments du cahier des charges à respecter (chapitre 7) ;
- préciser la méthodologie à mettre en place pour s'assurer de la faisabilité d'incorporation d'une nouvelle matière première secondaire dans les bétons (chapitre 8).

## 2. ÉCONOMIE CIRCULAIRE : HISTORIQUE ET CONTEXTE

Succédant à la révolution industrielle, le XX<sup>e</sup> siècle a vu se développer une société de consommation toujours plus demandeuse et qui a augmenté de façon très importante son prélèvement sur les ressources naturelles. Aujourd'hui, le monde est arrivé à un stade où la raréfaction des matières premières et les impacts environnementaux engendrent une prise de conscience et une réflexion de fond. En effet, le modèle des pays développés, consistant principalement à extraire, produire, consommer et jeter, ne permet plus d'appréhender un futur acceptable pour les générations à venir. Un changement

radical doit donc être effectué à toutes les échelles, soit du simple citoyen aux grosses industries consommatrices de ressources naturelles pouvant être fossiles et émettrices de gaz à effet de serre.

Face à l'idée, née de la révolution industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle, selon laquelle le progrès technique assurera une croissance sans limite et un progrès linéaire, on a assisté à une progressive prise de conscience, à partir des années 1920, relative aux premiers effets négatifs visibles de l'industrialisation sur les milieux naturels, la faune, la flore et les milieux aquatiques [Bihouix, 2010].

En 1968, les travaux du Club de Rome, avec la publication du rapport « Halte à la croissance », ont été le point de départ d'un très large débat qui a conduit par la suite au « développement durable » prôné par le rapport Brundtland, « Notre avenir à tous », publié en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement.

En 1992, un cri d'alarme est lancé lors de la Conférence de Rio sur la dégradation de l'écosystème par la croissance économique, contribuant à une prise de conscience planétaire autour de l'idée de développement durable d'un point de vue économique, social et environnemental.

Par la suite, le développement durable inspire toutes les conférences internationales des Nations-Unies sur de multiples sujets dont celle de 1997 à Kyoto portant sur les changements climatiques durant laquelle 180 pays s'engagèrent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 par rapport aux niveaux de 1990 (signature du Protocole de Kyoto).

Issu des réflexions menées lors du Grenelle de l'Environnement et en articulation avec la transposition de la Directive-cadre européenne 2008/98/CE du 19 novembre 2008 sur les déchets, un plan d'actions « déchets » gouvernemental de trois ans est paru en septembre 2009 et s'est décliné en 5 axes :

- sensibilisation et information des citoyens et des collectivités locales pour la prévention des déchets et la mise en place progressive d'une tarification incitative ;
- étendue des filières de responsabilité élargie du producteur pour le recyclage afin de permettre une meilleure organisation ; répartition du financement de la gestion des déchets entre collectivités et industriels. Ce volet prévoit aussi de





- négocier, au niveau communautaire, la qualification des matières recyclées comme produits ;
- valorisation des déchets organiques, qui représentent 25 % des déchets ménagers ;
  - encadrement de la quantité des déchets incinérés, adaptation de la fiscalité sur les outils de traitement et proposition de mesures pour améliorer l'information sur les sites de stockage et d'incinération ;
  - augmentation du recyclage des déchets du BTP, dont plus d'un tiers n'est pas valorisé aujourd'hui, en développant de nouveaux moyens.

Dans le nouveau Programme national de prévention des déchets 2014-2020 (issu de l'application de la directive-cadre de 2008), la « prévention des déchets » est définie comme étant un moyen de « réduire la quantité ou la nocivité des déchets produits, en intervenant à la fois sur leur mode de production et de consommation ». Les enjeux sont forts, il s'agit réduire les impacts environnementaux et les coûts associés à la gestion des déchets, mais également les impacts environnementaux dus à l'extraction des ressources naturelles, à la production des biens et services, à leur distribution et à leur utilisation. La prévention est aujourd'hui dans les priorités politiques environnementales de gestion en considérant que « le meilleur déchet est celui qu'on ne produit pas ». La production totale de déchets par les ménages peut et doit encore diminuer et il apparaît que les déchets d'activités économiques, et notamment les déchets du BTP, restent en croissance sur les dernières années.

Ce programme vise la mise en œuvre d'une transition vers le modèle d'économie circulaire. La feuille de route comprend plusieurs mesures, notamment l'allongement de la durée de vie des produits, leur réparabilité, l'éco-conception et la mise en place de systèmes de consigne.

Le programme prévoit ainsi pour 2020 une nouvelle diminution de 7 % de la production de Déchets Ménagers et Assimilés (DMA, c'est-à-dire l'ensemble des déchets collectés par les collectivités territoriales) par habitant par rapport au niveau de 2010, et au minimum une stabilisation de la production de déchets issus des activités économiques (DAE) et du BTP. Il aborde l'ensemble des leviers d'action associés à la prévention en utilisant des instruments retenus divers et équilibrés dans l'objectif de garantir une efficacité maximale. La déclinaison concrète des premières actions a commencé dès 2014, avec en particulier la mise en place de chantiers notamment sur les thématiques prioritaires que constituent la durée de vie des produits, la consigne, et l'éco-modulation des barèmes de contributions dans le cadre des filières de gestion des déchets dites à « responsabilité élargie du producteur ».

Fin 2015, la France a accueilli et présidé la Conférence des Parties de la Convention-Cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques (COP 21). Cette conférence a abouti à un nouvel accord international sur le climat, applicable à tous les pays, qui entrera en vigueur en 2020. Le but est que tous les pays, dont les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre – pays développés comme pays en développement – soient engagés pour la première fois par un accord universel contraignant sur le climat afin de maintenir le réchauffement mondial en deçà de 2 °C.

Ces différentes contributions ont été le fruit d'une mobilisation mondiale et ont stimulé le débat national autour de l'enjeu climatique, tout cela dans le but d'enclencher de façon pérenne

la transition vers des modèles de développement beaucoup plus faiblement émetteurs de gaz à effet de serre.

Deux points sont principalement mis en avant :

- le développement et l'utilisation « d'économies vertes » entraînant la nécessité d'une gestion durable des forêts, l'utilisation d'énergies renouvelables et la diminution de l'extraction de matières fossiles ;
- la planification pour une meilleure adaptation aux impacts climatiques, le lancement d'actions préventives et le développement de nouvelles filières.

Cette note s'inscrit dans le volet « utilisation d'économies vertes » puisqu'elle démontre la possibilité d'utiliser des co-produits en substitution de matières premières dans le matériau béton.

## 3. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

### 3.1. Introduction

Aujourd'hui, les déchets sont classés selon leur dangerosité liée à leur origine (déchets ménagers, déchets industriels) ou à leur nature :

- les **déchets inertes** sont des déchets stables dans le temps (exemple du verre et du béton) ;
- les **déchets non inertes non dangereux** sont les déchets qui ne sont ni toxiques, ni dangereux, mais qui peuvent se décomposer, brûler, fermenter ou encore rouiller ;
- les **déchets dangereux** sont les déchets contenant des éléments nocifs ou toxiques, susceptibles de générer des risques ou des nuisances particulières en raison de leur caractère dangereux (huiles, colles, acides...).

L'utilisation d'une substance ou d'un objet ayant le statut de déchet est réglementée au cas par cas par les autorités compétentes nationales ou régionales (DRIRE, préfecture) au moyen de circulaires ou d'arrêtés spécifiques.

### 3.2. La Directive-cadre « déchet » 2008/98/CE

La Directive 2008/98/CE du 19/11/2008 définit comme déchet « toute substance dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Cette Directive est transposée en droit français par l'Ordonnance n° 2010-1579 datant du 17/12/2010.

La Directive distingue les opérations de traitement, de valorisation et de recyclage. On appelle :

- **traitement** : toute opération de valorisation ou d'élimination y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination ;
- **valorisation** : toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou l'ensemble de l'économie ;
- **recyclage** : toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins.





### 3.2.1. Notion de « co-produit » et de « sous-produit »

Il est nécessaire de définir ces deux notions afin de bien les distinguer :

- le « **co-produit** » est « une matière, intentionnelle et inévitable, créée au cours du même processus de fabrication et en même temps que le produit principal ». Il peut, dans certaines filières, être considéré comme un produit noble, disposant d'un marché et d'une cotation. Le produit fini principal et le co-produit « doivent tous les deux répondre à des spécifications de caractéristiques, et chacun est apte à être utilisé directement pour un usage particulier » ;
- le « **sous-produit** » est « un produit résidu non intentionnel et non prévisible pouvant être accidentel, qui apparaît durant la fabrication ou la distribution d'un produit fini ». Il peut être utilisé directement ou bien constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'un autre produit fini. Selon l'article L. 541-1-1 de l'Ordonnance n° 2010-1579, une substance ou un objet peut être considéré comme un sous-produit et non comme un déchet dès lors qu'il remplit l'ensemble des conditions suivantes :
  - son utilisation ultérieure est certaine,
  - il peut être utilisé directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes,
  - il est généré en faisant partie intégrante d'un processus de production,
  - son utilisation ultérieure est légale, c'est-à-dire qu'il répond à toutes les prescriptions pertinentes relatives au produit, à l'environnement et à la protection de la santé prévues pour l'utilisation spécifique et n'aura pas d'incidences globales nocives pour l'environnement ou la santé humaine.

À ce stade, un sous-produit peut envisager sa sortie du statut de déchet.

### 3.2.2. Sortie du statut de déchet

La notion de « fin du statut de déchet » est introduite dans la Directive 2008/98/CE. Elle spécifie que certains déchets peuvent sortir de leur statut lorsqu'ils sont valorisés ou recyclés et qu'ils répondent à des critères spécifiques à définir dans le respect des conditions suivantes :

- la substance ou l'objet est couramment utilisé à des fins spécifiques ;
- il existe un marché ou une demande pour une telle substance ou un tel objet ;
- la substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits ;
- l'utilisation de la substance ou de l'objet n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine.

Un dossier type de sortie du statut de déchet est présenté dans le Décret n° 2012-602 et s'adresse aux exploitants d'installations ICPE.

La sortie du statut de déchet entraîne, d'un point de vue réglementaire, plusieurs avantages pour le producteur (diminution des contrôles de la matière, simple service de transport, moins de frais d'élimination ou de stockage de la matière...) mais également pour l'utilisateur (variabilité limitée de la matière, libre utilisation, conformité à la réglementation REACH).

## 3.3. Réglementation liée aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

### 3.3.1. Généralités

Le Code de l'Environnement définit les ICPE comme « les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique ».

Profondément réformé par la loi du 19 juillet 1976, le droit des ICPE est actuellement régi par le livre V du Code de l'Environnement. Le législateur a confié au ministre chargé des installations classées le soin de définir par décret la liste des activités classables, appelée « Nomenclature des ICPE », régulièrement mise à jour.

Par définition, les autres types d'installations, où n'est exercée aucune des activités répertoriées dans la nomenclature (ainsi que celles où certaines activités listées sont exercées, mais avec des caractéristiques en deçà des seuils de déclaration), parfois désignées sous l'appellation « installations non classées », sont exclues du champ de cette législation.

### 3.3.2. Classification

On distingue plusieurs types d'ICPE. L'installation peut être soumise à :

- déclaration (D) ;
- déclaration avec contrôle périodique (DC) ;
- enregistrement (E) ;
- autorisation (A).

### 3.3.3. Rubrique affiliée aux usines de préfabrication

Aujourd'hui, un grand nombre d'usines de préfabrication sont classées ICPE sous la rubrique 2522 « Installation de fabrication de produits en béton par procédé mécanique ». En fonction de la puissance installée du matériel de malaxage et de vibration, l'installation est soumise soit à déclaration, soit à enregistrement :

- les installations dont la puissance est comprise entre 40 et 400 kW sont soumises à déclaration. Les prescriptions sont présentes dans l'Arrêté du 26/11/2011 ;
- les installations dont la puissance est supérieure à 400 kW sont soumises à enregistrement. Les prescriptions sont présentes dans l'Arrêté du 08/08/2011.

Ces activités peuvent également donner lieu à classement sous la rubrique 2515 (activités de broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, nettoyage, tamisage, mélange de pierres, cailloux, minerais et autres produits minéraux naturels ou artificiels ou de déchets non dangereux inertes).



### 3.3.4. Les activités de réception de matières (transit, regroupement ou tri, collecte)

Au regard de la Circulaire du 24/12/2010, lorsque les exploitants d'installations industrielles reçoivent des déchets d'autres acteurs économiques, l'activité de réception des déchets doit être classée sous les rubriques 2713 à 2718 en fonction des caractéristiques des déchets pris en charge. En parallèle, d'autres rubriques peuvent être visées pour une future utilisation dans les bétons (rubriques 1532, 2516 et 2517).

Le régime d'assujettissement à ces rubriques est déterminé, de manière générale, en fonction de la quantité de déchets susceptible d'être présente sur le site ou bien de la capacité de stockage.

Le tableau 1 précise, en fonction du type de déchet, le régime d'assujettissement des installations ayant une activité de réception.

### 3.3.5. Les activités de traitement de déchets (hors opération d'incinération, d'élimination)

Elles peuvent, dans certains cas, être prises en compte par une rubrique spécifique de la nomenclature. Deux cas de figure sont à distinguer.

#### 3.3.5.1. Le déchet peut être utilisé en tant que tel sans traitement complémentaire

En principe, l'incorporation ou l'intégration d'un déchet/matière dans le procédé principal de fabrication d'une installation, qu'elle soit classée ou non, ne nécessite pas un classement au titre d'une activité de traitement de déchets, dans la mesure où elle n'est pas à l'origine d'impact sur l'environnement supplémentaire, en particulier, si :

- le déchet/matière incorporé présente une dangerosité comparable ou moindre à celle de la principale matière première à laquelle il se substitue ;
- le bilan environnemental et énergétique est favorable à la solution de valorisation.

#### 3.3.5.2. Le déchet nécessite un traitement complémentaire préalable (une préparation)

Cette opération peut être effectuée par le site source et/ou le site utilisateur :

- il s'agit pour le site source de préparer le déchet qu'il génère, en vue de son utilisation dans un autre secteur industriel (par exemple un broyage pour atteindre une granulométrie de matière indiquée dans le cahier des

Tableau 1 – Extrait de la nomenclature des ICPE pour le stockage et les activités de transit, regroupement et tri

Rubrique/Déchets visés	Critère de classement	Seuil	Régime
N° 1532/Déchets de biomasse (n° 2910-A)	Volume susceptible d'être stocké	$V > 50\,000\text{ m}^3$	A
		$20\,000\text{ m}^3 < V \leq 50\,000\text{ m}^3$	E
		$1\,000\text{ m}^3 < V \leq 20\,000\text{ m}^3$	D
N° 2516/Déchets minéraux inertes non dangereux pulvérulents non ensachés	Capacité de transit	$C > 25\,000\text{ m}^3$	E
		$5\,000\text{ m}^3 < C \leq 25\,000\text{ m}^3$	D
N° 2517/Déchets minéraux inertes non dangereux (non pulvérulents)	Superficie de l'aire de transit Capacité de stockage	$S > 30\,000\text{ m}^2$	A
		$10\,000\text{ m}^2 < S \leq 30\,000\text{ m}^2$	E
		$5\,000\text{ m}^2 < S \leq 10\,000\text{ m}^2$	D
N° 2713/Installation de transit, regroupement ou tri de métaux ou de déchets de métaux non dangereux, d'alliage de métaux ou de déchets d'alliage de métaux non dangereux, à l'exclusion des activités et installations visées aux rubriques 2710, 2711 et 2712	Superficie de l'aire de transit	$S \geq 1\,000\text{ m}^2$	A
		$100\text{ m}^2 \leq S < 1\,000\text{ m}^2$	D
N° 2714/Déchets de bois, plastiques, papiers... non dangereux (sauf déchets de biomasse n° 1532 et déchets verts n° 2716)	Volume susceptible d'être présent	$V \geq 1\,000\text{ m}^3$	A
		$100\text{ m}^3 \leq V < 1\,000\text{ m}^3$	D
N° 2715/Installation de transit, regroupement ou tri de déchets non dangereux de verre à l'exclusion des installations visées à la rubrique 2710	Volume susceptible d'être présent	$V \geq 250\text{ m}^3$	D
N° 2716/Déchets non dangereux non inertes	Volume susceptible d'être présent	$V \geq 1\,000\text{ m}^3$	A
		$100\text{ m}^3 \leq V < 1\,000\text{ m}^3$	DC
N° 2717/Déchets dangereux	Quantité de substances ou préparations dangereuses dans les déchets	Voir rubrique emploi ou stockage	A
N° 2718/Déchets dangereux	Quantité susceptible d'être présente	$Q \geq 1\text{ t}$	A
		$Q < 1\text{ t}$	DC

charges du site utilisateur). En principe, cette préparation est considérée comme une activité de traitement de déchets à classer en tant que telle. Cependant, la prise en charge de cette activité par le site source le responsabilise, le conduit à donner de la valeur à son déchet dont il connaît bien l'origine et évite dans une certaine mesure son transport dans une installation de traitement spécifique. Fort de cet argumentaire, l'activité concernée pourrait ne pas être considérée comme une véritable activité spécifique de traitement de déchets mais comme le prolongement du procédé de fabrication du site source, dans la mesure où elle peut être considérée comme une pratique industrielle courante. La validation de ce point incombe aux autorités compétentes (DREAL) ;

- en acceptant de réaliser le prétraitement sur son site, le site utilisateur donne de la valeur au déchet qu'il reçoit.  
Il peut soit :
  - d'ores et déjà disposer des équipements de préparation nécessaires dans le cas où ces derniers participent au déroulement de son procédé de fabrication. Son activité devrait être considérée comme une pratique industrielle courante dans la mesure où le déchet est comparable aux matières premières entrantes habituellement et où cette pratique ne génère pas d'impact supplémentaire sur l'environnement,
  - devoir s'équiper de manière spécifique. Il convient alors d'envisager l'activité de traitement de déchets et son assujettissement à la nomenclature des ICPE,
  - l'opération est réalisée par un site intermédiaire. Les activités pratiquées sont, la plupart du temps, des activités spécifiques de traitement de déchets à classer en tant que telles au titre de la nomenclature des ICPE. Toutefois, un bilan environnemental et énergétique afférent à l'opération de valorisation, dressé par comparaison avec une situation pour laquelle les déchets ne sont pas valorisés et

les matières premières sont consommées, peut favoriser la mise en œuvre de cette activité intermédiaire.

Par ailleurs, dans le cas où un changement majeur doit avoir lieu afin de valoriser la matière, il peut être intéressant de faire appel à un professionnel de la gestion des déchets pour faciliter le transport ainsi que le regroupement sur une même plateforme de l'ensemble de la matière de même nature provenant de plusieurs sites source.

Le tableau ci-après précise, pour les principales activités de traitement, les seuils de classement.

### 3.3.6. Transport des déchets

L'activité de collecte ou de transport de déchets (Article R 541-50 du Code de l'Environnement) est soumise à déclaration préalable auprès du Préfet du département où se trouve le siège social de l'entreprise ou, à défaut, le domicile du déclarant :

- lorsque la quantité collectée ou transportée est supérieure à 0,1 tonne par chargement de déchets dangereux ;
- ou lorsque la quantité collectée ou transportée est supérieure à 0,5 tonne par chargement de déchets non dangereux.

Ne sont pas soumises à cette obligation de déclaration les entreprises qui notamment :

- transportent les déchets qu'elles produisent et sont réglementées au titre de la législation des ICPE ;
- exploitent une ICPE soumise à autorisation, à enregistrement ou à déclaration et relevant de la rubrique 2710 de la nomenclature des installations classées pour la collecte de déchets.

**Tableau 2 – Extrait de la nomenclature des ICPE pour les principales activités de traitement**

Déchets visés/Activité	Rubrique	Critère de classement	Seuil	Régime
Déchets inertes non dangereux/Broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, nettoyage, tamisage, mélange	2515 1. fonctionnement d'une durée > à 6 mois	Puissance installée	$P > 550 \text{ kW}$	A
			$200 \text{ kW} < P \leq 550 \text{ kW}$	E
	$40 \text{ kW} < P \leq 200 \text{ kW}$		D	
	2515 2. fonctionnement sur période unique ≤ à 6 mois		$P > 350 \text{ kW}$	E
$40 \text{ kW} < P \leq 350 \text{ kW}$		D		
Déchets dangereux/ Traitement thermique	2770	Quantité de substances ou préparations dangereuses dans les déchets	Voir rubrique emploi ou stockage	A
Déchets non dangereux/ Traitement thermique	2771	/	Pas de seuil	A
Déchets dangereux/ Traitement autre que thermique	2790	Quantité de substances ou préparations dangereuses dans les déchets	Voir rubrique emploi ou stockage	A
Déchets non dangereux/ Traitement autre que thermique	2791	Quantité de déchets traités	$Q \geq 10 \text{ t/j}$	A
			$Q < 10 \text{ t/j}$	DC



### 3.3.7. Traçabilité des déchets/matières

De manière à assurer la traçabilité des déchets/matières, il convient *a minima* pour le site source de les céder au site utilisateur par contrat.

Par ailleurs, s'agissant de déchets, un registre chronologique de leur production, de leur expédition, de leur réception et de leur valorisation est à tenir à jour et à conserver pendant au moins trois ans, aussi bien par le site source que par le site utilisateur (cf. Article R. 541-43 du Code de l'Environnement). En parallèle, le site source doit pouvoir justifier auprès des autorités que ses déchets sont réceptionnés par des sites « autorisés » et ce malgré le respect des exigences de la rubrique liée à l'activité de réception des matières.

### 3.3.8. Circulaire du 17/03/03 relative à la nomenclature des activités liées aux déchets pour les ICPE

L'activité de valorisation de déchets dans un processus de production déjà soumis à déclaration (ou enregistrement ou autorisation) ne relève pas des rubriques spécifiques concernant les activités de traitement de déchets.

Cependant, lorsque cette valorisation est susceptible d'entraîner un changement notable dans les éléments déclarés à la préfecture (modification de façon significative de l'impact de l'activité sur l'environnement ou induction de risques supplémentaires), l'exploitant se doit de la notifier au préfet, qui prendra les mesures en conséquence, avec généralement la rédaction d'un arrêté pour les prescriptions complémentaires. Il est également précisé que, dans certains cas, la valorisation de déchets ne constitue pas de changement notable par rapport à la situation actuelle (exemple de l'utilisation de cendres volantes, papier usagé, etc.).

En tout état de cause, l'utilisateur d'un déchet devra prouver que sa valorisation n'a pas d'effet nocif pour l'environnement et la santé humaine.

## 4. CONTEXTE NORMATIF POUR LES BÉTONS

### 4.1. Cadre Général

Les exigences normatives concernant le béton et ses constituants dépendent du type de produit confectionné. Les constituants à introduire dans le béton doivent être conformes aux exigences normatives qui leurs sont associées. Ces exigences peuvent différer suivant les normes considérées. Par ailleurs, sachant que les constituants peuvent influencer sur les propriétés du béton, l'élément en béton devra également satisfaire, en termes de performance, aux exigences qui lui sont relatives.

### 4.2. Produits préfabriqués structuraux

Pour les produits préfabriqués de structure, les normes de produits renvoient à la norme NF EN 13369 « Règles communes pour les produits préfabriqués en béton » qui elle-même reprend, lorsque nécessaire, des exigences de la norme NF EN 206/CN pour ce qui concerne le matériau béton.

Le nouveau constituant considéré ne peut être utilisé que si son aptitude à l'emploi est établie par une norme européenne, un agrément technique européen, une norme nationale ou des dispositions en vigueur là où le béton est utilisé, faisant spécifiquement référence à l'utilisation du constituant en béton.

En France, les constituants autorisés pour une incorporation dans du béton conforme à la norme NF EN 206/CN sont le ciment, les granulats, les fillers, l'eau de gâchage, les adjuvants, les additions minérales (types I et II) les ajouts et les fibres dont l'aptitude générale à l'emploi est établie.

### 4.3. Produits en béton relevant d'une norme spécifique

Bon nombre de produits préfabriqués relèvent d'une norme produit dite « autoportante ».

À la différence de la norme NF EN 206/CN, les exigences ne portent pas sur la composition du béton mais sur les caractéristiques du produit fini (exigences de performance) : dimensions, absorption à l'eau, résistance au gel, à l'abrasion, à la glissance, performance au feu...

### 4.4. Utilisation de matières premières secondaires dans les produits en béton

Qu'il s'agisse de produits, de sous-produits ou de déchets, plusieurs textes en vigueur sont applicables de manière systématique aux produits en béton.

La démarche est synthétisée ci-après (figure 1) :

Le règlement européen n° 305/2011 datant du 9 mars 2011, dit « Règlement Produits de Construction » (RPC) définit les conditions d'apposition du marquage CE, nécessaire à la libre circulation des produits. Une de ces conditions (Exigence Fondamentale 3) impose aux ouvrages le respect de l'environnement, de l'hygiène et de la santé de leurs utilisateurs, notamment par rapport aux émissions de substances dangereuses.

Quels que soient les constituants utilisés pour la fabrication d'un produit de construction, ce dernier devra satisfaire aux exigences concernant ses éventuelles émissions dans les sols et les eaux de surface ou souterraines, ses émissions dans l'air intérieur ainsi que l'exposition des personnes aux radiations. Pour préciser les dispositions d'application du RPC et permettre l'élaboration des normes harmonisées, des travaux sont actuellement en cours au sein de la commission de normalisation européenne CEN/TC 351 et des instances européennes pour définir une méthodologie d'évaluation, des essais pertinents ainsi que d'éventuelles valeurs seuils pour la déclaration des émissions de substances dangereuses.

L'introduction de matériaux alternatifs dans les bétons conformes à la norme NF EN 206/CN impose à ces derniers soit de répondre aux normes constituants traditionnels, soit d'établir leur aptitude à l'emploi par un agrément technique européen ou par des dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation du béton.

Pour les produits en béton à norme autoportante (exemple des produits de voirie), la réalisation d'essais de performance mécanique, sanitaire et autres si nécessaire (comme l'acoustique) permet de démontrer l'aptitude à l'emploi des matériaux alternatifs.



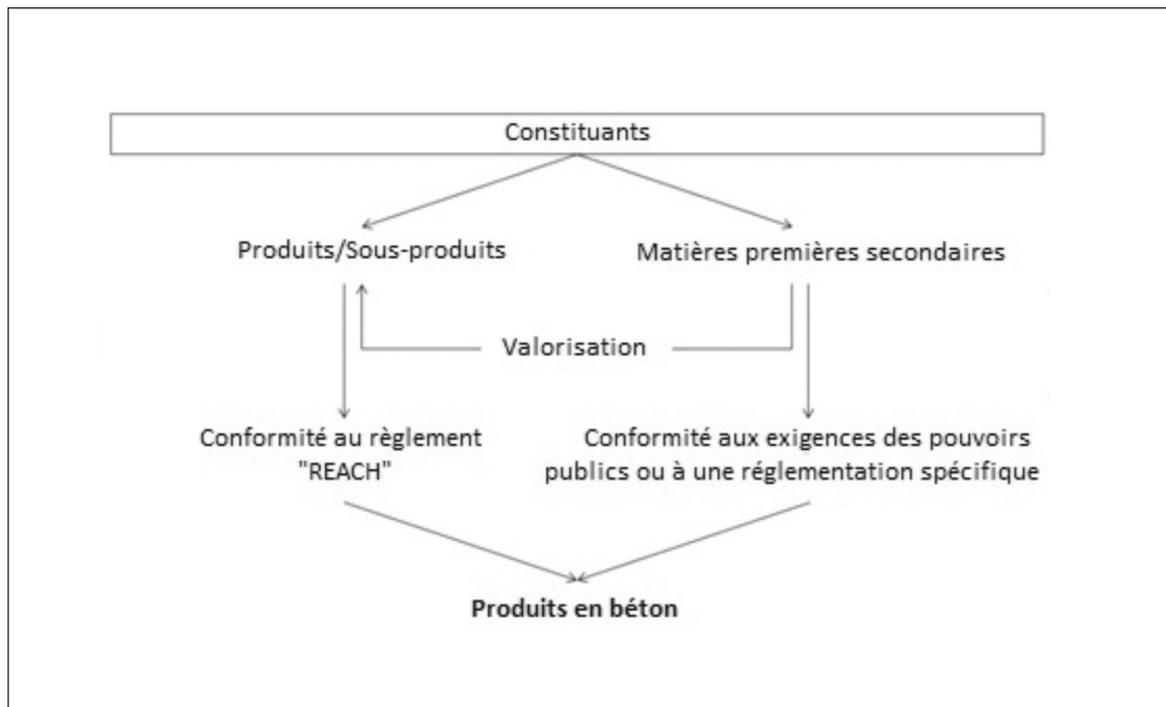


Figure 1 – Démarche générale dans le cadre réglementaire pour l'utilisation de constituants dans un produit en béton

Globalement, la valorisation de matières premières secondaires dans les bétons reste à l'heure actuelle compliquée du fait d'un corpus normatif conçu historiquement pour des matériaux et constituants traditionnels.

## 5. LE MATÉRIAU BÉTON

### 5.1. Données générales sur le béton

Le béton, matériau porteur d'innovations, est incontestablement un matériau de construction majeur pour demain. Il n'est pas constitué d'éléments rares, mais essentiellement d'oxydes de calcium, silice, aluminates et fer présents en très grande quantité dans l'écorce terrestre. Réalisable presque partout avec des moyens relativement simples, le béton est un matériau à fortes retombées sociétales.

Le béton est principalement constitué de matières premières minérales :

- le **ciment** : la fabrication du ciment passe par plusieurs étapes. Tout d'abord, le clinker est issu de la calcination d'un mélange de calcaire (80 %) et d'argile (20 %). Cette cuisson est émettrice de CO<sub>2</sub> d'une part par la nécessité de monter à des températures avoisinant 1 450 °C et, d'autre part, par la réaction de décarbonatation des carbonates de calcium CaCO<sub>3</sub>. Le clinker est ensuite broyé et additivé (gypse, additions minérales...) pour donner le ciment ;
- les **granulats** : il s'agit de matières inertes généralement issues de roches naturelles soit meubles (gravières, sablières, ballastières) soit massives (carrières). Ils sont

constitués de grains de taille diverses (gravillons, sables) et sont généralement composés d'un mélange de plusieurs roches de natures et d'espèces différentes ;

- l'**eau** : elle est nécessaire à l'hydratation du ciment et permet de mettre en place le béton ;
- les **additions minérales** : il s'agit de roches micronisées (additions calcaires, additions siliceuses) le cas échéant traitées thermiquement (métakaolins) ou de co-produits industriels normalisés (fumées de silice, laitiers de haut fourneau, cendres volantes de centrale thermique). Elles peuvent être de type I (considérées comme inerte dans le béton, soit les additions calcaires et siliceuses) ou de type II dès lors qu'elles possèdent un comportement hydraulique ou pouzzolanique (cendres volantes de centrale thermique, fumées de silice, laitiers de haut fourneau, métakaolins) ;
- les **adjuvants** : ajoutés en faible quantité, ils permettent de modifier les propriétés du béton à l'état frais et/ou durci.

Les principales normes des constituants sont présentées dans le tableau 3 ci-après.

### 5.2. Le béton sur le territoire français

En France, les producteurs de béton, regroupant les producteurs de béton prêt à l'emploi (figure 2) et les préfabricants (figure 3), sont présents sur l'ensemble du territoire.

Ils s'approvisionnent majoritairement à proximité de leurs sites de production (carrières – figure 4 et cimenteries – figure 5) par voies routières ou fluviales afin de limiter les coûts dus au transport. Les sites d'approvisionnement sont également présents sur l'ensemble du territoire français.



### 5.3. Le béton : un matériau en constante évolution

Afin de répondre au besoin du marché, que ce soit pour le développement de nouvelles solutions techniques ou pour la valorisation de matières premières issues d'autres secteurs industriels, le matériau béton a évolué et continue d'évoluer dans sa conception.

Les principales évolutions du matériau ces trente dernières années sont les suivantes :

- utilisation d'**additifs** permettant de modifier les propriétés à l'état frais ou durci du matériau (NF EN 934-2) ;
- utilisation d'**additions minérales** complémentaires comme les additions calcaires (NF P 18-508) ou siliceuses (NF P 18-509) ;
- utilisation de **fibres métalliques** comme renfort structurel dans les bétons (en remplacement des armatures aciers pour certaines applications), avec en particulier le développement des bétons à ultra hautes performances (NF 14889-1) ;
- utilisation des **fibres polymères** pour l'amélioration du

comportement aux chocs, des phénomènes de retrait et de la résistance au feu (NF EN 14889-2).

Les évolutions concernant le béton portent aujourd'hui à la fois sur le matériau, les process industriels et les systèmes constructifs.

Dans le domaine des matériaux, si les bétons à hautes performances et les bétons auto-plaçants sont toujours très utilisés, on assiste à une utilisation croissante des bétons légers. Ces derniers sont utilisés pour améliorer les performances thermiques des produits et donc des ouvrages. Ils permettent également d'alléger les structures et donc d'optimiser les fondations.

On ne compte plus aujourd'hui les ouvrages en bâtiment ou génie civil dans lesquels les Bétons Fibrés à Ultra Hautes Performances (BFUP) sont utilisés pour la structure ou bien l'architecture. Parmi les réalisations particulièrement marquantes, citons le Mucem, le stade Jean Bouin, la fondation Louis Vuitton, le mémorial de Notre Dame de Lorette, le multiplex cinématographique de Rodez, la réparation du tablier des viaducs de Chillon, la réparation du pont d'Illzach...

L'année 2016 marque une étape importante pour les BFUP.

Tableau 3 – Principales normes des constituants utilisés dans les bétons

Constituants	Normes	Domaine
Ciments	NF EN 197-1	Ciments courants
	NF EN 197-4	Ciments de haut fourneau et à faible résistance à court terme
	NF EN 14647	Ciment d'aluminates de calcium
	NF EN 15743	Ciment sursulfaté
	NF P 15-314	Ciment prompt naturel
	NF P 15-302	Ciments à usage tropical
	NF P 15-317	Ciments pour travaux à la mer (PM)
	NF P 15-318	Ciments à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint (CP)
	NF P 15-319	Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (ES)
Granulats	NF EN 12620 NF EN 13055-1 NF P 18-545	Granulats pour béton hydraulique Granulats légers Granulats
Additions	NF EN 450-1 NF EN 13263-1 NF EN 15167-1 NF P 18-508 NF P 18-509 NF P 18-513	Cendres volantes Fumées de silice Laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau Additions calcaires Additions siliceuses Métakaolin
Eau	NF EN 1008	Eau de gâchage
Adjuvants	NF EN 934-2	Adjuvants pour béton
Pigments	NF EN 12878	Pigments
Produits de cure	NF P 18-370	Adjuvants

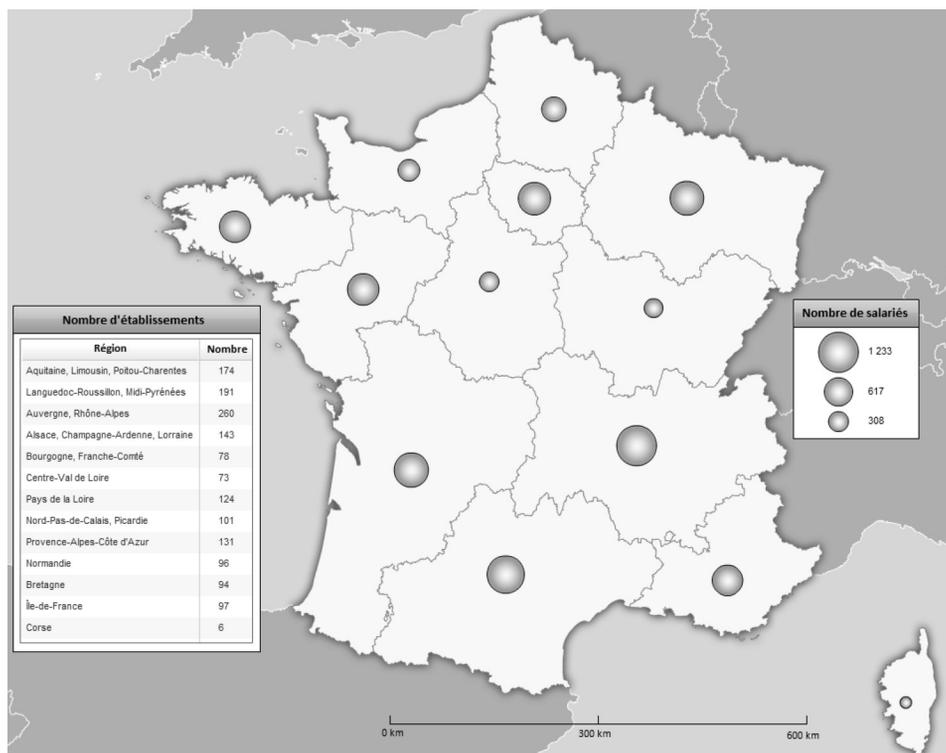


Figure 2 – Répartition des sites de production de béton prêt à l'emploi en France [Indcim]

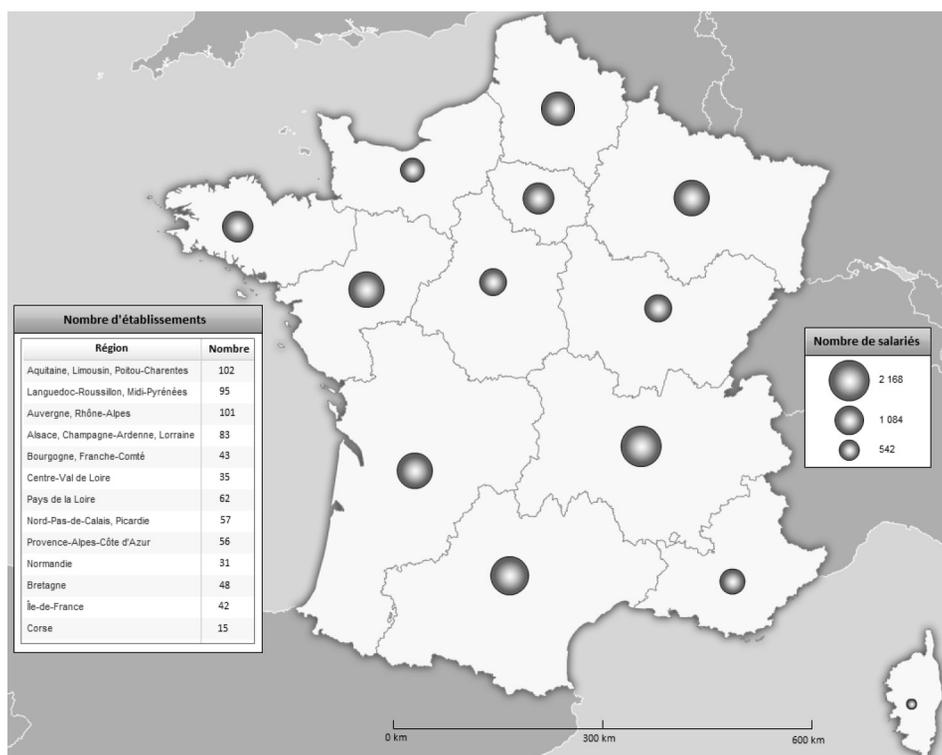


Figure 3 – Répartition des sites de production de produits préfabriqués en béton en France [Indcim]

Avec la parution des trois normes (matériau NF P 18-470, dimensionnement NF P 18-710, exécution [rédaction en cours]), c'est une nouvelle ère qui démarre pour cette famille de bétons aux propriétés tout à fait exceptionnelles. La nouvelle norme française de produit sur les BFUP (NF P 18-470) couvre la gamme 130 à 250 MPa en résistance caractéristique à la compression. Elle définit les caractéristiques et les

performances à atteindre ainsi que les exigences associées à leur production et au contrôle de leur conformité. Outre leur résistance mécanique à la compression particulièrement élevée, les BFUP se distinguent des bétons traditionnels de structure couverts par la norme NF EN 206/CN par leur non fragilité. L'utilisation de fibres et d'une matrice cimentaire très compacte leur confèrent une résistance en traction directe



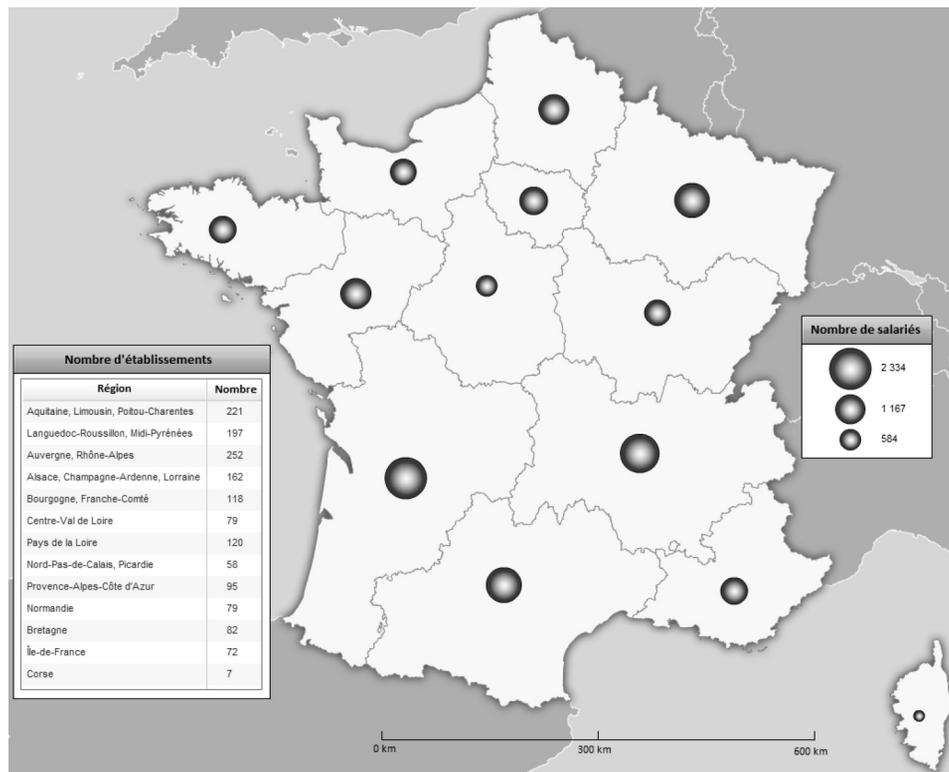


Figure 4 – Répartition des carrières de granulats sur le territoire français [Indcim]

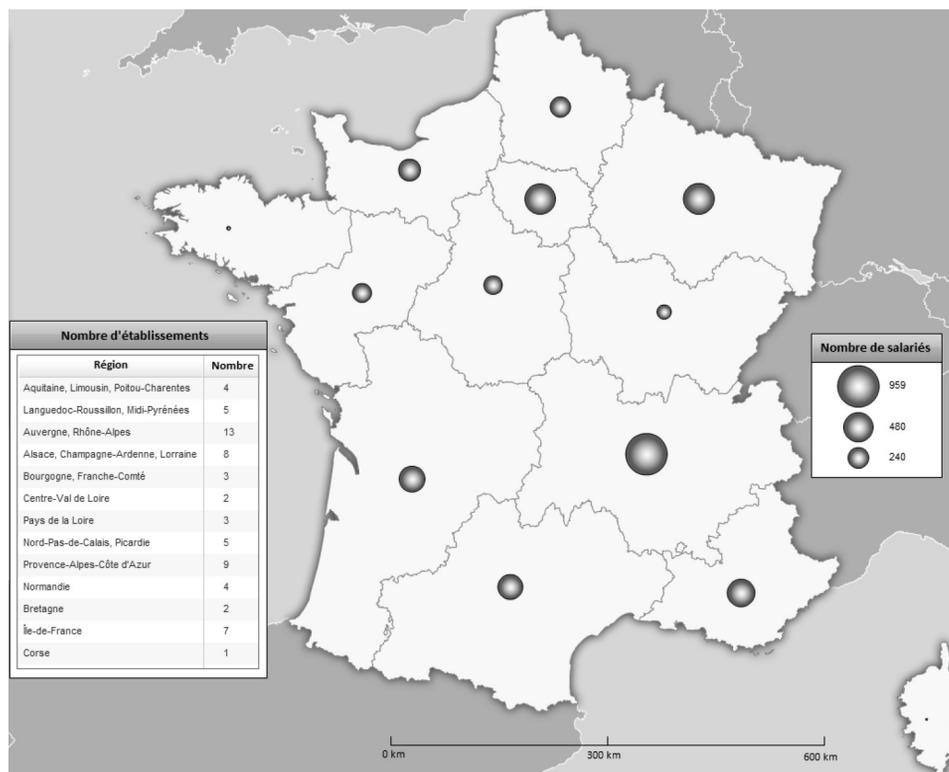


Figure 5 – Répartition des cimenteries sur le territoire français [Indcim]

élevée (plus de 6 MPa en résistance caractéristique) et un caractère écouissant pour les BFUP les plus renforcés. Aujourd'hui, les efforts en termes de R & D sont portés pour développer de nouveaux bétons à plus faible impact environnemental :

- recours aux additions minérales en plus grande quantité et en remplacement du clinker à l'origine des émissions de CO<sub>2</sub> ;
- utilisation de constituants agro-sourcés en tant que granulats ou fibres.





Les process industriels, qui intègrent aujourd'hui pleinement les évolutions liées au matériau et l'interface béton/machine, font l'objet d'encore davantage d'attention. Des progrès sont constatés à toutes les étapes de la fabrication des produits pré-fabriqués : depuis la maîtrise des caractéristiques des constituants pour davantage de régularité au niveau du matériau, le malaxage du béton, son transport, sa mise en place dans les moules, la vibration du béton et d'éventuels traitements thermiques, jusqu'au démoulage, cure et conditionnement pour le transport.

À titre d'exemple, la réflexion menée au CERIB autour des moyens de vibration sans contact a ainsi permis de développer et de breveter un procédé de vibration par onde acoustique particulièrement innovant (Vibritys). L'énergie de vibration classiquement apportée au moule par les chocs solidiens est transmise par l'air.

## 6. UTILISATION DE MATIÈRES PREMIÈRES SECONDAIRES DANS LES BÉTONS

### 6.1. Introduction

L'utilisation des matières premières secondaires vient en général en substitution ou en complément d'une des grandes familles de matières premières primaires. On distingue globalement deux types de substitution : celle visant à remplacer tout ou en partie des granulats et celle visant à remplacer une partie du liant (ciment et/ou addition).

Le niveau de maturation de substitution des matières primaires par les co-produits est différent selon les produits concernés. Les indicateurs pouvant être utilisés pour évaluer ce niveau de maturation sont les suivants :

- la disponibilité de la ressource secondaire en France ;
- l'organisation de la filière d'approvisionnement ;
- le contexte normatif et réglementaire ;
- l'utilisation industrielle.

Le tableau 4 ci-après, utilisé par la suite, permet d'évaluer de façon plus qualitative le niveau de maturité par rapport aux différents indicateurs et d'identifier les points bloquant pour la valorisation du constituant secondaire considéré.

### 6.2. Matières premières secondaires en substitution ou en complément des granulats d'origine minérale

La substitution des granulats d'origine minérale peut être réalisée avec des ressources de provenances très variées. On peut potentiellement les classer de la façon suivante :

- les granulats végétaux ou agro-sourcés ;
- les granulats provenant des produits de déconstruction ;
- les granulats issus d'autres secteurs industriels ;
- les granulats provenant d'autres sources.

#### 6.2.1. Les granulats végétaux ou agro-sourcés

Source CERIB : *Étude collective – Brevet AGROLITYS*

Le chanvre cultivé, aussi appelé chanvre industriel ou chanvre à fibres, est une plante annuelle de la famille des Cannabinaceae, genre Cannabis et espèce Sativa. Il est cultivé pour toutes ses parties : sa fibre qui présente une grande résistance mécanique, son bois microporeux appelé chènevotte et sa graine oléagineuse appelée chènevis.

Le chanvre est une culture de printemps et une excellente tête de rotation. Par ailleurs, il ne nécessite pas l'utilisation de produits phytosanitaires. Il est semé entre début avril et début mai, et présente une croissance très rapide lui permettant d'atteindre jusqu'à 3 m de hauteur avant la récolte. La récolte se fait à maturité de la plante. La paille seule est récoltée fin août (cultures non battues), mais il est également possible de récolter simultanément la graine et la paille (cultures battues) en septembre. Lorsque la paille est récoltée, elle subit une phase d'andainage (alignement du fourrage) permettant de réduire le temps de rouissage, le séchage et le pressage pour la mise en balle.

Après récolte, deux produits sont valorisables : le chènevis (graine) et la tige (paille).

La tige elle-même permet d'obtenir plusieurs produits après transformation. En effet, cette dernière possède une paroi épaisse en périphérie qui est composée des fibres de chanvre autour du cœur qui constitue la chènevotte (granulats ou bois de chanvre). La chènevotte est la partie qui est valorisée dans le béton.

Afin de séparer les constituants de la tige, la paille doit subir une opération de défibrage, appelée 1<sup>re</sup> transformation, réalisée classiquement en trois étapes successives : le décortilage, la séparation et l'affinage. Les balles de paille sont acheminées vers l'unité de transformation où la fibre et la chènevotte sont séparées mécaniquement, puis la fibre est « peignée » afin d'être affinée. Tout au long du processus, on récupère de la poudre de chanvre, co-produit du défibrage. Des déchets, comme des cailloux ou du bois, peuvent également être récupérés à l'issue du processus. Cette opération peut se faire de manière artisanale ou industrielle.

L'Europe fait partie des grands bassins de production de fibres végétales et se distingue pour sa production de chanvre et de lin (textile et oléagineux). Par ailleurs, la France est le premier pays européen producteur de plantes à fibres avec 84 % des surfaces. Elle est suivie ensuite par la Belgique et les Pays-Bas. La quantité de granulats de chanvre disponible en France est de 27 742 t (252 000 m<sup>3</sup>) pour 7 700 ha (données 2014).

Tableau 4 – Éléments d'analyse pour chaque matière première secondaire considérée

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non





Figure 6 – Culture de chanvre



Figure 7 – Chênevotte



Figure 8 – Fleur de lin (gauche) ; anas de lin (droite)

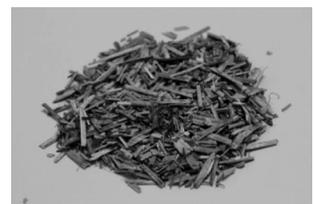


Figure 9 – Miscanthus

Les travaux menés au CERIB ont permis de valider l'intérêt de l'utilisation des granulats de chanvre dans la fabrication des blocs de construction.

En Belgique, ce type de bloc est déjà commercialisé pour des applications structurelles.

D'autres co-produits agro-sourcés (le lin et le miscanthus notamment) pourraient également être utilisés comme matière première secondaire dans le béton (en cours de caractérisation au CERIB).

Tableau 5 – Éléments d'analyse pour les granulats agro-sourcés

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X		X			X	X	

Tableau 6 – Éléments d'analyse pour le lin et le miscanthus

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X (lin)	X (miscanthus)	X		X	X				X



## 6.2.2. Les granulats provenant du recyclage des produits de déconstruction

### 6.2.2.1. Granulats de béton cellulaire

Source : Brevet CERIB – NEOVITYS

Les granulats de béton cellulaire peuvent venir en substitution des granulats légers de type pouzzolane, argile et schiste expansés, bille de polystyrène, pierre ponce..., pour la confection de béton léger (masse volumique inférieure à 2 000 kg/m<sup>3</sup>).

Le gisement de granulats de béton cellulaire peut provenir de deux sources :

- les rebuts de production (produits défectueux ou chutes de découpe) ;
- la récupération des blocs de béton cellulaire sur chantier pendant la déconstruction.

Pour le premier cas, il existe quatre sites de production en France basées à Valenciennes (59), à Saint-Savin (38), Montereau-Fault-Yonne (77) et Mios (33).

### 6.2.2.2. Granulats de béton de déconstruction

Source CERIB : Étude collective (Projet National RECYBETON : <http://www.pnrecybeton.fr/>) – Prestations de service

À l'heure actuelle, la France produit et consomme environ 349 millions de tonnes de granulats chaque année (statistiques de l'UNICEM, 42014), dont plus de la moitié est utilisée pour la chaussée et les remblais. Le reste est employé pour le bâtiment et les ouvrages en béton.

Selon les enquêtes statistiques menées par l'UNICEM (Union Nationale des Industries de Carrières Et Matériaux de construction), les granulats recyclés sont issus aux deux tiers des matériaux de démolition et le restant de la production artificielle des granulats, tels que les laitiers de sidérurgie, les schistes houillers ou encore les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères.

De nombreuses installations spécialisées dans le traitement des déchets de démolition proposent des granulats recyclés utilisables dans les bétons. Il faut cependant noter que les coûts de transport et d'élaboration limitent considérablement les possibilités d'emploi économique de ces granulats (sauf dans le cas où les distances de transport sont très réduites).

Ces granulats présentent en général des caractéristiques physico-chimiques (teneur en certains éléments tels que les sulfates et les sulfures provenant du plâtre), une teneur en matières organiques, ainsi qu'une porosité et une absorption d'eau plus élevées que celles des granulats naturels. Cela limite les possibilités d'emploi actuelles à une substitution très partielle. Il est impératif de s'assurer que l'approvisionnement est régulier et peu variable. Un contrat de fourniture

basé sur une Fiche Technique Produit (FTP) entre l'industriel et l'entreprise de recyclage est nécessaire.

Au niveau européen, la norme NF EN 12620 définit les règles d'utilisation des granulats pour béton. Un amendement à cette norme a été publié en 2008 et introduit l'utilisation des granulats recyclés ainsi que les fréquences d'essais dans le cadre du marquage CE. La plupart des normes d'essais applicables aux granulats naturels le sont pour les granulats recyclés mais certaines ont été développées spécifiquement. Les caractéristiques complémentaires à mesurer pour les recyclés sont :

- la teneur en **sulfates solubles dans l'eau** (essai selon la norme NF EN 1744-1 article 10.2) permettant de déterminer la présence de plâtre dans les granulats recyclés ;
- la teneur en **chlorures solubles dans l'acide** (essai selon la norme NF EN 1744-5) permettant de prendre en compte les chlorures présents en surface du granulat recyclé et ceux présents dans la phase mortier du granulat recyclé ;
- l'influence des constituants sur le **temps de prise** (essai selon la norme NF EN 1744-6) permettant de mettre en évidence la présence de certains constituants qui seraient susceptibles de modifier le temps de prise du béton ;
- la **classification** des constituants des granulats recyclés (essai selon la norme NF EN 933-11) permettant de classer les principaux constituants (béton, granulats non liés, briques, matériaux bitumeux...) et les polluants (verres, plastiques, bois...) en fonction de leur pourcentage en masse.

Les bétons de type Béton Prêt à l'Emploi sont encadrés par la norme béton NF EN 206/CN. Cette norme prévoit des taux de substitution en fonction de la qualité des granulats. Leur utilisation est donc contrainte par des caractéristiques physiques et chimiques assez restrictives. Cependant, cette possibilité n'existe que depuis fin 2012 et est amenée à évoluer avec les travaux du projet National RecyBéton, dont les résultats seront prochainement publiés.

Au regard de l'ensemble des normes européennes et françaises des granulats et des différents essais à réaliser pour la caractérisation des granulats recyclés, le code B est la plus haute qualité à laquelle peut prétendre un granulat recyclé.

Dans le cas des produits en béton préfabriqués, il est également possible d'introduire des granulats recyclés dans la limite d'équivalence de performance mécanique et dimensionnelle spécifiée dans les normes produits associées. À titre de démonstration, une étude a été réalisée en 2006 au CERIB, avec pour objectif de recycler un ouvrage en blocs (bâtiment commercial) dans la fabrication de nouveaux blocs. Un broyage adapté de cette ressource de seconde main a permis de les transformer en granulats recyclables dans une production de blocs.

Tableau 7 – Éléments d'analyse pour les granulats de béton cellulaire

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
	X	X	X		X				X

La caractérisation des granulats obtenus, puis celle des blocs fabriqués à partir d'un mélange incluant 7,3 % de ces granulats, a démontré la parfaite recyclabilité des blocs en béton avec toutes les garanties d'usage (conformément aux spécifications des normes granulats et blocs en béton).

Un travail sur une meilleure qualité de granulats issus du recyclage (travail sur le process) permettrait d'augmenter l'utilisation de ces matières premières secondaires.

### 6.2.2.3. Autres granulats de matériaux de déconstruction

D'autres matériaux de déconstruction ont également fait l'objet de travaux de valorisation en tant que constituants secondaires du béton. On peut citer par exemple :

- la terre cuite, concassée puis criblée ;
- les palettes de bois, broyées sous formes de copeaux destinés à la fabrication de béton pour des murs anti-bruits.

### 6.2.3. Les granulats issus d'autres secteurs industriels

De nombreux secteurs industriels cherchent aujourd'hui à valoriser leurs « déchets » dans des domaines autres que le leur. Le béton, de par ses capacités d'inertage, est un candidat souvent sélectionné.

Les secteurs pourvoyeurs de constituants secondaires sont :

- l'industrie automobile et navale ;
- la sidérurgie et les secteurs connexes ;
- l'industrie textile ;
- ...

Quelques exemples ci-après illustrent cette diversité.

#### 6.2.3.1. Granulats de laitiers

Les laitiers regroupent un certain nombre de co-produits industriels issus de la fabrication de l'acier et de la fonte. Ces co-produits ont des process de génération différents qui leur confèrent des caractéristiques physico-chimiques différentes, permettant leur utilisation dans des applications variées dans le domaine la construction. On peut citer par exemple leur utilisation en tant que granulats pour enrobés bitumineux ou comme couche de forme dans les routes, ou encore comme liant dans les applications bétons.

#### 6.2.3.2. Sables de fonderie

Source CERIB : Étude collective avec le CTIF – Projet Valorisation Croisée Des Déchets

Liés avec des argiles (procédé de sables à vert) ou des résines (procédé de sables à prise chimique), les sables de fonderie sont utilisés pour confectionner respectivement des moules et des noyaux dans lesquels sont coulés les métaux en fusion. Après l'opération de démoulage des pièces métalliques, une grande partie des sables est réutilisée sur place par régénération, tandis que les sables usés de fonderie résiduels (nommés également « sables rejetés », « vieux sables » ou « sables brûlés ») **doivent être éliminés (l'industrie de la fonderie estime qu'en moyenne, pour une tonne de pièces de fonderie produite, on utilise dix tonnes de sable de fonderie dont environ une tonne doit être éliminée)**. À ce stade, le « sable usé » est considéré comme un déchet de fonderie et peut éventuellement suivre une autre voie de recyclage. Ces sables usés sont classés en fonction de leur teneur en phénols.

On distingue donc :

- les sables imbrûlés contenant des liants organiques de synthèse ;
- les sables contenant des liants organiques de synthèse brûlés au cours de leur utilisation ;
- les sables ne contenant que des liants organiques naturels ou des liants minéraux.

La quantité de sables usés, disponibles pour une utilisation en génie civil, est de l'ordre de 100 000 t/an.

Étant donné que ces co-produits sont des résidus de calcination d'un mélange quasi-inerte thermiquement, ils présentent des caractéristiques minéralogiques et pétrographiques semblables à celles des sables de moulage d'origine, caractéristiques néanmoins quelque peu différentes selon le procédé de moulage utilisé :

- les sables usés issus du procédé de sable à vert sont essentiellement composés de quartz (SiO<sub>2</sub>) accompagné d'une faible proportion d'argile (1 à 5 %), sous forme de bentonite (mélange de montmorillonite, micacés et kaolinite), et accessoirement de chromites [(Mg, Fe) Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>]. Dans certains cas, on peut détecter des traces d'adjuvant de démoulage tels que le noir de carbone ou des produits

Tableau 8 – Éléments d'analyse pour les granulats issus de la déconstruction

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
	X		X			X		X	

Tableau 9 – Éléments d'analyse pour les sables de fonderie

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X	X		X				X

organiques de toutes natures (paraffines, graisses aux silicones-esters, sulfonates...);

- les sables usés issus du procédé de sable à prise chimique sont constitués de quartz et de résidus de liant organique type phénolique ou furanique.

### 6.2.3.3. Granulats de caoutchouc

Les granulats proviennent d'un broyage très fin de la gomme des pneus usagés, après extraction des fibres textiles et des fils métalliques également contenus dans les pneus. La taille des granulats varie de 0,8 à 20 mm. Des particules de caoutchouc de types poudrettes sont également obtenues lors de l'opération de broyage et de granulation des pneumatiques. Leur taille varie entre 10 microns et 0,8 mm. La société ALIAPUR ([www.aliapur.fr](http://www.aliapur.fr)) est en charge la valorisation de ces granulats.

### 6.2.3.4. Granulats de textiles usagés

Source CERIB : Prestation de service

Aujourd'hui, environ 100 000 tonnes de textiles usagés sont collectées en France, soit environ 15 % de la totalité disponible. Les voies de valorisation actuelles sont le réemploi pour la production de nouveaux vêtements (50 %), dans les chiffons industriels (14 %), dans l'effilochage (26 %), et en tant que charge énergétique pour l'incinération (10 %).

L'objectif, à moyen terme, est de collecter 50 % des textiles usagés. Des travaux réalisés au CERIB montrent qu'il est possible de les utiliser comme matériau alternatif aux copeaux de bois pour des applications de béton à propriétés acoustiques.

## 6.2.4. Les granulats provenant d'autres sources

### 6.2.4.1. Granulats issus de terres agricoles

Source CERIB : Étude collective

La valorisation de granulats issus de terres agricoles est une option intéressante tant au niveau économique qu'au niveau écologique.

Le ramassage de ces pierres offre, pour les agriculteurs, plusieurs avantages :

- la diminution de l'usure et de la casse du matériel ;
- la diminution de l'utilisation de produits anti-limaces ;
- l'augmentation du pourcentage de levée des cultures.

D'autre part, la généralisation des « techniques culturales simplifiées », également appelées « techniques de conservation des sols », requiert l'abandon des labours, action dont les inconvénients sont nombreux :

- destruction de l'humus ;
- création de complexes argilo-humiques favorisant le lessivage des sols et pouvant rendre les terres stériles.

Ces méthodes de travail limitent le travail du sol et induisent la remontée périodique des granulats, ce qui complexifie la tâche des exploitants.

Le ramassage des pierres dans les terres agricoles est une action déjà entreprise par certains exploitants. Toutefois, le traitement industriel et la valorisation ne sont pas encore pratiqués, les agriculteurs utilisant les pierres, uniquement extraites dans les pièces les plus encombrées, que pour des remblais ou la création et l'entretien de chemins.

Les pierres que l'on peut récolter dans les terres agricoles du nord du Loiret sont, par exemple, uniquement des silex alluvionnaires (pas d'autres types de granulats en mélange), dont la granulométrie varie entre 40 et 120 mm, avec une moyenne de l'ordre de 60 à 80 mm.

La récolte des pierres est une activité saisonnière, pouvant se pratiquer avant les semis, c'est-à-dire en avril, et après les récoltes de fin juillet à mi-août. La récolte se réalise à l'aide d'une extractrice de pierres, dont le fonctionnement est proche de celui d'une machine à ramasser les pommes de terre. Le transit de pierres sur le tapis de la machine réalise un premier criblage de la terre et des débris végétaux.

Les pierres sont ensuite transportées sur une plateforme pour un broyage, puis un criblage pour obtenir la granulométrie souhaitée. Les granulométries obtenues correspondent aux standards utilisés dans les bétons techniques ou cyclopéens.

### 6.2.4.2. Granulats de mâchefers

Source CERIB : Prestation de service

Les Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (MIOM) sont les résidus solides issus de la combustion dans des fours d'usine d'incinération (fours à grilles, à rouleaux ou oscillants) de la fraction non triée des ordures ménagères, collectée par le service public, et généralement plus ou moins mélangée à des déchets d'entreprises (artisans, commerçants) et d'administrations.

Une usine d'incinération d'ordures ménagères se compose :

- d'une fosse de réception des déchets ;
- d'un groupe four-chaudière (récupération de vapeur pour la valorisation énergétique des déchets sous forme de chaleur et/ou d'électricité) ;
- d'une unité de traitement des fumées ;
- d'une unité d'entreposage des REFIOM (déchets dangereux) avant évacuation ;
- d'une unité d'entreposage des MIOM (déchets non dangereux) avant évacuation.

Les opérations visant à améliorer l'homogénéité et la qualité des MIOM en vue de leur utilisation sont :

- le criblage, éventuellement complété par un concassage, en vue de faire rentrer le matériau dans un fuseau granulométrique ;

Tableau 10 – Éléments d'analyse pour les pierres issues des terrains agricoles

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X			X			X			X

- le retrait des métaux ferreux par over-band ;
- le retrait des métaux non-ferreux par machine à courant de Foucault ;
- le retrait des imbrûlés résiduels par soufflage (papiers, cartons et plastiques).

Ces opérations peuvent être réalisées une ou plusieurs fois pour améliorer le résultat final et être conduites sur différentes fractions granulométriques des MIOM. Les matériaux extraits rejoignent des filières de valorisation matière.

La composition élémentaire des MIOM bruts dépend de la composition des ordures incinérées, de la volatilité des éléments, du processus d'incinération (type de four, conduite du four). Elle peut donc varier dans le temps pour un site de production donné, et dans l'espace, d'un site de production à un autre. La composition d'un lot de MIOM évoluera aussi en fonction de l'efficacité des opérations de retrait des métaux et des imbrûlés. Un même MIOM, selon qu'il sera brut ou qu'il aura été plus ou moins élaboré, aura donc une composition élémentaire et des caractéristiques physico-chimiques différentes.

En l'état actuel des connaissances, la description des MIOM se fait sur la base des critères habituels d'identification de nature (granularité, propreté ou argilosité), d'état (teneur en eau) et de résistance mécanique (à la fragmentation et à l'usure).

Le tableau ci-dessous présente un exemple des principales caractéristiques géotechniques mesurées sur les MIOM de catégorie V en France.

#### 6.2.4.3. Granulats de sédiments marins et fluviaux

Source CERIB : Étude collective

Les canaux et les zones portuaires s'envasent naturellement. Il faut constamment les draguer pour maintenir les tirants d'eau nécessaires à la circulation maritime et fluviale et pour lutter contre les risques de crue. En France, ces opérations produisent 50 millions de tonnes de sédiments qui acquièrent le

statut de déchets quand ils sont pollués (présence éventuelle de métaux lourds, hydrocarbures, pesticides...).

Un procédé de traitement des sédiments a été mis au point par la société SOLVAY. Ce traitement chimique et thermique permet d'inertiser les sédiments. Le sédiment traité se présente comme une fine minérale composée en moyenne de 80 % siliceuse et 20 % calcaire, dans laquelle les métaux lourds sont immobilisés et la pollution organique éliminée.

Le projet a consisté à étudier la faisabilité d'utilisation des sédiments inertes dans la fabrication des bétons à démoulage immédiat (pavés).

La fabrication des pavés de façon semi-industrielle avec incorporation des sédiments (0/2 mm) a mis en évidence qu'il fallait légèrement augmenter le temps de malaxage afin de permettre aux sédiments d'absorber une partie de l'eau d'ajout. L'obtention d'un pavé possédant des caractéristiques au démoulage satisfaisantes (tenue du produit sur la planche, collage au pilon) conduit à une légère augmentation de la teneur en eau du béton.

Les essais en laboratoire et en usine ont également mis en évidence que le taux d'incorporation des sédiments dans les pavés est limité par les performances de la composition des pavés de référence par rapport aux critères d'acceptation de la norme NF EN 1338. En effet, plus les performances de la composition témoin seront proches des critères d'acceptation de la norme, plus la quantité de sédiments incorporables sera faible.

Le bilan technico-économique et environnemental pour l'utilisation des sédiments dans les pavés (ou produits à démoulage immédiat par extension) reste délicat à faire. En effet, d'un point de vue économique, le coût des sédiments pour l'utilisateur reste pour le moment une inconnue qui ne permet pas de positionner le matériau par rapport aux autres constituants. Sur le plan technique, l'incorporation des sédiments dans les bétons à démoulage immédiat risque de ne pouvoir se faire qu'avec des taux relativement faibles.

Tableau 11 – Exemple de caractéristiques physiques sur le MIOM

<b>Granularité</b>		0/20 mm ; 0/31,5 mm	
<b>Teneur en fines (passant à 0,08 mm)</b>		4 à 12 %	
<b>Passant à 2 mm</b>		20 à 50 %	
<b>Propreté</b>	Équivalent de sable (ES)	30 à 55	
	Valeur au bleu de méthylène (VBS)	0,01 à 0,04 g/kg	
<b>Résistance mécanique</b>	Coefficient Los Angeles (LA)	35 à 50	
	Coefficient micro-Deval (MDE)	15 à 45	
<b>Masse volumique apparente sèche</b>		1 à 1,2 t/m <sup>3</sup>	

Tableau 12 – Éléments d'analyse pour les granulats de mâchefers

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
	X		X		X				X



Tableau 13 – Éléments d'analyse pour les sédiments marins et fluviaux

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
	X	X	X		X				X

Les données issues du pilote industriel montrent que le procédé a un réel impact environnemental en termes de consommation d'énergie et de changement climatique notamment.

### 6.3. Matières premières secondaires en substitution ou en complément du liant

De nombreuses études ont été menées sur le rôle des additions minérales dans les bétons. Les performances des différentes solutions au niveau du liant sont aujourd'hui appréhendées en considérant l'ouvrabilité, la résistance mécanique (à court et moyen terme), la durabilité, le coût et l'impact sur l'environnement dont les émissions de CO<sub>2</sub> mais pas seulement (figure 10). La consommation des ressources naturelles, l'énergie primaire utilisée, l'eutrophisation sont également des paramètres clés à considérer.

#### 6.3.1. Les cendres volantes de charbon

Source CERIB : Étude collective

Les cendres volantes de charbon sont les résidus les plus fins de la combustion du charbon en centrale thermique. Leur nature minéralogique, chimique et leur finesse dépendent notamment du combustible d'origine (houille ou lignite), du procédé de combustion et des paramètres d'exploitation associés.

Les centrales les plus répandues actuellement sont les

centrales thermiques classiques (également appelées centrales thermiques à flamme). On trouve également des centrales à Lit Fluidisé Circulant (LFC).

Dans les centrales à flamme à charbon, le combustible est transformé en fines particules dans des broyeurs. Il est mélangé à de l'air chaud et injecté sous pression dans la chambre de combustion par des brûleurs. La température de combustion est comprise entre 1 200 °C et 1 400 °C. Les fumées de combustion passent par des dépoussiéreurs électrostatiques qui retiennent la quasi-totalité des cendres volantes (cendres silico-alumineuses). Elles se présentent sous la forme d'une poudre dont les particules sont sphériques, pleines ou creuses. Les éléments principaux sont la silice (SiO<sub>2</sub>), l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et les oxydes de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ; ils représentent généralement plus de 70 % de la masse. Les particules contiennent également de la chaux (CaO).

Dans les centrales à Lit Fluidisé Circulant, le combustible, mélangé à du calcaire, est fluidisé à une vitesse comprise entre 5 et 6 m/s, et brûlé à une température de 850 °C, sous pression atmosphérique. Les fumées passent ensuite dans des dépoussiéreurs qui extraient les cendres volantes. Les cendres produites dans les installations de LFC se présentent comme une poudre très fine dont les particules sont sous forme de plaquettes et de fragments alvéolaires.

Certaines ont des propriétés hydrauliques (cendres caliques), et d'autres des propriétés pouzzolaniques (cendres silico-alumineuses) :

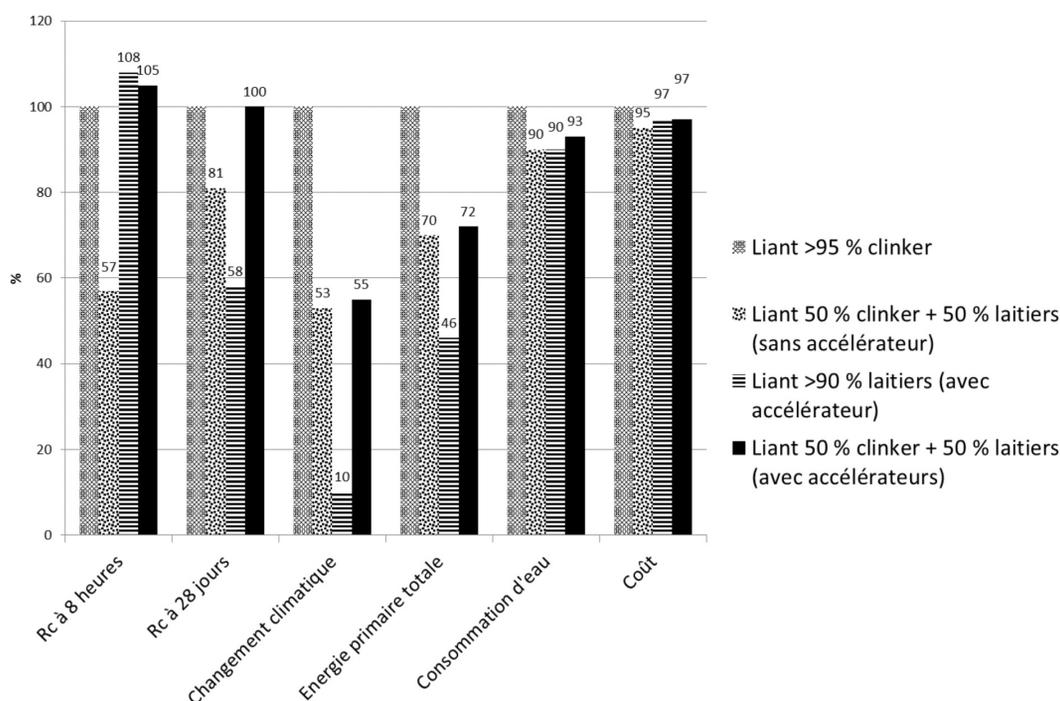


Figure 10 – Analyse comparative pour différents liants (thèse François Jacquemot, 2014)



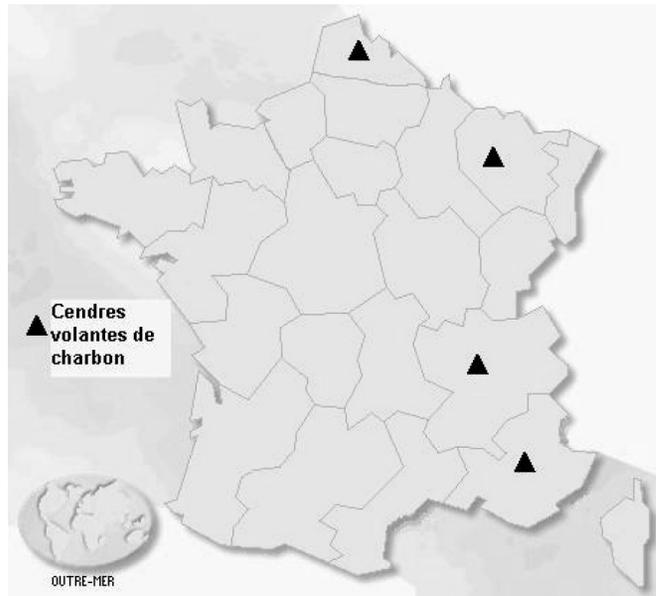


Figure 11 – Gisement des cendres volantes de charbon en France

- les cendres silico-alumineuses de LFC présentent des phases minéralogiques semblables aux cendres silico-alumineuses classiques (quartz et anhydrite en phase majeure, hématite et magnétite en phase mineure), mais également d'autres phases comme des illites, du mica, du périclase (MgO) ainsi que de la chaux vive et des traces de calcite. Leur composition chimique se caractérise par une teneur en chaux inférieure à 10 % ;
- pour les cendres volantes calciques de LFC, l'anhydrite et la chaux vive sont présentes de façon plus importante que dans le cas des cendres siliceuses de LFC. On y trouve également du quartz en proportion non négligeable. Du fait de leur minéralogie, de leur chimie et de leur teneur en chaux libre importante, ces cendres présentent un caractère plutôt hydraulique.

Pour une utilisation dans les bétons, les cendres doivent être conformes à la norme NF EN 450-1 où sont particulièrement limitées la perte au feu, la teneur en chlorure, les teneurs en

anhydride sulfurique (SO<sub>3</sub>) et en oxyde de calcium libre (ou chaux libre).

Les cendres volantes de charbon sont pour la plupart produites par deux grands groupes : Électricité de France (EDF) et SNET (Société Nationale d'Électricité et de Thermique, filiale électrique de Charbonnages de France (CDF)) ; elles sont commercialisées respectivement par EDF et Surschiste. Les sites de production et de stocks existants les plus importants sont situés dans les régions qui ont connu l'exploitation de la houille. Ils se trouvent près des ports qui permettent aujourd'hui l'approvisionnement de charbon importé.

### 6.3.2. Les fumées de silice

Les fumées de silice sont des fines qui se forment lors de la fabrication du silicium ou de silico-alliage. Les alliages de silicium et de ferrosilicium sont fabriqués à partir d'un mélange de quartz (SiO<sub>2</sub>), de charbon (ou coke de pétrole) et de copeaux de bois. Pour la fabrication du ferrosilicium, des tournures d'acier sont ajoutées au mélange. Celui-ci est acheminé dans un four à arc électrique, dont la puissance peut monter jusqu'à environ 30 MW, et dans lequel s'effectue la réduction du quartz. Le métal en fusion est ensuite affiné par injection d'air pour oxyder l'aluminium et le calcium. Différents alliages sont alors produits et le métal est coulé dans des moules de refroidissement. Les réactions intermédiaires conduisant à la réduction du silicium produisent aussi une très fine poussière de silice amorphe qui est entraînée par les gaz chauds (essentiellement air et dioxyde de carbone) émis par le four ; ces gaz sont filtrés pour recueillir la poussière de silice amorphe. Pour une tonne de silicium fabriquée, 250 kg de fumées de silice sont produites.

Les fumées silice sont aujourd'hui couramment utilisées dans la composition des bétons à hautes, très hautes et ultra hautes performances. Elles font l'objet de la norme NF EN 13263-1.

### 6.3.3. Les laitiers de haut fourneau

Source CERIB : Étude collective – Prestations de service

La première étape dans la production de l'acier est l'obtention de la fonte : le minerai de fer, est introduit avec du coke

Tableau 14 – Éléments d'analyse pour les cendres volantes de charbon

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X		X		X		X	

Tableau 15 – Éléments d'analyse pour les fumées de silice

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
Suffisante		X		X		X		X	



(combustible) et de la chaux (fondant) dans un haut fourneau (four vertical, dans lequel des larges volumes d'air chaud sont soufflés dans la partie basse par des tuyères). Il s'agit d'un process continu dans lequel la colonne de matières brutes descend au fur et à mesure que le fer (sous forme de fonte) est extrait du minerai. La fonte s'accumule au fond du haut fourneau et est recouvert par le laitier liquide en fusion dont la densité est plus faible. Le laitier et la fonte en fusion (à environ 1 500 °C) sont extraits périodiquement du haut fourneau. Une tonne de fonte génère environ 250 à 300 kg de laitier.

Lors du soutirage, après séparation de la fonte, le laitier peut être cristallisé ou vitrifié :

- l'opération de cristallisation consiste à laisser refroidir le matériau en fusion dans des fosses jusqu'au début de la solidification, puis à l'arroser pour abaisser sa température afin de pouvoir le concasser et le cribler ;
- l'opération de vitrification peut se faire par deux méthodes :
  - soit par un dispositif dans lequel le laitier subit une trempe (arrosage abondant d'eau sous haute pression) pour former instantanément, par explosion, du laitier vitrifié, appelé laitier granulé,
  - soit être pulvérisé à l'air, pour former du laitier bouleté.

Les caractéristiques et les utilisations des laitiers vitrifiés et cristallisés sont présentées dans le tableau ci-après.

L'utilisation des laitiers de haut fourneau en tant qu'addition dans les bétons est encadrée par la norme NF EN 15167-1.

Les travaux de thèse de François Jacquemot (2014) montrent que les laitiers peuvent être utilisés en quantité très importante dans le liant tout en respectant les cahiers des charges propres aux applications industrielles (aptitude aux process industriels, résistance à court terme élevée, durabilité...). L'activation par voie thermique et chimique des laitiers seuls ou en présence de ciment Portland a été l'objet des travaux expérimentaux menés. Les solutions développées constituent des pistes intéressantes à approfondir du point de vue des impacts environnementaux et économiques (cf. figure 10).

### 6.3.4. Les laitiers d'aciérie

Source CERIB : Prestation de service

Les laitiers d'aciérie sont des co-produits de l'élaboration de l'acier. Selon la filière d'élaboration, on distingue :

Tableau 16 – Caractéristiques des deux types de laitiers

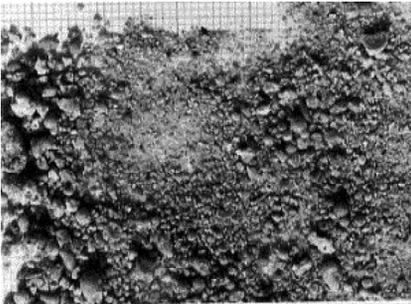
Caractéristiques	Laitier vitrifié	Laitier cristallisé
Couleur	Jaune/Beige	Gris
Masse volumique	2,7 à 3 t/m <sup>3</sup>	1,2 à 3 t/m <sup>3</sup>
Los Angeles	-	16 à 45
Granulométrie	0/8 mm	Tout venant 0/300 mm ou concassé selon la demande, d/D
Aspect visuel		
Composition chimique	CaO : 40 à 48 % SiO <sub>2</sub> : 32 à 41 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 9 à 18 % MgO : 1 à 9 %	
Utilisations	Après broyage, comme liant hydraulique pour les bétons. Dans le verre, comme source de silice et d'alumine	Granulat pour bétons, enrobés, graves traitées

Tableau 17 – Éléments d'analyse pour les laitiers de haut fourneau

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X		X		X		X	



- les laitiers issus de convertisseur à oxygène transformant la fonte en acier ;
- les laitiers d'aciérie électrique, obtenus lors de la fabrication de l'acier, essentiellement à partir de ferrailles.

Ces laitiers font encore l'objet de travaux de valorisation au CERIB.

### 6.3.5. Les laitiers de cubilot

Source CERIB : Étude collective avec le CTIF – Projet Valorisation Croisée Des Déchets

Le cubilot est un four vertical de fusion de métaux, généralement des ferrailles. Dans ce four, le métal à fondre est en contact direct avec le combustible (le coke). Ce contact à haute température entraîne une carburation importante (à des niveaux de 2 à 3 % de carbone) et réserve pour cela le cubilot à la production de fonte. Comme il s'agit d'une deuxième fusion, la fonte produite est moins pure que de la fonte de première fusion.

Ce process de fabrication génère également des co-produits tels que du laitier de cubilot ou des fumées chargées en poussières. En raison de sa densité inférieure, le laitier flotte sur le métal fondu, permettant son évacuation avant le prélèvement de la fonte.

Après trempe, le laitier se vitrifie. Il est constitué de silice (45 à 55 %), de chaux (25 à 40 %), d'alumine (8 à 20 %) et d'oxyde de fer (1 à 6 %) et présentent des teneurs très faibles en matières organiques.

Les gisements sont représentés sur la carte suivante :

Avant de pouvoir l'utiliser, une étape de broyage est toutefois nécessaire (à l'origine, le laitier est sous forme de blocs).

Les résultats en laboratoire font ressortir que la finesse (100 % passant au tamis de 63  $\mu\text{m}$ ) améliore les indices d'activité principalement au bout de 7 jours et 28 jours. Cette tendance est également observée à 24 heures lorsque le taux de substitution de ciment est de 25 %.

Une fois broyés en ultrafines (< 63  $\mu\text{m}$ ), les laitiers de cubilot semblent donc posséder des propriétés similaires à celles obtenues avec du laitier de haut fourneau.

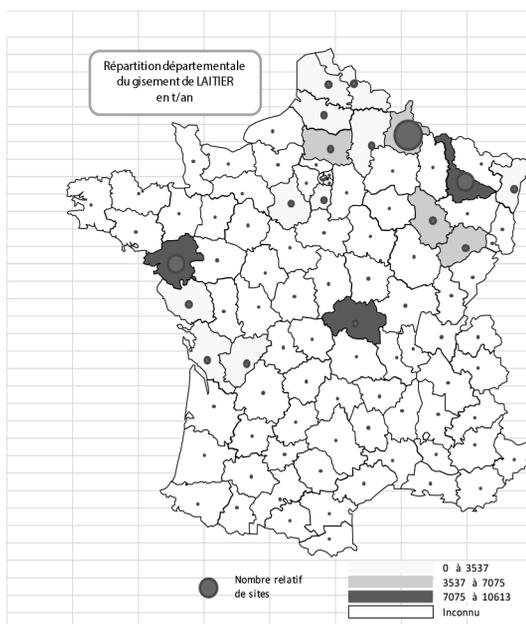


Figure 12 – Gisement du laitier de cubilot en France [CTIF]

L'étape de broyage reste à ce jour le frein principal (frein économique).

### 6.3.6. Les boues de papeterie

On désigne par « boues de papeterie » l'ensemble des éléments polluants et leurs produits de transformation rassemblés dans des suspensions plus ou moins concentrées issus des traitements des effluents liquides des différentes étapes de la fabrication du papier. La composition des boues dépend essentiellement des opérations de traitement des effluents liquides.

Il existe trois types de boues de papeterie :

- les boues primaires ;
- les boues secondaires ou biologiques ;
- les boues de désencrage.

#### 6.3.6.1. Boues primaires

Les procédés de fabrication de pâte et de fabrication du papier (à partir de pâte vierge et de Produits à base de Papiers et Cartons Récupérés (PPCR)) génèrent des effluents chargés en matière organique (fibres cellulosiques) et en charges minérales. L'épuration de ces effluents par traitement physique (sans ajout de réactif) ou physico-chimique génère des boues dites primaires.

Le traitement primaire permet d'éliminer environ 95 % de la partie décantable des MES (Matière solides En Suspension). Il s'effectue de diverses façons : par gravité dans des décanteurs, par flottation en cellule ou encore par filtration.

#### 6.3.6.2. Boues secondaires

Le traitement secondaire (biologique), à la base des boues papetières, est fondé sur des processus biologiques de digestion des matières organiques par des micro-organismes ; c'est pourquoi il est appelé « traitement biologique ». Il existe plusieurs types de systèmes de traitement biologique : les lagunes d'aération, les boues activées à l'air ou à l'oxygène, les disques biologiques, les lits bactériens et les systèmes anaérobies.

#### 6.3.6.3. Boues de désencrage

Les boues de désencrage, uniquement retrouvées dans les usines de recyclage de papier, sont issues du traitement des mousses récupérées en surface des cellules de flottation utilisées pour séparer l'encre des fibres de PPCR. Les bulles d'air générées à la base de la cellule entraînent les particules d'encre en surface et forment une mousse constituée de savon, particules d'encre, fibres, fines et charges.

Les boues contiennent donc des encres, des charges minérales issues des PPCR et des résidus de fibres cellulosiques entraînés lors du désencrage.

Les boues de désencrage ne sont produites que par les papetiers (producteurs de papier journal, d'ouate de cellulose, de papier impression écriture ou encore de carton multicouche avec recto blanc) qui utilisent comme matières premières des papiers récupérés.

La valorisation des boues de papeterie peut se faire au travers de différentes filières :

- utilisation en couverture de décharge ;
- utilisation en épandage agricole ;
- incinération pour la production de vapeur et d'énergie ;



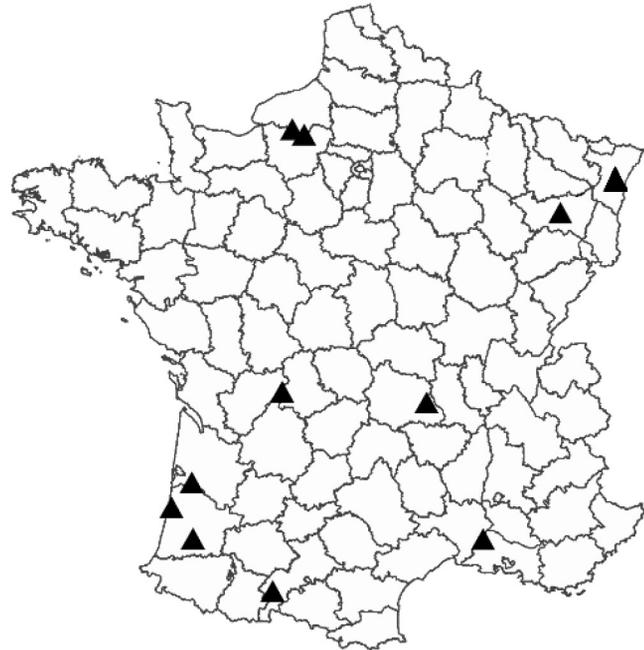


**Tableau 18 – Éléments d'analyse pour les laitiers de cubilot**

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X	X		X				X

- utilisation dans la fabrication du carton ;
- transformation en pouzzolanes artificielles par traitement thermique pour utilisation dans le BTP.

La transformation des boues de papeterie en pouzzolanes en vue d'une utilisation dans les bétons consiste en la production de métakaolins par un traitement thermique approprié. Ce traitement thermique doit être soigneusement contrôlé de façon à obtenir la destruction totale de la matière organique contenue dans les boues et à minimiser la décarbonatation de la calcite. Pendant ce traitement thermique, la kaolinite est transformée en métakaolinite tandis que la calcite et le talc sont préservés, le tout permettant la production de pouzzolanes. Des études ont démontré qu'il était possible d'accroître les performances des boues de papeterie en appliquant un traitement thermique optimisé ; 650-700 °C apparaît comme une plage de température optimale (conversion des kaolins en métakaolins, faible décarbonatation de la calcite...). La matière ainsi générée et passée au tamis de 100 µm est une pouzzolane génératrice de performances assez proches de celles obtenues avec du métakaolin.



**Figure 13 – Répartition des papeteries produisant des cendres issues de chaudières [CTP]**

### 6.3.7. Les cendres issues des chaudières papetières

Source CERIB : Étude collective avec le CTP – Projet Valorisation Croisée Des Déchets

Suite aux appels d'offre CRE et aux appels à projet BCIAT, le nombre de chaudières à biomasse en activité s'accroît rapidement, en particulier chez les papetiers. Il en résulte et résultera des volumes croissants de résidus de combustion, pour lesquels il faut trouver des voies de valorisation pérennes, à forte valeur ajoutée et de préférence locales.

Aujourd'hui, une dizaine de papetiers français exploite une chaudière à biomasse générant environ 200 000 tonnes par an de cendres papetière. Ces cendres sont encore pour partie épanchées voire enfouies.

Les cendres sont récupérées, d'une part, sous foyer et, d'autre part, par aspiration, ce qui leur confère une granulométrie comprise entre 0 et 1 mm. Les proportions dans le mélange dépendent du filtre utilisé dans l'installation.

En fonction des installations, les combustibles varient :

- la plupart des papetiers français alimentent leurs chaudières avec différents éléments de biomasse (écorces de bois provenant de l'écorçage des rondins et gros bois, copeaux déclassés et déchets issus du traitement mécanique interne du bois, refus de classage de la pâte, produits fibreux issus du traitement effectué sur les effluents primaires envoyés en traitement en lagune ou des rémanents de la sylviculture) engendrant, à la sortie, des cendres essentiellement composées de résidus de combustibles. Ces cendres se prénomment « cendres de biomasse » et représentent environ 40 % de la production totale de cendres de papeterie ;
- en France, seulement deux papeteries incorporent, en partie, les trois types de boues (présentées dans le paragraphe 6.3.6 issues du nettoyage du papier recyclé dans leurs chaudières papetières en substitution de biomasse avec un pourcentage variable (pouvant atteindre 40 %), ce qui génère des cendres en sortie de chaudière princi-

**Tableau 19 – Éléments d'analyse pour les matériaux issus des boues de papeterie**

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X		X		X		X	





Tableau 20 – Éléments d'analyse pour les cendres issues des chaudières papeteries

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X	X		X				X

palement composées de silice, d'alumine, de calcite et de chaux. Ces cendres sont appelées « cendres de boues de papeterie » et représentent environ 60 % de la production totale de cendres de papeteries.

Les points qui ressortent des différentes études réalisées sur les cendres de boues de papeterie sont les suivants :

- les cendres de boues de papeterie peuvent conduire à un gonflement du béton si aucune précaution n'est prise ; ce phénomène est lié à la présence de chaux libre qui s'hydrate après la fin de prise, lorsque la matrice cimentaire commence à durcir ;
- les taux de substitution dépendent de leurs caractéristiques initiales (composition minéralogique, présence de composés organiques, mais aussi la taille des particules et la surface spécifique développée), du traitement appliqué (mécanique, chimique, thermique, hydrique), des autres constituants du béton (ciment, additions...) ; les taux de substitution optimaux varient selon les études de 5 à 25 %, 10 % étant le taux le plus souvent cité ;
- les mécanismes physico-chimiques impliqués sont complexes : demande en eau des constituants, compétition dans les réactions d'hydratation, ciment et additions, effet pouzzolanique plus ou moins marqué, contribution au squelette granulaire... ;
- les cendres de boues de papeterie peuvent être avantageusement utilisées en association avec des additions telles que les cendres volantes ou les laitiers de haut fourneau ; il s'agit alors de mélanges ternaires (ciment + addition + cendres de boues de papeterie).

Compte tenu des points précédents, une étude au cas par cas est nécessaire comme c'est le cas d'ailleurs pour la plupart des co-produits industriels. A partir d'une caractérisation précise des cendres de boues de papeterie (compositions chimiques, minéralogiques, morphologiques), il s'agit d'optimiser les traitements (physiques, chimiques, hydriques, thermiques) et les caractéristiques du liant (ciment, addition, cendres de boues de papeterie) pour éviter les risques de gonflement, obtenir les meilleures résistances mécaniques et garantir la durabilité du matériau.

### 6.3.8. Les fines de plaques de fibro-ciment

Source CERIB : *Projet VALCRIB (déposé à l'ADEME et non financé)*

La fabrication des bétons de fibro-ciment génère 9 000 t/an de déchets répartis sur quatre sites de production en France : Rennes/St-Grégoire (35), Valenciennes/Haulchin (59), Albi/Terssac (81) et Paray Le Monial/Vitry (71).

Le béton de fibro-ciment est constitué de :

- sable ;
- ciment et addition minérale ;
- fibre cellulose ;
- fibre de polyvinyle alcool (ayant substitué la fibre d'amiante).

Afin d'éviter la mise en décharge, la société CR-Industries (ex Eternit) cherche à améliorer la revalorisation de ses déchets en sous-produits pour la fabrication de matériaux à base cimentaire (béton préfabriqué). L'objectif de cette valorisation est de broyer les résidus de production afin de produire des matières premières secondaires qui présentent un intérêt technique dans les produits en béton :

- renfort lié à la présence de fibres ;
- charges inertes bon marché ;
- activité hydraulique potentielle due à la présence de ciment non hydraté (seule une faible partie du ciment a réagi lors de la fabrication du produit initial, laissant une partie du ciment potentiellement hydratée).

En tant que charge inerte, la matière première secondaire pourrait se positionner dans la fabrication du béton comme filler (en substitution partielle du sable), et en tant qu'addition (en substitution d'une partie du ciment) lorsqu'elle possède des propriétés hydrauliques.

Une deuxième source de cette matière première secondaire sera également disponible dans les années à venir. Elle proviendra de la déconstruction des bâtiments, soit pour des raisons de non qualité (remplacement dans le cadre de l'après-vente), soit dans le cadre de la fin de vie des produits. Il est donc prévu qu'à terme les quantités à recycler soient

Tableau 21 – Éléments d'analyse pour les fines de plaques de fibro-ciment

Disponibilité de la ressource secondaire			Organisation de la filière d'approvisionnement		Contextes normatif et réglementaire			Utilisation industrielle	
Faible	Forte	Localisée	Faible	Bonne	Inexistant	Existant	En cours	Oui	Non
X		X	X		X				X



équivalentes à celles vendues annuellement depuis 15 ans, c'est-à-dire 300 000 tonnes par an.

### 6.3.9. Les fines de fonderie

Source CERIB : Étude collective avec le CTIF – Projet Valorisation Croisée Des Déchets

Aujourd'hui, les émissions atmosphériques, essentiellement liées aux polluants de l'air et provenant de la poussière, constituent la principale préoccupation vis-à-vis de l'environnement. La poussière est générée à toutes les étapes du procédé (fabrication du moule en sable, coulée et parachèvement) et possède une composition variable d'une étape à l'autre, ce qui constitue de ce fait un problème majeur. Toute poussière générée est susceptible de contenir du métal et des oxydes métalliques.

Les systèmes d'aspiration permettent aujourd'hui d'aspirer la grande majorité des fines générées, réduisant ainsi les rejets diffus. Ces dernières sont ensuite filtrées à l'aide de dépoussiéreurs à manches dans la majorité des cas.

L'opération de fonderie détermine la nature des fines produites :

- fines de sablerie issues des opérations de manipulation de sable (régénération, moulage, décochage notamment) ;
- fines de dessablage ou grenailage issues des opérations de parachèvement et finition.

Du fait de sa forte disponibilité et de son coût relativement faible, le sable siliceux est le plus couramment utilisé. Il est composé de silice minérale ( $\text{SiO}_2$ ) plus ou moins pure et propre, en fonction de son origine. Les fines de fonderie en contiennent en très grande majorité (> 50 % voire 70 %), le reste étant relié au procédé utilisé (matières minérales ou organiques).

En fonction du poste de génération et du procédé de moulage, la nature minéralogique des fines varie.

#### 6.3.9.1. Postes de régénération, moulage et noyautage

La fabrication de moules se fait à partir de sable/fines recyclés du moule précédent.

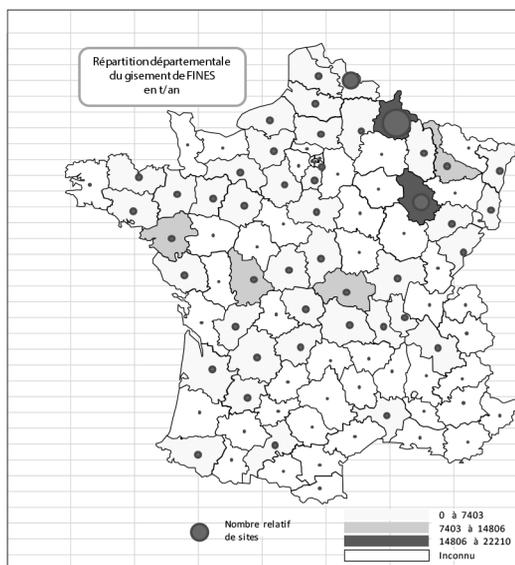


Figure 14 – Répartition du gisement de fines de sables [CTIF]

Cependant, afin de maintenir une qualité de sable satisfaisante, une quantité de sable neuf est réintroduite régulièrement dans le circuit de moulage-noyautage et une quantité de sables/fines usés (purge) en est extrait. Les fines en question sont alors composées de silice/bentonite/noir minéral (procédé de sable à vert) ou de silice/composé organique (procédé de sable à prise chimique).

#### 6.3.9.2. Poste de décochage

Quel que soit le procédé utilisé, une étape de décochage a lieu et génère des fines.

Après la coulée du métal liquide, la pièce brute est séparée du sable (à chaud ou après une période de refroidissement). Cette opération, parfois manuelle, est le plus souvent effectuée à l'aide de grilles vibrantes. Les fines récupérées (calcinées) sont celles qui étaient directement en contact avec la pièce métallique :

- Les fines de sable à vert engendrées sont composées de silice et de chamotte. En effet, lors de la coulée du métal liquide dans le moule, l'argile du sable est calcinée et voit sa structure se modifier ;
- Elle se déshydrate et se transforme en chamotte (argile morte), connue pour posséder un très faible coefficient d'expansion thermique. La chamotte n'a plus d'eau de constitution et adhère fortement au grain de sable en couches concentriques ;
- Les fines de sable à prise chimique issues du poste de décochage sont composées de silice et de résidus de composé organique.

#### 6.3.9.3. Postes de parachèvement et de finition

Tout comme le poste de décochage, les postes de parachèvement et de finition sont présents et nécessaires quel que soit le type de procédé.

L'étape du dessablage, également appelée grenailage, correspond à une étape de nettoyage de la pièce métallique. On y envoie de la grenaille pour détacher les résidus de sables restés accrochés à la pièce finale. Les fines engendrées sont alors composées de silice/résidus de chamotte/résidus métalliques (fines de sable à vert) ou de silice/résidus de composé organique/résidus métalliques (fines de sable à prise chimique).

L'étude réalisée au CERIB avec le CTIF a montré qu'en fonction du co-produit, les résultats varient et leur potentielle utilisation dans le béton peut s'avérer très différente. D'une fonderie à l'autre, les propriétés des co-produits portant le même nom peuvent différer, nécessitant la réalisation d'un minimum d'essais.

La présence de bentonite dans les fines de sablerie de sable à vert semble diminuer la fluidité du béton frais et entraîner une mauvaise évolution de l'indice d'activité.

Les fines de sablerie de sable à prise chimique sont plus chargées en composés organiques (provenant du liant) que les fines de dessablage. Ces derniers ne semblent pas nuire aux performances du béton pour des taux d'incorporation inférieurs à 10 %.

Les fines de dessablage peuvent être utilisées en substitution de granulats de coupure granulométrique similaire. La couleur noire de ces co-produits peut également être un paramètre intéressant pour une utilisation dans les bétons.



## 6.4. Matières premières secondaires en substitution de pigments

Aujourd'hui, les bétons colorés sont de plus en plus demandés. À l'heure actuelle, les travaux du CERIB ont permis de montrer que certains co-produits industriels peuvent être introduits dans le but de substituer partiellement ou entièrement les pigments. Les fines de fonderie chargées en noir minéral (carbone) (voir paragraphe 6.3.9) ont donné des résultats très satisfaisants en tant que matière de substitution du pigment noir dans des pavés de voirie.

## 6.5. Matières premières secondaires en substitution des fibres

### 6.5.1. Les fibres métalliques

Les fils métalliques sont récupérés lors de la transformation des broyats de pneus usagés en granulats. Après plusieurs étapes successives de broyage, les phases métalliques et textiles se séparent de la phase élastomérique (la gomme). Les fils métalliques sont ainsi extraits par séparation magnétique. La société ALIAPUR ([www.aliapur.fr](http://www.aliapur.fr)) a en charge leur valorisation.

### 6.5.2. Les fibres polymères

#### 6.5.2.1. Fibres de verre ou de carbone issues de l'industrie automobile ou navale

Les industries automobile et navale (bateau de plaisance) sont consommatrices de matériau composite dans lesquels des renforts structurels sont utilisés. Ces renforts peuvent être des fibres de carbone, de verre, de kevlar...

Ces renforts présentent également un intérêt pour les bétons à très hautes et ultra hautes performances pour l'amélioration du comportement à la flexion des produits de faible épaisseur. Le coût élevé de ces matières premières initiales est cependant peu compatible avec celui du matériau béton. La réutilisation des renforts provenant du recyclage pourrait vraisemblablement permettre un développement de leur utilisation.

Cependant, les différents travaux menés à ce jour se heurtent aux difficultés techniques de la séparation des fibres avec la matrice liante (résine) et au coût engendré par ces potentiels traitements.

#### 6.5.2.2. Fibres de cellulose

Source CERIB : Prestation de service

La fabrication des couches culottes est réalisée à partir de ouate de cellulose et dont le process génère des résidus. Une entreprise basée aux États-Unis a mis au point un procédé permettant de conditionner ces déchets en petites plaquettes de fibres délitables dans l'eau. Le CERIB a travaillé sur la valorisation de ces fibres en tant que substitution des fibres de polypropylène utilisées dans les bétons pour l'amélioration du comportement au feu et des phénomènes de fissuration à jeune âge. Ces fibres de cellulose sont aujourd'hui commercialisées en France. ([http://fr.chryso.com/upload/t\\_documents/Fichier\\_L1/48705/promoFibreUF500FR.pdf](http://fr.chryso.com/upload/t_documents/Fichier_L1/48705/promoFibreUF500FR.pdf))

## 7. CAHIER DES CHARGES

Le retour d'expériences basé sur plusieurs dizaines d'études réalisées par le CERIB permet aujourd'hui d'identifier les principales voies permettant l'utilisation de co-produits industriels dans les bétons. Par ordre de cas rencontrés, on trouve une utilisation en tant que granulats, additions et plus rarement comme adjuvants, pigments ou renforcement.

Pour déceler en première approche si un co-produit industriel a des chances de pouvoir trouver un débouché dans les bétons, il convient d'apprécier les critères énoncés ci-dessous.

### \* Caractéristiques physiques et mécaniques :

- la **masse volumique** constitue rarement un frein pour une utilisation dans le béton ; la grande majorité des bétons a une masse volumique comprise entre 2 200 et 2 400 kg/m<sup>3</sup>, mais on utilise aussi des bétons légers (MVA ≤ 1 800 kg/m<sup>3</sup>) et des bétons lourds (MVA ≥ 2 500 kg/m<sup>3</sup>) ;
- la **granulométrie** : en général, les produits les plus fins conduisent à une plus grande valeur ajoutée. Dans certains cas, le broyage peut s'avérer pertinent du point de vue technico-économique. L'utilisation peut se faire comme :
  - **fines** (particules inertes chimiquement) ou **additions** (réactions physico-chimiques densifiant la matrice cimentaire) : 0/0,080 mm,
  - **filler** : 0/2 mm,
  - **sable** : 0/5 mm,
  - **gravillons** : 4/31,5 mm ;
- l'**absorption d'eau** lorsqu'elle est importante (≥ 5 %), nécessite des précautions d'usage particulières pour ne pas pénaliser l'ouvrabilité et les propriétés du béton ;
- la résistance à la fragmentation, **friabilité** : il est préférable que les co-produits conservent leur intégrité physique lors du malaxage (friction avec les autres constituants). Toutefois, une évolution de la granularité lors du malaxage peut ne pas être rédhibitoire dès lors qu'elle est anticipée et maîtrisée.

### \* Composition chimique et minéralogique :

- **composition chimique** : une quantité importante d'oxydes tels que CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est en général un point positif ;
- **composition minéralogique** : la réactivité pouzzolanique (production d'hydrates en présence d'eau et de chaux) donne de la valeur ajoutée au co-produit qui peut alors être envisagé comme un liant ;
- les co-produits doivent être stables en milieu alcalin (pH du béton supérieur à 13).
- \* **Quantité** : La quantité minimale nécessaire dépend du constituant qu'il est possible d'envisager de substituer, des possibilités d'utilisation à proximité immédiate du gisement source et des conditions financières. Pour une utilisation en tant qu'addition par exemple, 500 tonnes par an constituent généralement une quantité minimale (utilisation par un site).
- \* **Paramètres limitants (voire interdisant) une utilisation dans le béton lorsqu'ils sont présents en trop grande quantité** :
  - **composés argileux** ; si tel est le cas, un traitement thermique peut être envisagé ;
  - **composés organiques** ayant par exemple un effet sur les adjuvants et donc un impact sur les propriétés à l'état frais du béton et à l'état durci au jeune âge (prise et durcissement) ;





- **sulfates et chaux vive** : risque de gonflement interne ;
- **chlorures** : leur teneur dans les bétons est limitée pour maîtriser les risques de corrosion des armatures ;
- **substances indésirables** (radioéléments, métaux lourds, composés organiques volatils), du point de vue du risque sanitaire, en quantité telle que la matrice cimentaire ne sera pas en mesure de les inertier.

La variabilité dans le temps des caractéristiques des co-produits est aussi un facteur déterminant. Lorsque la robustesse n'est pas au rendez-vous, l'utilisateur va devoir effectuer des réajustements réguliers de la composition du béton, ce qui induit un surcoût. Pour une utilisation régulière, il est essentiel de définir une fiche technique, un cahier des charges et un contrôle régulier des principales caractéristiques des co-produits industriels.

## 8. MÉTHODOLOGIE OPÉRATIONNELLE POUR VALORISER LES MATIÈRES PREMIÈRES SECONDAIRES OU CO-PRODUITS INDUSTRIELS DANS LES BÉTONS

### 8.1. Origine de cette méthodologie

Des membres de la Commission Développement Durable du réseau des Centres Techniques Industriels français ont initié le projet « Valorisation Croisée », en collaboration avec l'ADEME, afin de déterminer quelles pourraient être les meilleures associations industrielles possibles pour les déchets qui aujourd'hui ne sont pas ou insuffisamment valorisés. En associant les domaines de la fonderie, de la papeterie, des matières grasses, des matériaux naturels de construction, des produits préfabriqués en béton et du bois, un large panel de déchets et de solutions de valorisation a pu être étudié. Ces industries sont chacune représentées par un Centre Technique Industriel (structure de recherche sous la tutelle de l'Etat qui intervient en support d'une filière industrielle). Ces centres sont le Centre Technique Industriel Fonderie, Matériaux et Produits Métalliques (CTIF), le Centre Technique du Papier (CTP), l'Institut des Corps Gras (ITERG), le Centre Technique des Matériaux Naturels de Construction (CTMNC), le Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB) et l'Institut technologique de la Forêt, de la Cellulose, du Bois-construction et de l'Ameublement (FCBA).

L'objectif de l'association de ces organismes a été :

- de trouver de nouvelles voies de réintégration de certains déchets industriels dans des filières externes au procédé qui les a générés, permettant ainsi de multiplier les solutions de valorisation ;
- d'apporter des réponses locales à la gestion des déchets pour augmenter le taux global de valorisation de ces derniers tout en diminuant l'utilisation des ressources naturelles ;

- de définir une méthodologie pour une valorisation optimisée des co-produits industriels.

### 8.2. Démarche générale de la méthodologie de valorisation

Pour mettre en œuvre une solution nouvelle de valorisation d'un déchet dans un secteur industriel différent de celui qui l'a généré, il est nécessaire de disposer d'un ensemble d'informations, aussi bien pour le secteur source que pour le secteur utilisateur.

L'initiateur de la démarche peut être soit le producteur du déchet, exploitant du site source et responsable de la gestion de son déchet, soit un industriel souhaitant faire évoluer sa production en utilisant des matériaux alternatifs aux constituants traditionnels (intérêts technico-économiques et environnementaux).

La démarche générale est présentée sur le logigramme suivant (figure 15) :

En fonction du type d'action à mener, l'acteur peut être soit le secteur source (phases 1 et 5), soit le secteur utilisateur (phases 3, 3', 6), soit l'association des deux (phases 2, 4, 7, 8, 9, 10).

Pour chaque étape sont précisés :

- qui (acteur(s) de l'action) ;
- objectif/description ;
- outil(s) disponible(s) (mis au point pendant le projet) ;
- quelques références réglementaires.

### 8.3. Détail de la méthodologie pour une utilisation dans le béton

#### 8.3.1. Phase 1 : État des lieux

##### 8.3.1.1. Identification des déchets non valorisés ou insuffisamment valorisés

La plupart des secteurs industriels cherche à valoriser leurs déchets afin d'éviter la mise en décharge ou l'élimination, opérations de plus en plus coûteuses à la vue des importantes quantités concernées et de l'augmentation du coût de mise en décharge. Cela entraîne la nécessité de rechercher de nouvelles solutions de valorisation.

Actuellement, certaines voies de valorisation existent comme la technique routière, l'épandage... mais ne sont pas des filières totalement pérennes du fait des nouvelles exigences réglementaires.

##### 8.3.1.2. Freins identifiés à la valorisation

Quatre types de freins ont été recensés et sont d'ordre :

- **technique**, associé à la qualité des co-produits, au gisement, à la gestion d'un stock ou encore du fait de la mise en œuvre d'un prétraitement ;
- **sociologique** : par exemples, la couleur différente du produit fini ou la connaissance de la présence du déchet dans un produit commercialisé peuvent être mal perçues ;
- **réglementaire** : en particulier l'hygiène et la sécurité du personnel intervenant (matière susceptible d'être inhalée par le personnel si elle est pulvérulente...) et l'impact sur



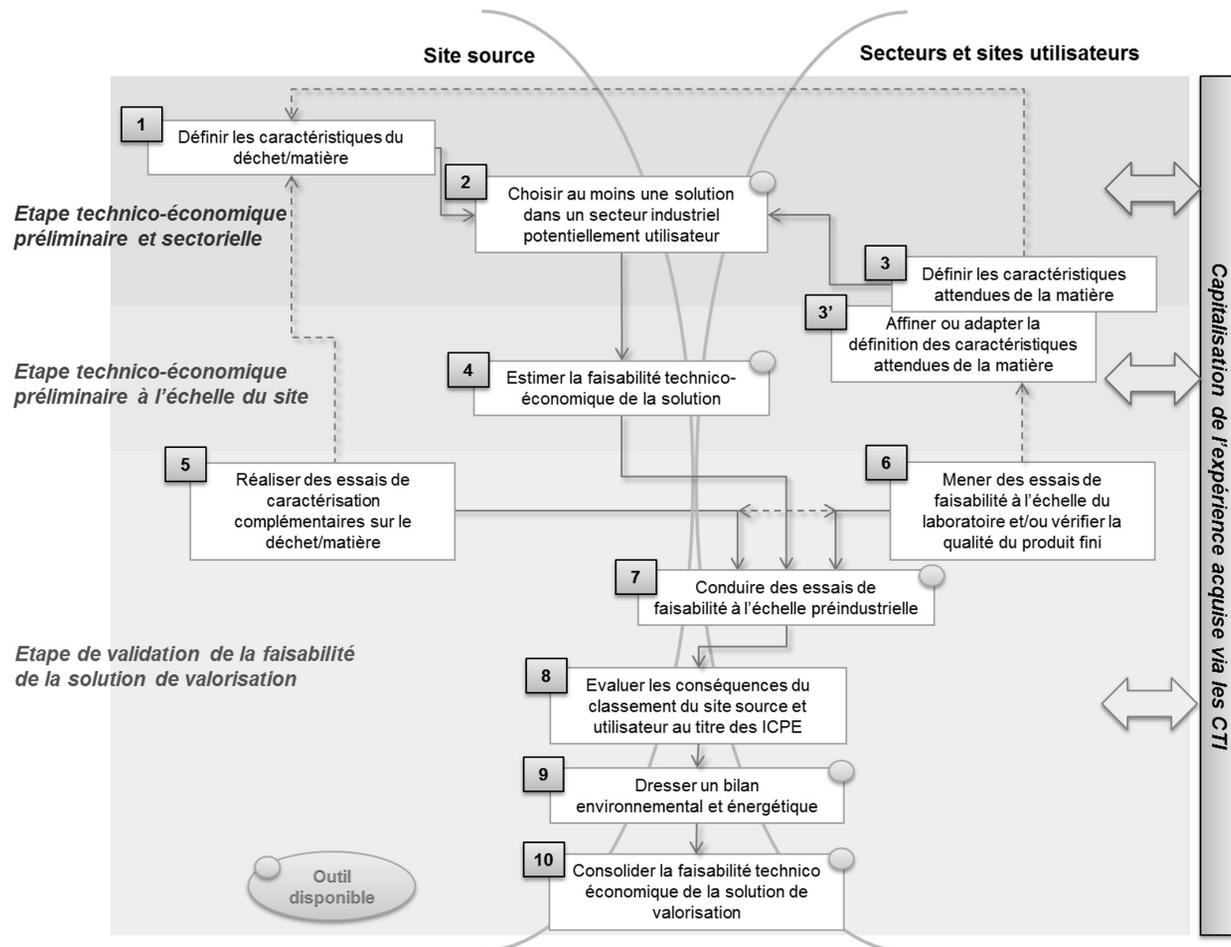


Figure 15 – Méthode générique

l'environnement (émission potentielle de polluants dans l'atmosphère, réglementation spécifique limitant les quantités utilisées et les périodes d'utilisation...). Des freins administratifs y sont associés (obligation de déclaration ou d'autorisation pour pratiquer certaines activités...);

- économique (transport, investissement éventuels...).

Une caractéristique du déchet peut revêtir plusieurs freins. Par exemple, la nature physico-chimique du déchet ou de la matière définissant sa qualité peut se traduire en termes de frein technique vis-à-vis du produit fabriqué (présence de microfissures ou de tâches indésirables) et de frein réglementaire du fait des émissions atmosphériques susceptibles d'être générées lors de l'incorporation de ce déchet dans le procédé.

### 8.3.2. Phase 2 : Étude préliminaire

#### 8.3.2.1. Caractéristiques des déchets

La caractérisation des co-produits doit être liée aux exigences des normes « constituants » et en particulier vis-à-vis des critères pouvant avoir un impact sur les performances techniques du béton (exemple des composés argileux, indésirables pour la stabilité dimensionnelle des bétons).

L'étude de la variabilité des caractéristiques d'un lot à l'autre du gisement est à prendre en compte et en particulier celles susceptibles d'impacter les performances techniques et

sanitaires de la structure en béton. L'élaboration d'un cahier des charges et d'une fiche technique pour chaque co-produit est nécessaire pour contrôler la variabilité et responsabiliser les producteurs et utilisateurs (voir paragraphe 7 « Cahier des charges »).

Globalement, les co-produits doivent influencer de manière positive ou neutre plusieurs caractéristiques du béton à l'état frais et à l'état durci :

- l'aptitude à être utilisé en usine ou sur chantier (mise en place, risque de fissuration, résistance au démoulage...);
- les résistances mécaniques;
- les propriétés de durabilité;
- l'esthétique;
- les propriétés sanitaires;
- les impacts environnementaux;
- le coût...

Une possible réactivité hydraulique/pouzzolanique est un avantage supplémentaire pour la matière à utiliser car elle participe aux réactions d'hydratation du béton. Il devient possible d'envisager une diminution de la quantité de liant traditionnel. Lorsque l'utilisation du co-produit entraîne une diminution d'une ou plusieurs performances, celle-ci doit être compensée dans des conditions économiquement viables. Par exemple, une diminution de la résistance à la compression peut être compensée par une augmentation du dosage en liant ou une diminution du rapport Eau/Liant en optimisant l'adjuvantation.





En parallèle, les matières de substitution doivent être conditionnées de telle sorte à éviter une pollution de l'environnement des sites industriels.

#### 8.3.2.2. *Analyse des co-produits selon la réglementation*

D'un point de vue réglementaire, les co-produits industriels sont initialement des déchets. D'après la liste des déchets établie dans l'Annexe II de l'Article R541-8 du Code de l'Environnement, chaque déchet possède un code qui lui est propre. En parallèle, ils sont caractérisés selon des arrêtés spécifiques liés à leur mise en décharge, leur élimination ou leur valorisation (exemple du Guide du SETRA pour la valorisation en technique routière). Un des plus couramment utilisés est l'Arrêté datant du 28 octobre 2010 relatif à la mise en décharge des déchets inertes. Ce dernier impose plusieurs analyses à réaliser associées à des valeurs d'acceptation.

Les analyses, réalisées sur brut et lixiviât, concernent les paramètres suivants :

- **composés sur brut** : BTEX, HAP, hydrocarbures totaux C10-C40, PCB et COT ;
- **éléments sur éluat** : métaux lourds (As, Ba, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn), chlorures, fluorures, sulfates, indice phénol, COT, fraction soluble.

La conformité aux critères d'acceptation de l'Arrêté du 28 octobre 2010 sur la mise en décharge des déchets industriels inertes peut être un argument pour justifier l'innocuité du co-produit à valoriser auprès des différents acteurs de la filière de valorisation ainsi que de l'administration. Si ce n'est pas le cas, le comportement du produit fini en lixiviation devra être contrôlé.

Les analyses réalisées sur ces lots donnent une idée des caractéristiques du déchet mais ne peuvent pas être considérées avec certitude comme représentatives du gisement national du fait de la forte variabilité probable des co-produits d'un site à l'autre et même au sein d'un seul et même site.

#### 8.3.2.3. *Cartographie des déchets*

Le but de ce travail de cartographie est de pouvoir localiser des potentiels sites utilisateurs à proximité des sites sources (favoriser la valorisation locale) et ainsi permettre de préciser la connaissance des caractéristiques des déchets en fonction de la potentielle utilisation.

#### 8.3.2.4. *Première approche technico-économique*

Cette première approche technico-économique a pour objectif de préciser si la démarche peut avoir un avenir dans le domaine utilisateur choisi en comparant la situation actuelle et la situation future potentielle.

Les données à prendre en compte sont principalement :

- les coûts liés à la prise en charge du déchet chez le secteur source (élimination, mise en décharge, transport...) qui fluctuent en fonction des quantités produites, du statut de dangerosité du déchet, de la réglementation... ;
- les coûts associés à l'achat des matières premières chez le secteur utilisateur.

L'hypothèse prise ici pour le prix du ciment (de type CEM I) est un coût moyen de 120 €/T et un coût transport de 10 €/T pour 100 km.

Les autres matières premières susceptibles d'être substituées sont les granulats (ordre de grandeur 10 €/T), les fillers (ordre de grandeur 30 €/T) ou le pigment (ordre de grandeur 1 200 €/T).

L'incorporation de co-produits peut engendrer en contrepartie de potentiels investissements pouvant être liés notamment au stockage (silo de 50 tonnes estimé à 45 000 €) ou au process (vis sans fin, trémie peseuse...).

### 8.3.3. *Phase 3 : Faisabilité technique à l'échelle du laboratoire*

#### 8.3.3.1. *Caractérisation physico-chimique des matières à valoriser*

La partie relative à la caractérisation physico-chimique des co-produits est réalisée afin d'obtenir une première évaluation par rapport aux constituants traditionnels. Elle est effectuée en complément de la phase 8.3.2. Les essais réalisés peuvent être la quantification des éléments traces métalliques (ETM), l'analyse granulométrique, la masse volumique absolue, la finesse Blaine...

#### 8.3.3.2. *Essais en laboratoire*

Cette phase vise à étudier l'introduction des déchets dans des mortiers en substitution d'une partie des constituants initiaux (ciment, sable). Les essais réalisés (normalisés) sont effectués sur mortiers frais (mesure de l'étalement, air occlus, masse volumique...) et durcis (essai de résistances mécaniques en flexion et compression à différentes échéances, essais de variations dimensionnelles...).

#### 8.3.3.3. *Intérêts des différents essais*

Afin de pouvoir évaluer l'influence de la présence du co-produit, des mortiers témoins fabriqués à base de constituants normalisés (ciment, sable normalisé, eau voire additions minérales) sont également fabriqués et permettent une comparaison des différents résultats.

En fonction du co-produit et des résultats obtenus, d'autres essais peuvent compléter la caractérisation en laboratoire (exemple : Le Chatelier, temps de prise...).

Les résultats obtenus permettent de préciser la future utilisation du co-produit dans le béton et de sélectionner le type d'application dans laquelle ce dernier pourrait être incorporé. À ce stade, le secteur source possède suffisamment d'éléments pour se rapprocher d'un site utilisateur.

### 8.3.4. *Phase 4 : Faisabilité technique à l'échelle pré-industrielle*

#### 8.3.4.1. *Essais techniques*

Les essais techniques ont pour objectif d'évaluer la pertinence de l'incorporation du co-produit, en substitution d'un ou plusieurs constituants traditionnels, dans la formulation industrielle du produit en béton sélectionné ou de l'application sur chantier. Cette évaluation passe par la réalisation de





fabrications représentatives de celles faites habituellement. En parallèle des fabrications tests, des compositions témoins sont également réalisées afin de pouvoir comparer les futurs produits en béton dans les mêmes conditions de production.

En fonction du co-produit, un ajustement de certains paramètres de composition (eau d'ajout, adjuvant...) et/ou du processus de fabrication (puissance, temps de vibration...) peut être nécessaire.

Une fois la composition optimisée, la variabilité du co-produit doit être évaluée sur les performances du produit fini en béton. Afin d'assurer un contrôle de la qualité et de la variabilité des co-produits étudiés, il est souhaitable que la fiche technique soit accompagnée d'un protocole qualité engageant le site source à assurer une certaine qualité de son produit.

#### 8.3.4.2. Étude sanitaire

Des essais sanitaires (analyses d'émission de substances dans l'eau par des tests de lixiviation, émissions de COV dans l'air intérieur) doivent être réalisés sur produit ou sur béton incorporant des co-produits afin d'évaluer le potentiel polluant et l'éventuel risque pour les futurs utilisateurs et pour l'environnement. Un essai sur béton concassé permettra également de simuler un scénario de déconstruction et d'évaluer la recyclabilité du béton.

En parallèle, les impacts de l'utilisation sur l'hygiène et la sécurité au travail doivent également être étudiés.

Lors de la manipulation de co-produits, les précautions à prendre doivent être adaptées.

Le port des Équipements de Protection Individuelle, et en particulier le masque, les gants et les lunettes, est alors souvent obligatoire.

La rédaction d'une fiche semblable à une Fiche Donnée Sécurité peut en parallèle permettre d'informer et de responsabiliser les utilisateurs directs du co-produit.

## 9. CONCLUSION

Les travaux menés dans le cadre du Projet National Recybéton ont permis de montrer que le béton est un matériau parfaitement recyclable et réutilisable pour faire de nouveaux bétons.

D'un point de vue technico-économique, la valorisation de matières premières secondaires ou co-produits industriels devient une nécessité pour le secteur source. En effet, la mise en décharge ou l'élimination n'est pas une solution pérenne pour les producteurs des déchets et tend à devenir très onéreuse.

Coté utilisateur, les études menées sur les co-produits industriels, notamment par le CERIB, confirment souvent que le béton constitue un excellent matériau pour intégrer des quantités optimisées de co-produits, sans diminution de ses performances et en favorisant une gestion durable des ressources naturelles. Un des points déterminants, outre les résistances mécaniques et la durabilité, correspond au maintien des excellentes performances sanitaires et environnementales du béton.

L'incorporation d'un co-produit dans un béton implique donc la réalisation d'une étude spécifique au préalable.

Ce qui limite aujourd'hui l'utilisation des matières premières secondaires dans les bétons n'est pas que d'ordre technique :

- la variabilité des caractéristiques techniques des matières premières secondaires ou co-produits industriels peut constituer un frein à leur utilisation dans les bétons. Elle peut être réduite par des opérations de prétraitement et encadrée par l'élaboration d'un cahier des charges spécifique ;
- les matières premières secondaires se trouvent en compétition avec les constituants traditionnels du béton ce qui impose un bilan global incluant les aspects économiques ;
- les filières amont (industrie émettrice du co-produit) et aval (industrie réceptrice) ne sont généralement pas suffisamment structurées pour avancer ensemble ; les opérations résultent encore aujourd'hui le plus souvent d'initiatives individuelles ; des plateformes se constituent pour homogénéiser certains co-produits, effectuer le cas échéant des « prétraitements » (mélanges, stabilisation...) afin de répondre aux cahiers des charges techniques, et faciliter la coordination de l'offre et de la demande ;
- le corpus des textes normatifs actuels est conçu par essence pour des matériaux traditionnels réalisés à partir de constituants eux-mêmes normalisés, ce qui est légitime et fondé mais ne facilite pas l'accès à de nouveaux constituants ; cela devrait évoluer dans le futur, tout en conservant bien entendu l'obligation de faire des bétons d'excellente qualité pour des ouvrages stables et durables ;
- la réglementation actuelle résulte d'un long processus d'élaboration ayant comme postulat implicite, et sans doute comme seul horizon, la vision qu'un déchet est destiné avant tout à la mise en décharge. Les acteurs impliqués dans l'économie circulaire s'organisent pour dépasser ce périmètre, qui ne correspond plus aux besoins sociétaux, et pour remettre en question ces postulats afin de progresser vers les objectifs du développement durable.

Enfin, il est essentiel de rappeler que les bétons de demain resteront majoritairement composés de constituants traditionnels, ces derniers ayant fait leurs preuves quant à l'obtention de bétons durables et sûrs. Les matières premières secondaires dont les co-produits industriels en particulier viennent plutôt en complément, leurs caractéristiques étant d'une grande diversité.

Aujourd'hui, la prise de conscience sur la nécessité de réduire fortement nos impacts sur l'environnement est partagée. Les innovations sur les matériaux, les produits et les systèmes constructifs sont autant de réponses prometteuses dès lors qu'elles intègrent réellement l'ensemble des effets sur l'environnement auxquels il convient d'ajouter les impacts sociétaux. Le béton, matériau porteur d'innovations, est incontestablement un matériau de construction majeur pour demain.





## 10. ANNEXE

### Exemples d'utilisation dans les bétons de co-produits industriels ou matériaux issus de la déconstruction des bâtiments

#### **Bordures avec incorporation dans le béton de verre-miroir – SOTUBEMA**

L'ID Scintibéton est une bordure scintillante en béton blanc normalisée pour îlots urbains ID1 et ID2. Sa particularité réside aussi dans la fonction vertueuse d'utiliser des matériaux issus du recyclage, par l'incorporation dans le béton de matériaux recyclés qui sont des particules de verre-miroir de fraction 6 à 10 mm.

La bordure est constituée d'un béton de masse classique à base de ciment gris et d'un béton de parement lavé à base de ciment blanc dans lequel on a remplacé les gravillons 4/8 alluvionnaire et 6,3/10 calcaire par du Miroir concassé Calcin 6/10 en provenance de Crouy.

Le traitement du parement se fait par un lavage immédiat qui élimine la laitance et fait ressortir le verre miroir. La fonction de cette bordure est aussi d'améliorer la sécurité routière sur les giratoires, surtout non éclairés. L'éclairage dynamique des véhicules crée des scintillements qui stimulent la vigilance des automobilistes.

Les écailles de verre-miroir réfléchissent la lumière naturelle et surtout artificielle (phares des véhicules). Les scintillements valorisent aussi l'ouvrage et l'aspect en béton blanc lisse avec écailles de verre-miroir visibles des bordures apporte aussi une fonction esthétique.



#### **Écrans acoustiques en béton à base de déchets de caoutchouc – CAPREMIB**

Le béton de caoutchouc est un béton de nouvelle génération qui s'inscrit dans la politique de recyclage des déchets et donc de l'économie circulaire. Pour 1 m<sup>2</sup> d'écran il faut 8 pneus de véhicules légers usagés.

Les qualités d'absorption acoustique du béton de caoutchouc sont identiques à celles du béton de bois. Insensible aux intempéries (humidité, chaleur, UV, gel...) le béton de caoutchouc demeure parfaitement stable et ne réclame pas d'entretien particulier.

Sa pérennité s'en trouve accrue (+ de 30 ans). Pour assurer l'isolation acoustique souhaitée, l'épaisseur totale des panneaux monobloc (béton de bois + âme béton + béton de caoutchouc) n'est que de 27 cm.





### **Clôtures écologiques fabriquées à partir de copeaux de bois recyclés – NICOLAS**

À base de granulats de bois et de produits naturels, CLOTURECO est la première gamme de clôture en béton écologique. Elle utilise les granulats de bois provenant tout naturellement des industries de bois françaises et contribue ainsi à la revalorisation des sous-produits.

La clôture est recyclable en fin de vie et elle est également 20 % plus légère qu'une clôture traditionnelle avec les mêmes résistances pour un prix et une finition équivalents. Plus écologique, elle permet l'utilisation de matières premières entièrement recyclables pour une fin de vie facilitée et plus légère pour un impact environnemental réduit pendant le transport.



### **Pavé éco-urbain en béton de coquillages recyclés – ESTIC Caen / projet VECOP\***

Ce projet vise à développer un nouveau matériau pour le secteur des travaux publics : **un éco-pavé drainant urbain à base de co-produits coquilliers issus de la pêche et de la conchyliculture.**

Le projet de recherche appliquée entend ainsi apporter une solution durable pour la valorisation de ces co-produits marins et contribuer à une meilleure gestion intégrée des eaux pluviales. Veolia Propreté participe à ce projet original de recherche et développement pour la valorisation des coquilles de coquillages en éco-granat pour les trottoirs et parkings.

\***VECOP** : projet européen pour la valorisation de co-produits coquillés marins en éco-pavés drainants porté par l'École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction de Caen (ESITC). Cofinancement FEDER Région Basse-Normandie. Partenaires : ESITC Caen, Univ. Caen-ABTE, Point P, SLP, Granvilmer, Veolia.



### **Recyclage des poteaux électriques en béton**

Avec l'enfouissement progressif des lignes aériennes électriques, ERDF a lancé plusieurs campagnes de recyclage des poteaux électriques en béton, en collaboration avec les Conseils Généraux de certains départements et des entreprises ou plateformes de recyclage.

Le Conseil Général de la Sarthe et ERDF ont notamment mené une démarche commune de recyclage des poteaux en béton déposés. Chaque année en Sarthe, 3 500 poteaux sont ainsi transformés en gravats servant à de futurs chantiers. Le site de recyclage de poteaux béton supports de lignes électriques permet de séparer l'acier et le béton du poteau en vue d'une revalorisation complète des poteaux électriques en béton.

Ce matériau recyclé est ensuite utilisé en remblaiement de tranchées, aménagement de plateformes industrielles, sous-couches de voiries. Au final, ce qui constituait un déchet, se transforme en matières premières pour de nouvelles applications, sans déperdition. Dans le Tarn-et-Garonne, c'est l'entreprise Gravaloire installée dans le Maine-et-Loire qui collecte et transforme les poteaux bétons. Ainsi après chaque opération de dépose des supports, soit suite à l'enfouissement du réseau, soit dans le cadre de remplacement de ces supports, les poteaux devenus inutiles sont acheminés vers trois aires de stockage prévues à cet effet dans le département.

Ainsi en fonction de la situation géographique des travaux en cours dans le département, les supports à recycler sont acheminés vers des lieux de stockage prévus à cet effet. En 2014, sur l'ensemble du département, ce sont plus de 100 supports pour un volume total





de plus de 100 tonnes qui ont été recyclés. Dans un premier temps, les poteaux sont traités afin de séparer l'acier et le béton ; l'acier est valorisé en fonderie pour un nouvel usage alors que le béton est réduit en gravas par un traitement de finition. Les matériaux sont transformés en matières premières pour de nouvelles applications, notamment dans les travaux publics (remblaiement, sous-couches de voirie...).



La société CMEG (Normandie) utilise des granulats issus du recyclage des bétons des poteaux électriques pour réaliser des murs à coffrage intégré.

Les objectifs de l'industriel sont de :

- réduire l'empreinte environnementale des éléments en béton ;
- anticiper les futures réglementations ;
- être force de proposition auprès des Maîtres d'Ouvrages.

Les granulats recyclés ont une distribution granulatoire correspondant à 4/14 mm. Ils sont utilisés à hauteur de 20 % du total des granulats. Chaque année, CMEG recycle environ 400 tonnes de granulats recyclés.



**Produit préfabriqué à base de granulats recyclés - CMEG**





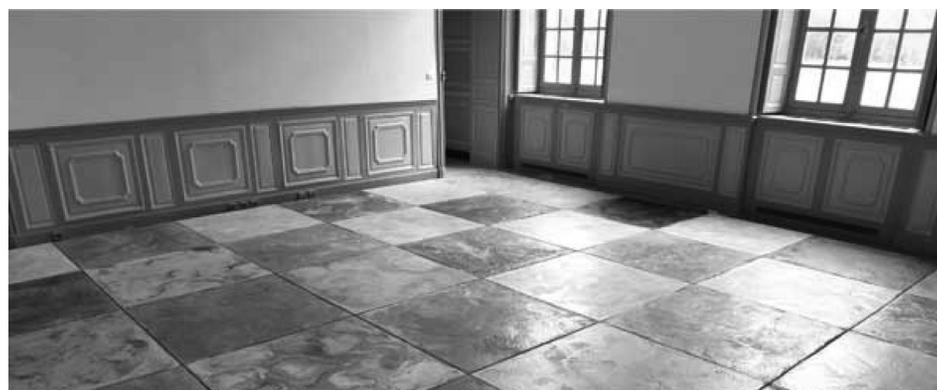
**Ouvrage réalisé à partir de produit préfabriqués incorporant des granulats recyclés - CMEG**

### **Le « Marbre d'ici » ou comment associer création artistique et recyclage des déchets du BTP – Stefan Shankland**

Le Marbre d'ici est une création de Stefan Shankland, artiste plasticien qui conçoit et réalise depuis plus de dix ans des projets artistiques intégrés aux processus de transformation à l'œuvre dans des contextes urbains, industriels et naturels, en France et à l'étranger. Il dirige actuellement le projet TRANS305 : un programme d'accompagnement artistique et culturel des mutations urbaines du quartier de la ZAC du Plateau à Ivry-sur-Seine. Son projet Marbre d'ici, prix COAL art et environnement 2011, est développé dans le cadre de la démarche HQAC (Haute Qualité Artistique et Culturelle) avec Raum architectes.

Le Marbre d'ici est à la fois une matière et un concept en perpétuelle évolution et renouvellement au fil des réalisations. Il s'agit d'une matière produite localement à partir de gravats inertes issus des démolitions d'immeubles. Concassés, mélangés à du ciment et de l'eau, puis coulés en strates, les déchets du BTP sont recyclés et deviennent un matériau noble à intégrer aux projets architecturaux et urbains, une nouvelle ressource pour la création contemporaine, le design, la construction et l'aménagement d'espaces publics. Par un travail plastique, social et symbolique, le Marbre d'ici transforme les décombres de la ville en objets et créations à haute valeur ajoutée.

Le Marbre d'ici a été utilisé pour réaliser une œuvre architecturale dans le cadre d'une résidence de recherche artistique portée par le centre d'art contemporain du domaine de Chamarande (Essonne). Le Marbre d'ici réalisé à Chamarande est une dalle de 50 m<sup>2</sup> composée de 36 carrés, chacun correspondant à un mélange de plusieurs compositions de béton réalisés à partir de différents déchets (béton, briques, moellons calcaire, débris de bois carbonisé...) préalablement réduit sous forme de poudres. Pour ce projet, Stefan Shankland et son équipe se sont rapprochés du CERIB (Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton) dans le cadre d'un partenariat consistant en un appui technique pour la mise au point des bétons et leur mise en œuvre sur site. Le projet réunit à la fois les aspects créatifs, esthétiques, sociétaux tout en constituant un réel challenge technique. Le Marbre d'ici illustre bien les qualités esthétiques du béton et ses multiples applications.



**Dalle réalisée à partir du Marbre d'Ici  
Centre d'art contemporain du domaine de Chamarande**





D'un point de vue technique, la difficulté a été de définir des compositions permettant d'atteindre des performances parfois contradictoires les unes par rapport aux autres : fort taux d'incorporation de granulats et fines issus de la déconstruction, fluidité, stabilité statique et durabilité. Les déchets de construction participent ainsi au squelette granulaire des bétons tout en colorant le matériau. Le travail collaboratif entre l'artiste plasticien et les techniciens du béton ont conduit au développement d'une structure composite permettant de répondre à toutes les attentes. Elle est composée de deux bétons posés l'un sur l'autre et d'un treillis constitué de fibre de verre. Un béton de masse se déformant peu est utilisé en sous-couche. Le treillis est ensuite posé sur le béton frais. Vient ensuite le béton de finition dont la fluidité est beaucoup plus élevée ce qui permet d'obtenir des lignes et des courbes fluides et harmonieuses à la surface du Marbre d'Ici.



**Marbre d'Ici - Stephan Shankland**

### **Recyclage du béton dans des blocs en béton de grandes dimensions – INERTA**

Depuis 1999, la société Inerta assure la prise en charge, le traitement, la commercialisation de matériaux et minéraux inertes. Inerta dispose de cinq sites de production implantés dans 4 départements en Bretagne. Elle valorise chaque année plus de 20 000 tonnes de matériaux, dont du béton issu de la démolition des bâtiments et infrastructures.

Les plateformes d'Inerta sont équipées de concasseurs, cribleurs, pelles et chargeuses. Elles produisent des granulats utilisés en sous-couche routière ou dans de nouveaux bétons. Les matériaux ferreux sont eux valorisés dans les fonderies.

Inerta produit en particulier des blocs en béton de grandes dimensions (1,60 x 0,80 x 0,80 m) d'un poids d'environ 2,4 tonnes. Ces blocs non armés sont équipés de dispositif de levage. Ils s'emboîtent les uns dans les autres pour former des murs. Ils sont utilisés par les clients d'Inerta pour délimiter des zones de stockage ou pour constituer des murs de soutènement.

Ces blocs sont réalisés à partir de constituants traditionnels (ciment, granulats) et incorporent en quantité variable selon les applications des granulats de bétons recyclés provenant de la démolition ou bien des retours des toupies de béton prêt à l'emploi. Les blocs peuvent aussi incorporer des co-produits industriels inertes provenant de fonderie par exemple.

Ils sont produits dans l'usine de Saint Avé (56890) ou bien directement sur site à l'aide d'une installation mobile. La centrale à béton mobile Blend permet de réaliser des blocs de bétons là où se situent les gisements de co-produits industriels ou de béton recyclé. Les transports sont ainsi limités au maximum.





**Déchets inertes provenant de la déconstruction de bâtiments  
et retours des camions toupies de bétons prêt à l'emploi - INERTA**



**Granulats obtenus après concassage - INERTA**





**Réalisation de blocs à partir de granulats recyclés - INERTA**



**Coulage des blocs sur site - INERTA**



**Utilisation des blocs pour le stockage - INERTA**





### **Granulats constitués de béton recyclé – GRANUDEM**

Dans le cadre d'une collaboration avec le CERIB, GRANUDEM implanté en Eure et Loir (28), met à disposition des utilisateurs des granulats constitués de béton recyclé issu de la démolition des bâtiments. Le béton collecté est broyé, criblé puis lavé pour être ensuite transformé en sable et gravillons recyclés de différents calibres.



**Installation de concassage et criblage - GRANUDEM**



**Granulats de béton recyclé – Coupures granulaires 0/4, 4/10, 10/20 et 20/40 mm - GRANUDEM**

### **Réutilisation des rebuts de fabrication dans les produits préfabriqués – MARLUX**

La société MARLUX, usine de Cantin (59) réalise des dalles en béton (dalles de jardin, dalles d'étanchéité destinés aux toits terrasse...). Les rebuts de fabrication sont stockés à l'abri des intempéries. Une ou deux fois par an, lorsque la quantité est suffisante (environ 1000 tonnes) une campagne de concassage est réalisée. Un concasseur du type de ceux utilisés pour les routes est acheminé sur le site de production. L'opération de concassage dure trois jours. La granulométrie des granulats réalisés est ajustable, de 0/6 mm à des fractions plus grossières. Les nouveaux granulats sont utilisés pour réaliser les bétons de masse des produits de dallage.



**Rebuts de fabrication destinés à être broyés puis recyclés - MARLUX**

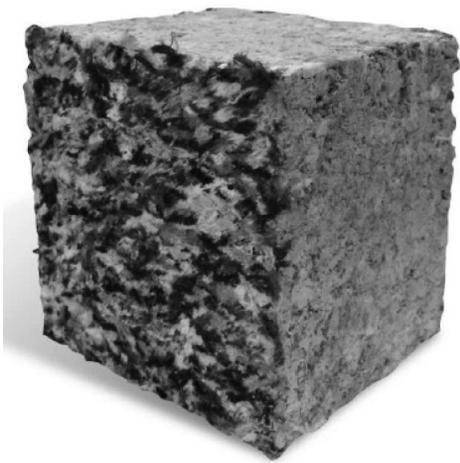




### **Écrans acoustiques en béton de chiquettes textiles – FRAMIMEX**

La société FRAMIMEX recycle des textiles usagés collectés par des associations caritatives. En collaboration avec le CERIB, FRAMIMEX a développé une gamme de béton léger à base de morceaux de textiles (chiquettes) pour les écrans acoustiques. La durabilité de ce béton a été testée par le biais d'essais de résistance au gel, d'essais de vieillissement aux UV et à la pluie et d'essais de résistance au nettoyage au jet d'eau haute pression.

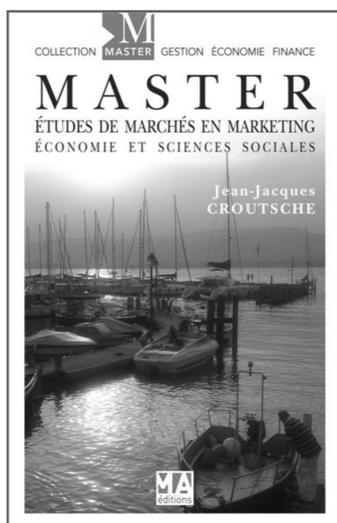
Ces travaux ont permis de valider la faisabilité d'un écran acoustique absorbant en béton de chiquettes textiles. Le dimensionnement de ce type d'écran est identique à celui d'un écran en béton de bois. Les propriétés d'absorption acoustique permettent la production d'écran de classe A3, voire A4, ce qui correspond respectivement à des absorptions acoustiques comprises dans les intervalles [8 - 11] et [12 - 15].



MA Éditions - ESKA

**MASTER**  
**ÉTUDES DE MARCHÉS EN MARKETING**  
**ÉCONOMIE ET SCIENCES SOCIALES**

**Jean-Jacques Croutsche**



Une réflexion plus approfondie permettra aux étudiants de dépasser le stade élémentaire de l'étude des données. Dépassant le cadre étroit des outils, ils devraient pouvoir au travers des différentes méthodes optimiser leurs choix et commencer à appréhender un autre aspect de la statistique : la sensibilité et la finesse dans la compréhension des résultats et leur mise en application. Les modes opératoires de calcul tendent à une certaine exhaustivité laquelle confère à l'ouvrage une certaine ouverture.

Cet ouvrage est destiné à tous les étudiants désireux de découvrir les techniques d'études et d'analyse des marchés et de la concurrence. Ces derniers y trouveront les outils techniques utiles et nécessaires à la compréhension des marchés. Les techniques statistiques et informatiques sont

présentées dans cet ouvrage avec clarté et les approches appliquées permettront d'aider à la compréhension de l'ensemble des techniques utilisées par la plupart des cabinets d'études. Les techniques des plus simples aux plus sophistiquées permettront aux étudiants qui pratiquent la recherche de mieux comprendre les outils utilisés en matière de recherche.

**Les étudiants de premier cycle (IUT, L1, L2, BTS...)** apprendront à utiliser de façon optimale les différents concepts et les approches statistiques grâce aux applications faisant l'objet des développements traités dans l'ouvrage notamment en matière d'échantillonnage - **Les étudiants de second cycle (L3, Master 1...)** trouveront les approfondissements aux outils et connaissances acquises dans le cours de leurs études antérieures - **Les étudiants de troisième cycle (Master 2, travaux de recherche)** trouveront dans cet ouvrage les bases nécessaires aux développements plus complexes des analyses multivariées. Les méthodes de recherches, les développements sur les mesures, les indicateurs de validité de ces mesures, leur donneront les éléments de base utiles et nécessaires à la réalisation de travaux de recherche - **Les praticiens** apprécieront les méthodes pratiques proposées, ainsi que les utilisations immédiatement possibles à partir d'EXCEL et de SPHINX. De façon plus élargie, ils verront dans cet ouvrage les modèles et les applications informatiques qu'il est possible de mettre en place dans leurs entreprises.

**Jean-Jacques Croutsche**, Docteur en Economie et Administration des Entreprises, mène une triple activité de Professeur, Directeur de Recherche et Consultant. Professeur dans différentes écoles de commerce et de management, Professeur invité dans différentes universités étrangères, il a enseigné également à l'Université de Paris Dauphine et de Paris 13 Université dans laquelle il a été vice doyen de la faculté de sciences économiques et de gestion, directeur du pôle de gestion et directeur d'un Master de Gestion des Entreprises et des Organisations. Directeur de recherche, il encadre des thèses et différents travaux de recherche en France et à l'étranger et plus spécifiquement en Marketing, en Analyse des données, en Management du Tourisme et en Management durable. Il est l'auteur de plus de 100 publications nationales et internationales dans les différents domaines du management. Il est également l'auteur de 14 ouvrages.

**BON DE COMMANDE**

Je désire recevoir ..... exemplaire(s) de l'ouvrage : « **MASTER – Etudes de marchés en Marketing, Économie et Sciences sociales** » par **Jean-Jacques Croutsche** - Code EAN 978-2-8224-0490-7

Prix : 40,00 € + 1,00 € de frais de port, soit ..... € x ..... exemplaire(s) = ..... €

Je souhaite commander :  100 ex  200 ex  300 ex  400 ex  500 ex  
remise de 5 % à partir de 100 exemplaires

Je joins mon règlement à l'ordre des Editions ESKA :  chèque bancaire

Carte Bleue Visa n° .....  Date d'expiration : .....

Signature obligatoire :

par Virement bancaire au compte des Editions ESKA

Etablissement BNP PARIBAS – n° de compte : 30004 00804 00010139858 36

IBAN : FR76 3000 4008 0400 0101 3985 836 BIC BNPAFRPPCE

Je souhaite recevoir une Convention de formation

**Société / Nom, prénom** : .....

**Adresse** : .....

**Code postal** : ..... **Ville** : ..... **Pays** : .....

**Tél.** : ..... **Fax** : ..... **E-mail** : .....

Veuillez retourner votre bon de commande accompagné de votre règlement à l'adresse suivante :

MA Editions - ESKA – Contact : [adv@eska.fr](mailto:adv@eska.fr)

12, rue du Quatre Septembre – 75002 Paris - France - Tél. : 01 42 86 55 75 - Fax : 01 42 60 45 35

communiqués — colloques

## Le Contrôle Non Destructif (CND) Et la contrôlabilité des matériaux et structures

De Gilles Corneloup et Cécile Gueudré

*PPUR - Collection : METIS Lyon Tech - 14/10/2016*

Le Contrôle Non Destructif (CND) regroupe un large ensemble de méthodes permettant de contrôler un objet sans le modifier. Le diagnostic ne doit souffrir d'aucune ambiguïté, particulièrement dans le cadre de secteurs industriels sensibles comme le nucléaire ou l'aéronautique. Cet ouvrage présente de façon exhaustive les paramètres permettant de réaliser cette évaluation. Les conditions d'apparition et les caractéristiques des défauts potentiels sont exposées en détail, ainsi que les principes physiques, la technologie et les méthodes actuelles de CND, qu'elles soient courantes (ultrasons, radiographie...) ou spécifiques (ACFM...). Ce manuel décrit également les méthodes d'identification des facteurs susceptibles de dégrader les mesures et de fausser le diagnostic, ainsi la notion de « bruit de structure » est définie et les paramètres environnementaux sont introduits. Des solutions, notamment issues des progrès réalisés en modélisation des phénomènes et en optimisation par inversion, sont également proposées. L'ouvrage traite enfin des traitements a posteriori des informations obtenues (signal, image), et expose une nouvelle approche (RC-CND) montrant l'intérêt de la prise en compte de règles de CND dès la conception des structures. Cette synthèse sans équivalent présente plusieurs niveaux de lecture ; elle s'adresse ainsi tout autant aux professionnels et praticiens du domaine, pour qui elle constituera une référence précieuse et durable, qu'aux étudiants de licence, master ou doctorat, qui découvriront dans ces pages toute la richesse et le potentiel de cette discipline.



## Objectifs

Les 35<sup>èmes</sup> Rencontres universitaires de Génie Civil de l'AUGC, organisées par le Laboratoire Gem (Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes) se tiendront à Nantes du 22 au 24 mai 2015. Elles seront précédées d'une demi-journée de formation doctorale, le 21 mai 2015.

Ces journées permettront de réunir enseignants, chercheurs et professionnels pour des échanges aussi bien sur la formation que sur la recherche et l'état des avancées dans les domaines du génie civil, sous la forme de sessions orales ou de posters.

Cette année, les rencontres sont dédiées à la place du Génie Civil face aux défis environnementaux de demain.

## Calendrier

- 05 FEVRIER 2017** Limite de soumission d'un résumé étendu (4 pages)
- 05 MARS 2017** Notification aux auteurs (acceptation) par le comité scientifique.
- 05 AVRIL 2017** Limite de réception des communications finales.

## Tarifs d'inscription

	Etudiant	Académique	Industriel	Accompagnant
<b>Avant le 22 avril</b>	150 €	250 €	300 €	150 €
<b>Après le 22 avril</b>	250 €	350 €	400 €	250 €

Journée doctorale : 50 €

Les cotisations tiennent compte des adhésions à l'AUGC (10€ pour les doctorants et 25 euros pour les enseignants chercheurs)

## Lieu



© Service photo - Université de Nantes

Les rencontres se tiendront à l'UFR Pharmacie de l'Université de Nantes située au centre de Nantes à 5 mn de la gare SNCF (par tram) et à 20 mn de l'aéroport (par navette).

Adresse : 9 rue Bias 44035 Nantes



## Organisateurs



**RUGC17**

35<sup>èmes</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC

**"Le Génie Civil face aux défis Environnementaux"**



21-24 mai 2017, Nantes  
<http://rugc17.sciencesconf.org>

## Thèmes scientifiques

- ✓ **Environnement**  
Génie côtier, Génie off-shore, Analyse de cycle de vie
- ✓ **Matériaux**  
Matériaux bio-sourcés, Ecomatériaux, Matériaux cimentaires, Sols et roches
- ✓ **Structures**  
Infrastructures, Interactions fluide-structure, Interactions sol-structure, Géotechnique, Dynamique
- ✓ **Physique du bâtiment**  
Bâtiments durables, Aspects multi-physiques, Thermique et climatique
- ✓ **Durabilité**  
Endommagement, Corrosion, Fatigue, Vieillessement, Attaques chimiques

## Prix René Houpert

Le Prix "René Houpert" récompense les travaux de recherche présentés par des doctorants en fin de thèse ou venant de soutenir. La déclaration de candidature doit se faire avant le 15 janvier 2017. La validation et la soumission de la communication se font aux dates ci-dessous :

- 15 JANVIER 2017** Limite de soumission de la déclaration de candidature (voir site)
- 07 FEVRIER 2017** Notification aux auteurs (acceptation).
- 16 MARS 2017** Limite de réception des communications (8 pages).
- 13 AVRIL 2017** Retour des remarques du Comité Scientifique.
- 23 AVRIL 2015** Limite de retour des corrections.

Contact : ouali.amiri@univ-nantes.fr

## Prix poster

Le meilleur poster sera récompensé par une dotation financière.

## Ateliers thématiques

Des ateliers thématiques seront proposés afin de mener une réflexion collective sur :

- ✓ L'insertion des Docteurs
- ✓ L'enseignement du BIM
- ✓ Les technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement

## Publications

Une sélection de papiers sera proposée pour publication dans l'EJECE (<http://www.tandfonline.com/toc/tece20/current>) et Les Annales du BTP ([http://eska-publishing.com/index.php?id\\_category=1380&controller=category&id\\_lang=1](http://eska-publishing.com/index.php?id_category=1380&controller=category&id_lang=1))

## Programme provisoire

**Dimanche 21 mai 2017 (après-midi)**

Demi-journée de formation doctorale

**Lundi 22 mai 2017**

1<sup>ère</sup> Plénière

Demi-finale du Prix René Houpert

Sessions parallèles

**Mardi 23 mai 2017**

2<sup>nd</sup>e Plénière

Sessions parallèles

Ateliers thématiques

Finale du Prix René Houpert

Assemblée générale de l'AUGC

Repas de gala

**Mercredi 24 mai 2015**

3<sup>ème</sup> Plénière & Sessions parallèles

## Comité scientifique

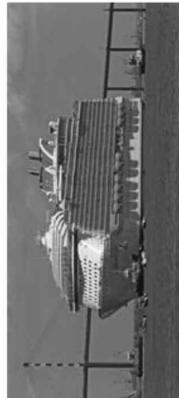
Le comité scientifique est composé d'enseignants-chercheurs et de chercheurs francophones sélectionnés par l'AUGC pour assurer la qualité scientifique des communications acceptées.

Le comité scientifique est présidé par son Président Sofiane Amziane (Professeur, Institut Pascal, Université Blaise Pascal). Les membres du comité scientifique sont présentés sur <http://rugc17.sciencesconf.org>

## Comité d'organisation

- O. Amiri (GeM, Université de Nantes)
- F. Grondin (GeM, Ecole Centrale de Nantes)
- A. Loukili (GeM, Ecole Centrale de Nantes)
- A. Khelidj (GeM, Université de Nantes)
- Tous les membres des équipes IEG et MEO du GeM

## Autour de Nantes





Association pour la promotion  
de l'enseignement de la construction acier

## 3<sup>e</sup> ASSISES DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

### Transition énergétique et révolution numérique : la construction métallique relève le défi

#### *Invitation préliminaire - Appel à communications*

Le développement durable se définit comme la recherche d'un équilibre dans la satisfaction des besoins essentiels pour l'existence au sein d'une société : conditions économiques, environnementales, sociales et culturelles. Et cet équilibre est à construire malgré, ou plutôt avec, le bouleversement majeur que le numérique imprime au comportement des personnes comme à la conduite des projets.

Dans chacun de ces domaines, la construction métallique peut et doit faire valoir ses atouts pour construire l'avenir. L'APK (Association pour la Promotion de l'Enseignement de la Construction Acier) vous propose d'y réfléchir ensemble les **mercredi 29 et jeudi 30 mars 2017** au cours de deux journées de conférences et tables-rondes à l'ENS de Cachan.

Par le biais de ces Assises, l'APK souhaite rassembler **tous les acteurs** de la construction métallique pour confronter les expériences, valoriser les démarches innovantes, faire le point sur les besoins des entreprises et leurs conséquences sur les évolutions pédagogiques et réfléchir aux impacts de la révolution numérique sur l'enseignement et la profession de la construction métallique.

Ces journées concernent aussi bien l'enseignement secondaire que l'enseignement supérieur, tous niveaux confondus, les CFA, les écoles d'ingénieurs, les écoles d'architecture et les écoles de spécialisation, que tous les organismes qui recrutent les diplômés : les entreprises, les concepteurs, les bureaux d'ingénierie, les bureaux de contrôle, les prescripteurs, les créateurs et distributeurs d'outils de conception ou d'outils numériques, les entreprises sidérurgiques, etc. avec tous les enseignants de formation initiale, continue et en alternance.

Les conférences auront une durée de 20 à 30 minutes. Nous vous remercions de nous transmettre vos propositions de communications s'inscrivant dans l'un des thèmes indiqués ci-après, avant le :

**15 décembre 2016**

Toutes propositions, questions ou suggestions doivent être adressées directement à Marie-Christine Ritter :  
[mcritter@construiracier.fr](mailto:mcritter@construiracier.fr)

Nous vous remercions par avance pour votre participation, vos contributions et apports, qui nous aideront à faire de ces 3<sup>e</sup> Assises de la Construction Métallique un nouveau moment fort qui marquera nos professions.



Jean-Pierre MUZEAU  
Président de l'APK

Cette manifestation est organisée avec le soutien de :



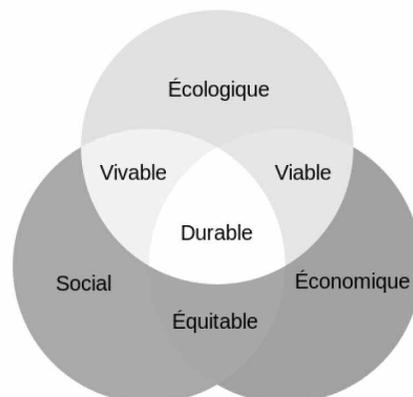

# APK

Association pour la promotion  
de l'enseignement de la construction acier

## Thèmes proposés :

### Enjeux environnementaux

- Obligations réglementaires existantes et à venir (vers la Nouvelle Réglementation Environnementale)
- Atouts de la construction métallique (recyclage, préfabrication, filière sèche...)
- Performance environnementale :
  - des produits de construction en acier (FDES)
  - des opérations de construction métallique
  - des ouvrages en exploitation (labels et certifications)
- Déconstruction, traitement des déchets et recyclage
- Prise en compte de la performance environnementale de la construction dans l'enseignement et messages à faire passer au niveau :
  - du secondaire (collèges et lycées)
  - des BTS
  - des IUT
  - des écoles d'ingénieur
  - des mastères



### Enjeux socio-culturels

Un des grands enjeux socioculturels auxquels le monde de la construction est aujourd'hui confronté est la transition numérique qui instaure notamment de nouveaux rapports humains dans l'entreprise.

Comment les entreprises se préparent-elles au travail en mode numérique et à attirer et intégrer de jeunes collaborateurs, de tous niveaux de formation, « formatés numérique » ?

- Évolution des profils et centres d'intérêt des arrivants sur le marché du travail : les générations X, Y, Z, alpha...
- L'incidence du BIM sur l'organisation des entreprises de construction métallique dans toutes les phases de leur activité : de l'offre à la livraison des ouvrages
- L'incidence de la robotique avancée dans les ateliers de construction métallique
- Le numérique dans l'enseignement :
  - Secondaire (collèges et lycées)
  - IUT et BTS
  - Ecoles d'ingénieur
  - Mastères
- Table ronde enseignants - entrepreneurs

### Enjeux économiques

Si la construction métallique parvient à communiquer sur les performances environnementales des solutions qu'elle porte, si elle parvient à attirer suffisamment de jeunes collaborateurs créatifs et motivés, encore faut-il que les solutions portées soient économiquement efficaces comparées aux filières concurrentes.

- Positionnement économique des solutions acier
- Notion de coût global
- Apport des solutions multi-matériaux
- L'économie de la construction dans l'enseignement

Cette liste n'est pas exhaustive et vous pouvez proposer d'autres sujets et même d'autres thèmes.

Cette manifestation est organisée avec le soutien de :

**ENS**  
C A C H A N

**Construire CIER**  
Communiquons le réflexe acier



Association pour la promotion  
de l'enseignement de la construction acier

## Appel à communications

- Date limite pour l'envoi des résumés : **15 décembre 2016**
- Acceptation des résumés par le comité scientifique : **10 janvier 2017**
- Les résumés des communications ne devront pas dépasser 300 mots et être rédigés en français.

## Comité scientifique

- Jean Coudroy, ENS de Cachan
- Loïc Da Silva, Inexom, pour les bureaux d'études
- Laure Delaporte, ConstruirAcier, pour la filière acier
- Dominique Dhier, SMB CM pour les entreprises de construction métallique
- Daniel Dréau, Lycée Aristide Briand de Saint-Nazaire pour les sections BTS
- Christelle Gress, INSA Strasbourg, pour les écoles d'architecture
- Thierry Kessenheimer, IA-IPR, pour le ministère de l'éducation nationale
- Patrick Le Chaffotec, pour le CTICM
- Federico Mazzolani pour les membres internationaux
- Christophe Ménage, ConstruirAcier, pour la communication
- Sébastien Mercadier, INSA de Toulouse, pour les IUT et les écoles d'ingénieurs
- Jean-Pierre Muzeau, pour les écoles d'ingénieurs et les écoles de spécialité
- Jean-Pierre Tahay, Viry SA, pour les entreprises de construction métallique

## Comité d'organisation

- Jean Coudroy, ENS de Cachan
- ConstruirAcier :
  - Christophe Ménage
  - Laure Delaporte
  - Marie-Christine Ritter

## Contact

- Marie-Christine Ritter  
Tél. : +33 (0)1 46 98 20 00  
Fax : +33 (0)1 46 98 20 09  
Email : [mcritter@construiracier.fr](mailto:mcritter@construiracier.fr)

Cette manifestation est organisée avec le soutien de :






*Génie Civil = construction + infrastructures + environnement*  
[www.augc.asso.fr](http://www.augc.asso.fr)

## LA LETTRE D'INFORMATION DE L'AUGC

Janvier 2017

### EDITO – LE MOT DU PRESIDENT

Chères et chers collègues,

En premier lieu, je me permets de vous adresser, en mon nom, et de la part de l'ensemble des membres du CA et du CS de l'AUGC mes meilleurs vœux pour la nouvelle année. Que 2017 vous soit heureuse et fructueuse, sur le plan personnel comme sur le plan professionnel. Quant à l'AUGC souhaitons-lui d'être aussi active qu'en 2016 avec, en particulier, la mise en place d'un nouveau site web. Espérons que ce nouveau vecteur de communication puisse rassembler encore plus nos collègues, chercheurs expérimentés ou plus jeunes autour de notre association.

Janvier est la période où nos Rencontres Annuelles se profilent déjà. Les organisateurs sont à pied d'œuvre pour que les rencontres de Nantes soit une réussite à la hauteur des précédentes. Nous pourrions profiter pleinement des atouts de la métropole du Grand Ouest français pour échanger et partager dans un environnement de qualité.

2017 sera aussi l'occasion de renouveler mon mandat au CA de l'AUGC et l'occasion d'accueillir de nouveaux membres à l'association.

Avec tous mes vœux et toute mon amitié

Olivier Plé, président de l'AUGC

### SOMMAIRE

- 1 – Prochaines rencontres à Nantes et Saint-Nazaire
- 2 – Rencontres 2018 et ultérieures
- 3 – Aides pour missions
- 4 – Adhésions individuelles et groupées
- 5 – Mise à jour des fiches individuelles
- 6 – Mise en place de journées thématiques labellisées par l'AUGC
- 7 – Lettre ANR
- 8 – Rubrique emploi du site Internet
- 9 – Refonte du site Web
- 10 – Concours logo AUGC – Photothèque
- 11 – Annonces de congrès



Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
[www.augc.asso.fr](http://www.augc.asso.fr)

## 1 – PROCHAINES RENCONTRES A NANTES

Les 35<sup>ème</sup> rencontres de l'AUGC se dérouleront à Nantes sur le site de l'UFR de Pharmacie de l'Université de Nantes entre le lundi 22 et le mercredi 24 Mai 2017 autour du thème du « Génie Civil face aux défis environnementaux ».



UNIVERSITÉ DE NANTES



Centrale  
Nantes  
ACCÉLÉRATEUR DE VOTRE ÉNERGIE

**RUGC17**  
35<sup>èmes</sup> Rencontres Universitaires  
de Génie Civil de l'AUGC

**"Le Génie Civil face aux défis Environnementaux"**




UFR de Pharmacie – Université de Nantes

21-24 mai 2017, Nantes  
<http://rugc17.sciencesconf.org>

Les rencontres seront précédées le dimanche 21 Mai Nantes d'une formation doctorale orientée sur la durabilité des ouvrages (aspects numérique et expérimental). Comme l'année dernière à Liège, cette formation sera filmée pour une mise à disposition pour l'ensemble de notre communauté.

La date limite pour envoyer vos travaux est le **5 février**. Les communications se feront sous la forme d'un résumé étendu de 4 pages.

AUGC - Newsletter Janvier 2017

2



Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
[www.augc.asso.fr](http://www.augc.asso.fr)

## 2 – RENCONTRES 2018 ET ULTERIEURES

Pour 2018, c'est Saint-Etienne qui a été l'unique candidat pour l'organisation des Rencontres. Elles se tiendront entre le 29 Mai et le 1<sup>er</sup> juin 2018. Pour 2019, les laboratoires et villes intéressés peuvent dès à présent nous adresser leur candidature.

## 3 – AIDES POUR MISSIONS – PROCHAINE DATE LIMITE 28/02/2017

Le CA met en place 2 dates pour l'examen des demandes d'aides financières (congrès, missions, participation aux comités internationaux...) : **28 février** et **30 septembre** pour une réponse dans le mois qui suit. Les montants alloués par l'association à cette aide doivent nous permettre de financer tous les ans **4 jeunes chercheurs et 4 chercheurs confirmés**.

Jeunes chercheurs (moins de 10 ans d'expérience y compris doctorants) : 300 à 500 euros (limité à 50% du montant de la mission)

Chercheurs confirmés (séniors) : 500 euros (limité à 50 % du montant de la mission).

Contrepartie demandée : remerciement de l'AUGC dans les documents produits, mise à disposition du diaporama sur le site de l'AUGC, mise en ligne via HAL de l'article.

Le document décrivant les modalités de demande est téléchargeable sur le site ([lien vers le document](#)). Attention, les demandes doivent être adressées à l'association **6 mois** avant la date du congrès.

**Nouveauté** : soutien financier couplé AUGC/AFGC pour les doctorants de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année se rendant à des congrès internationaux organisés par des sociétés savantes internationalement reconnues (RILEM, fib et l'ABSE). Ce soutien permettra d'augmenter la visibilité de la recherche Française à l'internationale dans le domaine du Génie Civil.

Le document décrivant les modalités de demande est téléchargeable sur le site ([lien vers le document](#)). Dans ce cas, les remerciements des deux associations devront apparaître sur les documents produits. La procédure de demande d'aide reste la même que la procédure classique, les demandes étant traitées en même temps.

## 4 – ADHESIONS INDIVIDUELLES ET GROUPEES

Si vous n'êtes pas encore adhérent, il est encore possible de rejoindre l'association. Pour cela, plusieurs démarches sont possibles :

AUGC - Newsletter Janvier 2017

3



**AVGC**  
Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

[www.augc.asso.fr](http://www.augc.asso.fr)

- Adhésion lors de l'inscription aux prochaines rencontres  
- Inscriptions individuelles  
- Inscriptions groupées pour les membres d'un même laboratoire

Vous trouverez les liens vers les documents d'adhésions en cliquant sur les liens suivants ([Formulaires pour adhésion individuelle](#)) ([Formulaire pour adhésion groupée](#)).

**N'oubliez pas de profiter de votre adhésion ou de votre renouvellement pour mettre votre fiche à jour sur le site !**

**5 – MISE À JOUR DES FICHES INDIVIDUELLES**

Afin de continuer à apparaître sur l'annuaire de l'AUGC, pensez à mettre à jour vos propres fiches en cliquant sur le lien suivant ([mise à jour des fiches individuelles](#)) même si vous êtes à jour de la cotisation.

Pour les correspondants territoriaux, mettez à jour les informations de vos laboratoires, formations et écoles doctorales. Cette procédure permet de vérifier les données personnelles et de les mettre à jour et optimise l'efficacité de notre annuaire.

**6 – MISE EN PLACE DE JOURNÉES THEMATIQUES ET CONGRES LABELISEES PAR L' AUGC**

L'AUGC propose de labelliser et de sponsoriser (pour un montant maximum de 1500 €) des journées thématiques en lien avec le Génie Civil.

L'association espère pérenniser deux rendez-vous, un au printemps l'autre à l'automne, afin de rythmer la vie scientifique de la communauté hors de la période des rencontres.

Les demandes de labellisation sont à envoyer à l'AUGC, en suivant la procédure disponible en fin de Newsletter ou sur le site ([lien vers le formulaire](#)).

**Nouveauté :** Cette année, L'AUGC propose également de sponsoriser des colloques ou rencontres internationales impliquant des membres de l'association et portant sur les thématiques du Génie Civil. Une fiche de candidature spécifique est disponible sur le site internet ([lien vers le formulaire](#)).

En contrepartie du soutien, les organisateurs du congrès devront s'engager à fournir une compensation aux membres de l'association participants (tarif d'inscriptions réduit, formation doctorale gratuite...). Cette politique de soutien doit permettre d'augmenter la visibilité de l'association à l'international tout en facilitant l'accès des membres de l'association à des colloques internationaux se tenant sur notre territoire.

AUGC - Newsletter Janvier 2017

4



**AVGC**  
Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

[www.augc.asso.fr](http://www.augc.asso.fr)

**7 – LETTRE ANR**

Le CA et le CS de l'AUGC ont travaillé de concert à la rédaction d'une lettre pour l'ANR basée sur les avis des experts de notre domaine de recherche et des éléments factuels à notre disposition (nombres de chercheurs et enseignants chercheurs en Génie Civil, nombre de laboratoire, taux d'implication dans les PN et le FUJ, taux de réussite des appels à projet Européen, pression socio-économique du secteur,...). Devant le faible taux de réussite 2016, l'association se devait de réagir.

**8 – RUBRIQUE EMPLOI DU SITE INTERNET**

Le site internet de l'AUGC propose une rubrique EMPLOI où il est possible de consulter ou de déposer des offres d'emploi.

Cette rubrique vous permet de déposer des offres de stages (Master recherche), de bourses de thèse, de postes d'ATER ou encore d'informer sur la mise en place d'un concours pour le recrutement d'un enseignant-chercheur.

Plusieurs postes ont été récemment mis en ligne (Bourses de thèses, postdoctorats...).

N'hésitez pas à utiliser cette plateforme en utilisant le lien suivant ([rubrique emploi de l'AUGC](#)) qui vous permet de toucher un grand nombre de candidats potentiels.

Une dizaine d'offres sont par ailleurs actuellement en ligne.

**9 – REFORTE DU SITE WEB**

L'AUGC a entamé les démarches de modernisation de son site WEB. Un groupe de travail a été mis en place et après la rédaction du cahier des charges, un appel d'offre a été envoyé à une dizaine de prestataires. Un nouveau prestataire a été choisi et la mise en site du nouveau site est prévue pour les prochaines rencontres de Nantes.

Nous espérons que ce nouveau site sera la nouvelle vitrine de l'association et améliorera sa visibilité et sa communication sur le plan national comme international.

**10 – CONCOURS LOGO AUGC - PHOTOTHEQUE**

Parallèlement, la recherche d'un nouveau logo est lancée. Un concours est ouvert aux membres de l'association. Un prix de 500€ est à gagner.

AUGC - Newsletter Janvier 2017

5



Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
www.augc.asso.fr

Les modalités de participation sont disponibles sur le site du concours (Concours logo AUGC) et en fin de cette lettre. La date limite du concours est le **2 Mai**. Le nouveau logo sera dévoilé lors des prochaines rencontres de Nantes.

[Redacted]

Le logo devra pouvoir se marier avec la couleur dominante du prochain site internet de l'association :

Afin d'illustrer le futur site, l'association recherche des photographies représentant l'activité de la communauté scientifique du Génie Civil. Nous vous invitons donc à nous envoyer vos meilleurs images (ouvrages, simulations, manipulations, échantillons) afin de constituer une photothèque participant à mettre en valeur nos activités.

### 11 – ANNONCES DE CONGRES, COLLOQUES ET SEMINAIRES (EVENEMENTS ET ACTUALITES)

Des annonces de congrès, de colloques et séminaires sont régulièrement mises en ligne dans la rubrique « événements » et « actualités » de l'AUGC. Les événements les plus récemment ajoutés sont les suivants :

- Du 17 au 18 mars 2016 - Journées "Construction en terre crue: avancées scientifiques" - Inscription jusqu'au 5 Mars - Chambéry.
- Le 22 juin 2017 - Journée « Mesures de champs à l'échelle micro » - Paris.
- Le 9 mars 2017 - Gestion patrimoniale des infrastructures, savoirs et savoir-faire – Bordeaux.
- Le 9 Mars 2017 – Second colloque du PN Recybéton – FFB, Paris
- Du 15 mars 2017 au 16 mars 2017 - AFGC - Journées GC'2017 - ESTP Cachan.
- Du 29 mars 2017 au 30 mars 2017 - 3ème Assises de la construction métallique - ENS de Cachan.
- Du 4 au 7 avril 2017 - Ecole Doctorale sur la Mécanique des Sols Partiellement Saturée, EPFL, Lausanne, Suisse
- Du 24 au 27 avril 2017 - Ecole de printemps de microscopie électronique – Toulouse.
- Du 5 au 7 octobre 2016 - JNB'17 - Hammamet, Tunisie.
- Du 21 au 24 mai 2017 - RUGC'2017 – Nantes.
- Du 6 au 8 juin 2017 - The future of cement - 200 years after Louis Vicat - Unesco Paris.
- Du 21 au 23 juin 2017 - ECOGRAFI/CBBM 2017 - Clermont-Ferrand.
- Du 26 au 27 octobre 2017 - CIGOS 2017 deadline 8th January 2017 - Ho Chi Minh Ville.
- Du 2 au 4 octobre 2017 - BFUP 2017 – Montpellier.



Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
www.augc.asso.fr



Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
www.augc.asso.fr



Pour plus d'informations, merci de vous rendre sur notre site internet (événements).



Association Universitaire  
de Génie Civil



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
www.augc.asso.fr

## Concours pour le renouvellement du logo de l'AUGC

Pour participer au concours, il faut :

- lire en détail le présent document décrivant les modalités du concours et les attentes de l'association concernant le logo,
- soumettre votre proposition en ligne à l'adresse suivante : <https://form.jotformeu.com/recherqui/concours-logo-augc>

**Avant le mardi 2 mai 2017 22h00.**

### I Préambule

L'AUGC (L'Association Universitaire de Génie Civil) dispose actuellement d'un logo sans charte graphique. L'AUGC souhaite faire évoluer ce logo.

#### I.1 Présentation de l'AUGC

Fondée en 1981, l'AUGC a pour mission de développer et de promouvoir l'enseignement (formation initiale, continue, 3ème cycle) et la recherche dans le domaine du Génie Civil dans les établissements d'enseignement supérieur relevant du Ministère de l'Education Nationale et du Ministère de la Recherche et des Nouvelles Technologies. Elle établit des liaisons avec les autres groupements ou associations qui participent au développement du Génie Civil et de ses spécialités, facilite la coopération internationale, identifie les débouchés professionnels des diplômés et stimule les contacts entre ses membres. L'AUGC compte actuellement 250 adhérents. Stratégie et politique de l'association : l'AUGC représente aujourd'hui 36 laboratoires de recherche et d'enseignement dont les principales thématiques reflètent une forte pluridisciplinarité: *Sols, Matériaux, Structures et Ouvrages dans leur environnement.*

#### I.2 Le contexte : L'AUGC

L'AUGC représente de l'ordre de 1400 membres (700 EC et 700 Doctorants). Une des ambitions de l'AUGC est de valoriser ce potentiel en lui donnant un rayonnement dans le paysage scientifique. Il s'agit aussi d'assurer une attractivité en étant leader et force de proposition sur les questions qui impactent de façon évidente le génie civil (question environnementale, sureté des ouvrages, changement climatique, etc.).

#### I.3 Le logo de l'AUGC

Le logo est aujourd'hui d'une seule couleur aux formes géométriques, symbolique des années 1980/90 :



Le futur logo devra ressortir les lettres G et C c'est-à-dire le Génie Civil qui évoquent « les domaines d'intervention de l'association ». L'identité visuelle sera donc composée de deux éléments du nom AUGC et du graphisme nouveau symbole de l'association.

#### II Objet de la consultation

Le conseil d'administration de l'AUGC a validé en 2016 l'évolution de son site WEB et décide en même temps de faire évoluer son LOGO. La présente consultation a pour objet la définition d'un logo pour l'AUGC c'est-à-dire la conception et la réalisation du logotype de l'AUGC.

L'intégralité de la demande doit être réalisée de façon à ce que le nouveau logo de l'AUGC puisse faire l'objet d'un dépôt à l'Institut National de la Propriété Industrielle (originalité).

#### III Définition du concours

Le concours à proposition de LOGO est ouvert à tous les membres de l'AUGC. Il concerne la proposition d'un nouveau logo en lieu et place du logo AUGC actuel dans son dessin et dans sa couleur. La demande à remplir est décrite ci-dessous.

### III.1 Evolution du logo de l'AUGC

#### Objectif du nouveau logo

La signature visuelle de l'AUGC doit refléter son évolution sans trahir sa personnalité d'origine. Le logo de l'AUGC doit traduire une identité moderne, en mouvement vers les nouvelles problématiques (environnement, changement climatique, ...), tout en préservant les valeurs historiques que porte l'association.

Cette évolution souligne une volonté de l'association d'ajuster son image de marque. Le logo doit reprendre les quatre lettres AUGC. Cela peut être un logo accompagné d'une signature : AUGC détachée du logo et dont l'emplacement est à définir.

Le changement de logo pourra faire partie d'un projet plus large de la création d'une charte graphique et d'une identité visuelle concernant les éditions externes et internes de l'AUGC.

#### Conditions d'utilisation du logo de l'AUGC

Le nouveau logo est destiné à être utilisé sur tous les supports de communication externe et interne de l'association existants et à venir (notamment le site WEB). De nombreux documents qui ont une diffusion de quelques unités sont imprimés en interne sur des imprimantes couleur : posters, affiches, plaquettes. L'impression du logo couleur qu'elle se réalise en offset ou sur des imprimantes couleur doit être dans la mesure du possible identique.

Pour la version en noir et blanc, le nouveau logo doit pouvoir être reproduit en garantissant une qualité optimum. Cet aspect sera impératif pour les notes internes et les courriers (papier à en-tête, enveloppes). Il s'appliquera également aux documents de petite taille comme les cartes de visites. Certains documents, comme les badges de conférence, font appel à l'impression en couleurs pantone, un nombre limité de couleurs est impératif dans cette perspective.

Une attention soutenue sera portée sur la lisibilité du logotype en absence d'information colorée.

#### Coherence entre le logo et le futur site web de l'association

Pour s'harmoniser avec le futur site web de l'association, le logo devra être basé principalement sur la couleur suivante :

<b>Codage RGB :</b>	<b>Codage Hex :</b>
R = 77	4D84A6
G = 132	
B = 166	



Le logo aura des formes arrondies pour être en cohérence avec le futur site web.

Le logo devra être au format carré ou paysage (mais pas portrait).

Le gagnant du concours s'engage à aider l'AUGC à adapter légèrement le logo pour l'harmoniser parfaitement avec le nouveau site web.

### III.2 Concours LOGO

#### 1<sup>er</sup> Phase : création d'esquisse du logo

Appel à concours ouvert à tous les membres de l'AUGC.

Conception graphique d'esquisse du logo. Présentation de 2 projets d'esquisses différents (couleur, noir et blanc) lors des rencontres de l'AUGC 2017 à Nantes.

Un prix sera décerné au créateur du logo (par exemple sous la forme d'une prise en charge à un congrès international ou un bon d'achat sur un site de documentation dans la limite de 500€).

DROITS – Cession des droits pour toutes exploitations et tous territoires.

#### 2<sup>ème</sup> Phase : sélection du logo

Le logo sera retenu lors d'un vote par tous les membres à jour de cotisation, et qui se tiendra pendant les prochaines journées de l'AUGC 2017 à Nantes.

## recommandations aux auteurs

### CONTEXTE GÉNÉRAL

Les Annales du BTP sont avant tout une revue technique francophone s'adressant à un public d'ingénieurs et de décideurs œuvrant dans les multiples secteurs du BTP au sens le plus large du terme, à savoir la construction, le bâtiment, les travaux publics, l'ingénierie, les infrastructures urbaines et territoriales.

Les grands enjeux sous-tendus dans tout article pouvant paraître dans la revue sont à mettre en regard avec les problématiques d'aujourd'hui, progrès et innovation technologiques, développement économique dans le respect de l'environnement, valorisation des produits de la recherche dans le monde professionnel, défense du secteur de la construction dans l'économie mondiale...

Les auteurs sont invités à prendre en considération ces aspects dans toute leur diversité. Beaucoup d'articles en effet ne manqueront pas de se baser sur une présentation de travaux de recherche, qu'elle soit fondamentale ou appliquée. Néanmoins, à la différence d'une revue scientifique, les Annales attendent de ses contributeurs plus une description exhaustive de l'intérêt que leurs travaux pourraient présenter à la communauté professionnelle qu'une description précise de leur cheminement intellectuel.

Quand un article est le prolongement d'un colloque ou d'une rencontre scientifique, l'auteur devra donc veiller dans la réécriture à ne pas trop détailler sa démarche, mais à montrer l'intérêt de sa recherche pour le lectorat de la revue, en montrant en particulier dans l'introduction et la conclusion quels étaient ses grands objectifs. Il ne s'approfondira pas plus que nécessaire sur l'aspect scientifique, sachant que le lecteur ne sera pas forcément un spécialiste de sa discipline. En un mot l'auteur doit chercher à vulgariser son discours.

### PRÉSENTATION DU MANUSCRIT

Le texte doit être soumis sous format électronique .doc ou .odt envoyé au rédacteur en chef François BUYLE-BODIN à l'adresse [annaesbtp@gmail.com](mailto:annaesbtp@gmail.com)

En cas de refus de transmission pour cause de lourdeur des fichiers, l'auteur pourra envoyer un cédérom à **M. BUYLE-BODIN, rédacteur en chef de la revue Annales du BTP, Polytech'Lille – Université Lille 1, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.**

Afin de faciliter la diffusion du savoir, l'éditeur n'exige pas des auteurs une mise en forme particulière de leur article. Aucune contrainte de longueur n'est posée, mais l'idéal est aux alentours de 15 pages en arial 10 inter-ligne simple.

Les unités de mesures et les symboles doivent respecter les règles typographiques internationales.

Il est nécessaire de préciser :

- le titre en français et en anglais ;
- le ou les auteurs : nom, prénom, titres, coordonnées ;
- un résumé de 15 lignes maximum en français et en anglais ;
- les figures et photographies originales peuvent être fournies à part en .eps, .tif ou .jpg. Elles seront publiées en noir et blanc et doivent donc être d'un bon niveau de gris, au moins 400 dpi ;
- une illustration caractéristique de l'article pourra figurer en couleur sur la une de couverture et devra donc être d'une résolution maximale. Ne pas oublier de mentionner les crédits photographiques.

### FONCTIONNEMENT DE LA RELECTURE

Le rédacteur en chef accuse réception du manuscrit et lance la phase d'approbation. Il s'appuie pour la relecture et la sélection finale des articles sur un comité comprenant des experts reconnus de la profession, ainsi que des membres des conseils scientifiques des principales associations du BTP partenaires des Annales.

Le rédacteur en chef de la revue fait part à l'auteur de la décision de publier ou non le texte, il précise éventuellement les corrections à apporter.

Le rédacteur en chef se charge de la transmission du manuscrit à l'éditeur.

**AGPA Editions, 4, rue Camélinat, 42000 Saint-Etienne.**

L'auteur recevra gratuitement quelques exemplaires du numéro de la revue dans lequel est publié son article.