



Guide pratique pour le développement et l'application de types de béton circulaire



BASE POUR L'UTILISATION DE SOLUTIONS INNOVANTES DANS LA PRATIQUE BELGE DE LA CONSTRUCTION



Guide pratique pour le développement et l'application de types de béton circulaire

Base pour l'utilisation de solutions innovantes dans la pratique (belge) de la construction

Bram Dooms, Jeroen Vrijders, Niels Hulsbosch, Lisa Wastiels
CSTC, avril 2022, v 0.9.1



Explicatif concernant cette version : Il s'agit de la première version publique de ce Guide pratique. La plupart des parties ont été complétées du mieux possible sur la base des informations disponibles actuellement. Un certain nombre de points doivent encore être finalisés. Par ailleurs, une étape de validation supplémentaire s'impose, celle de l'utilisation de ce document dans la pratique. Le CSTC prévoit un suivi ultérieur et une extension de ce document au cours des mois et années à venir.

Ce document ne fait pas partie de la série de publications officielles du CSTC. Il ne peut donc pas être utilisé comme référence. La distribution ou la traduction, même partielle, de ces documents n'est autorisée que sur accord du CSTC.

Le présent document est un résultat de projet généré dans le contexte du projet Circular.Concrete. Dès lors, il n'est pas considéré comme un document officiel des parties qui l'ont établi. Les découvertes, analyses et conseils présentés ne sont repris qu'à titre d'information.

Table des matières

0	Contexte.....	6
1	Introduction	7
2	Motivation : pourquoi utiliser du béton circulaire ?.....	8
3	Technologie.....	10
3.1	Granulats.....	10
3.2	Liants – Ciment.....	11
3.3	Liants – Autres.....	12
3.4	Optimisation du processus de production du béton et durée de vie	14
3.5	Fin de vie : réemploi et techniques de recyclage.....	14
4	Étape 1 – Conception	17
4.1	Poser des choix réfléchis.....	17
4.2	Prescription	20
4.3	Identification des bénéfices environnementaux	24
4.4	Coûts/bénéfices	25
5	Étape 2 – Préparation	27
5.1	Conformité des performances techniques	27
5.1.1	Normes et marquage CE obligatoire.....	27
5.1.2	Marques de qualité volontaires	28
5.1.3	Contrôle par lot et béton de projet	34
5.1.4	Conventions ad hoc.....	35
5.2	Cadre environnemental	36
5.2.1	Utilisation de flux de déchets dans la construction – MAA & VLAREMA.....	36
5.2.2	Utilisation de flux de déchets dans la construction – prise en considération de la 2 ^e et de la 3 ^e vie.....	37
6	Étape 3 - Mise en œuvre & suivi	39
6.1	Check-list de travaux recourant à l’application de nouvelles technologies sur le chantier .	39
6.2	Documentation	40
6.3	Suivi.....	40
7	Exemples et inspiration.....	41
7.1	Aperçu de projets réalisés avec du béton circulaire (en Belgique).....	41
7.1.1	Monographie consacrées à l'utilisation de granulats recyclés dans le béton	41
7.1.2	Circular.Concrete	42

7.1.3	Autres projets intéressants en Belgique	43
7.2	Projets en béton circulaire réalisés à l'étranger	44
7.3	Projets de recherche intéressants et autres exemples.....	44
8	Références	45
9	Annexes.....	46
9.1	Exemple de textes de cahiers des charges.....	46
9.1.1	Description technique du béton de recyclage dans le projet NONA, Malines, 2014 (DMVA) 46	
	Voir tout l'art. 26.10, spécifiquement pour le béton de recyclage.....	47
9.1.2	Description technique de l'option Béton de recyclage KOMET, 2018 (VK Engineering) 49	

0 Contexte

Le présent Guide pratique a été élaboré dans le cadre du projet Circular.Concrete. Ce projet VIS, soutenu par VLAIO et le cluster de pointe SIM Flanders, avait pour objectif la mise en pratique de technologies innovantes en matière de béton circulaire en vue de leur application.



Ce guide a été élaboré par le CSTC sur la base des expériences acquises au sein du projet Circular.concrete par l'intermédiaire d'essais de validation en conditions de laboratoire et par le suivi de différents chantiers pilotes, complétés des perceptions et connaissances accumulées dans le cadre de précédents projets de recherche et de démonstration (RecyBeton 1&2, Sand2Sand, C-tech, ValReCon, Des bétons prêts à l'emploi innovants, Antenne-Normes Béton-Mortier-Granulats, etc.).

Le projet Circular.Concrete a été suivi par un groupe d'utilisateurs constitué d'entreprises et d'organisations intéressées. Le CSTC souhaite remercier expressément ces organismes pour leur contribution.



1 Introduction

Différentes solutions innovantes, devenues entre-temps moins novatrices, visant à réduire l'impact environnemental du béton et/ou à accroître la production de béton circulaire existent ou sont en plein développement. En pratique, il apparaît cependant qu'il est difficile d'appliquer concrètement ces technologies sur chantier, et ce pour des raisons diverses comme l'absence, parfois, d'un cadre technico-normatif présentant des gages de confiance suffisants ou encore le déroulement d'un projet de construction dans lequel les ambitions, les moyens et les possibilités s'opposent ou se mêlent les uns aux autres.

Le présent Guide pratique entend faire face à ces défis et offrir une base concrète à l'application de technologies innovantes dans des projets de construction. Cet objectif implique aussi indirectement la mise sur le marché de solutions et applications innovantes, de sorte que les acteurs du marché (entrepreneurs, auteurs de projet, etc.) puissent se lancer.

Ce guide se destine donc avant tout à l'« équipe de construction » (maître d'ouvrage, auteur de projet, bureau d'étude, entrepreneur, etc.) à qui il appartient de poser des choix tout au long d'un projet et d'entreprendre certaines démarches afin de parvenir à un résultat final satisfaisant. Deuxièmement, le document offre une ligne directrice pour les acteurs proposant des technologies innovantes, leur livrant un aperçu des informations, des étapes de validation, des choix, etc. qu'il convient de poser dans des projets concrets et à propos desquels ils sont en mesure, en leur qualité de « fournisseur » ou de « producteur », d'apporter une (partie de la) réponse.

La présente publication entend répondre aux '*Frequently asked questions*' qui se posent en matière d'utilisation de béton innovant et durable/vert, tout au long des étapes à suivre dans le cadre d'un projet de construction. Le guide pratique suit donc le canevas d'un projet de construction « moyen » et s'attèle à répondre aux questions suivantes :

- **Motivation** : pourquoi opter pour du béton circulaire et vert ?
- **Technologie** : quelles solutions existe-t-il et sont-elles applicables ?
- **Étape 1 - Conception** : quels choix faut-il poser ?
- **Étape 2 – Préparation** : comment peut-on parvenir à un résultat final de qualité ?
- **Étape 3 – Exécution et suivi** : à quels points faut-il veiller dans la pratique ?
- **Exemples** : quelles leçons peut-on tirer de projets antérieurs ?
- **Références** : où peut-on trouver plus d'informations ?

2 Motivation : pourquoi utiliser du béton circulaire ?

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde. Compte tenu de sa composition de base, à savoir du ciment à base de clinker Portland, de l'eau et des granulats, le matériau présente un impact environnemental assez élevé. Cela s'explique d'une part par les émissions de CO₂ liées à la production du ciment et, d'autre part, par l'extraction de matières premières naturelles. De plus, une grande quantité de béton est démolie afin que le site concerné puisse accueillir de nouveaux bâtiments et que l'on puisse y procéder à des travaux d'infrastructure, beaucoup de « déchets » pouvant donc être aussi réutilisés.

L'utilisation de technologies de béton plus circulaires (voir le Chapitre 3) peut avoir un impact positif sur différents aspects :

- Pénurie des matières premières primaires

Utiliser des granulats et du sable issus du recyclage ou des granulats artificiels/secondaires, c'est prévenir l'extraction de matières premières primaires comme les granulats naturels, les roches calcaires, le sable, etc. Ces matériaux sont également présents de manière locale, ce qui réduit donc la dépendance à l'égard de produits importés de l'étranger, par ex.

L'utilisation d'autres liants ou additions (laitiers de haut fourneau, cendres volantes) résout d'une part un problème de déchets et réduit d'autre part la nécessité de produire de nouveaux ciments.

- Création d'une plus-value

Les aspects circulaires, comme la possibilité de réemploi, la longue durée de vie... peuvent constituer un apport positif, tant sur le plan de la plus-value sociale que du bilan économique d'un projet.

- Impact environnemental

Les granulats recyclés, les granulats artificiels, etc. sont souvent disponibles à un niveau très local. Les utiliser permet de réduire les distances de transport et donc l'impact environnemental que cela implique.

La production de ciment, a fortiori du CEM I (> 95 % de clinker Portland) est un processus énergivore au cours duquel du CO₂ est libéré (décomposition du carbonate de calcium). La diminution de la part de clinker Portland dans le béton, voire même sa substitution par un autre liant présente, par conséquent, un effet positif sur l'impact environnemental du béton.

L'optimisation du béton et de l'armature (par la conception, la préfabrication, ...) et la perspective éventuelle de réemploi d'éléments en béton ont pour effet de réduire l'utilisation de matières premières (y compris de ciment).

- Coûts/bénéfices

L'utilisation de matières premières locales permet de réaliser des économies sur les frais de transport. Il est également possible d'économiser certains coûts dans des circuits fermés. On peut, de surcroît, anticiper « coûts environnementaux » qui seront « internalisés » à l'avenir

et les traduire en frais réels pour des projets de construction ou pour l'utilisation de certains matériaux.

- Autres aspects

Les maîtres d'ouvrage ou les équipes de construction peuvent également faire le choix d'applications circulaires lorsqu'ils sont incités à le faire par différents outils de mesure de la durabilité, de green building certificates, ... comme les normes BREEAM, l'échelle de performance CO₂, etc.

En général, l'utilisation du béton circulaire s'intègre dans une perspective et une ambition plus globales de construction « circulaire ».

3 Technologie

Différentes technologies et solutions existent ou sont en cours de développement dans une perspective de béton plus durable, plus circulaire et plus respectueux de l'environnement. Pour un aperçu détaillé de ces technologies, veuillez vous référer au 'State-of the-Art rapport'¹.

Ce chapitre présente un bref aperçu des possibilités d'application et limitations actuelles de quelques technologies pertinentes pour la Belgique et explicite un certain nombre de termes (comme les MAA et les géopolymères).

3.1 Granulats

- Technologie

Les granulats primaires en béton sont une matière première naturelle limitée. À l'échelle mondiale, la pénurie concerne principalement le sable. Dans le même temps, environ 33 % des déchets produits au niveau européen sont des déchets issus de la construction et de la démolition. La Belgique produit ainsi environ 20 millions de tonnes de déchets par an (chiffres de COPRO, CERTIPRO et FEREDCO). Réutiliser ces déchets de construction et de démolition comme granulats de béton recyclé et granulats mixtes pour la production de nouveau béton permet donc de limiter le volume de déchets de construction et l'extraction de matières premières. Par ailleurs, certains processus industriels génèrent des quantités significatives de flux de déchets et de flux résiduels comme les cendres volantes ou les laitiers sidérurgiques, des déchets qui, après traitement, peuvent aussi être réutilisés et valorisés comme granulats artificiels dans le béton².

- Cadre normatif

La norme européenne NBN EN 206 et son annexe nationale NBN EN 15-001 prescrivent que les granulats recyclés (granulats de béton de type A+ et granulats mixtes de type B+) et les granulats artificiels peuvent être utilisés s'ils satisfont à la norme NBN EN 12620 et à des exigences supplémentaires, notamment sur le plan du calibre, de la composition, de la masse volumique et de l'absorption d'eau. S'agissant spécifiquement des granulats artificiels, seuls les laitiers de haut fourneau refroidis à l'air, les laitiers sidérurgiques granulés ou cristallisés et les laitiers sidérurgiques de métaux ferreux (BOF, EAF et inox) et non ferreux (Pb) sont autorisés d'un point de vue normatif. L'application de ces granulats dans le béton est cependant limitée à des valeurs bien déterminées en matière de classes de résistance, de classes d'environnement et de pourcentages de substitution des granulats naturels. Si l'on s'en écarte, il convient de déterminer l'aptitude à l'emploi pour la composition de béton et l'utilisation visées.

- Avantages et points d'attention

Le recyclage du béton sous la forme de granulats à mettre en œuvre dans un nouveau béton contribue à boucler la chaîne du béton. À cet égard, le principal « bénéfice environnemental » concerne la diminution des granulats primaires extraits. La maîtrise de la demande en eau

¹ <https://www.circular-concrete.be/state-of-the-art/>

² <https://bouw.grondstoffencatalogus.be>

dans le béton (et donc de l'absorption d'eau des granulats) est extrêmement importante pour la qualité finale (résistance et durabilité) du béton.

- Exemples

En Belgique, on trouve plusieurs exemples d'utilisation de granulats recyclés dans le béton, compte tenu de la disponibilité locale élevée de granulats de béton recyclés et de granulats mixtes. Un certain nombre de granulats recyclés (« granulats de béton à hautes performances ») et de producteurs de béton contenant des granulats recyclés disposent d'un label BENOR.

Quelques exemples de projets de construction concrets comprenant des granulats recyclés et/ou secondaires sont documentés dans la monographie du CSTC³ : la maison Recyhouse à Limelette, le Centre pour la construction durable (Centrum Duurzaam Bouwen à Heusden-Zolder), l'immeuble de bureaux De Brabandere (Furnes) ou encore le revêtement routier bicouche en béton (N49). Dans le cadre de Circular.Concrete, quatre chantiers pilotes ont été suivis, à savoir Biostoom (Beringen), la zone d'essai Bioterra (Genk), le site de la Sucrierie (Furnes) et un revêtement en béton (Hemiksem). Voir également le Chapitre 7 de ce guide.

- Entreprises en Belgique

La Belgique compte de nombreux innovateurs et pionniers sur le plan de la production et de l'utilisation de granulats recyclés en béton. La plupart des entreprises sont actives au sein de la Fédération « Groen Beton Vert ». Les entreprises actives dans le projet Circular.Concrete sont les suivantes :

- Granulats de béton et/ou granulats mixtes : AC Materials, Willemen Infra, De Brabandere, Degetec, Jacobs Beton/EKP Recycling, OBBC
- Granulats artificiels : Metallo, Umicore, Orbix
- Sable recyclé par assainissement : Bioterra

3.2 Liants – Ciment

- Technologie

Le processus de production du ciment Portland traditionnel (CEM I) nécessite de grandes quantités d'énergie et de matières premières naturelles. L'étape de décarbonisation du processus de production génère par ailleurs d'importantes émissions de CO₂ (0,8 à 1 tonne de CO₂ par tonne de ciment). Compte tenu de l'énorme consommation de ciment à l'échelle mondiale, ce processus est responsable d'une large part de l'impact environnemental du béton. Les technologies visant à réduire l'impact environnemental du ciment jouent avant tout un rôle dans la substitution (partielle) du ciment Portland dans le béton par des additions écologiques, par ex. des matières premières secondaires de flux résiduels ou de flux de déchets (par ex., les cendres volantes et laitiers de haut fourneau moulus). D'autres liants à base de ciment ont également été développés, présentant une réactivité chimique hydraulique

³ <https://www.cstc.be/publications/monographies/32/>

(par ex., le ciment CSH et le ciment de bélite), ainsi que des liants hydrauliques latents ou pouzzolaniques (par ex, le ciment ternaire et le ciment de haut fourneau).

- Cadre normatif

Outre le CEM I, la norme NBN EN 197-1 décrit 26 autres types de ciment dans lesquels 6 à 95 % du ciment Portland sont remplacés entre autres par des laitiers de haut fourneau, des cendres volantes ou du calcaire. La norme NBN B 15-001 indique de quelle manière les additions latentes hydrauliques ou pouzzolaniques peuvent être utilisées dans le béton. Cette norme indique également dans quelles conditions (classes d'environnement) les différents types de ciment et combinaisons de ciment Portland peuvent être appliquées avec des additions dans le béton. Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de démontrer l'aptitude à l'emploi par voie d'essais, conformément à la norme NBN B 15-100.

- Avantages et points d'attention

- D'autres liants à base de ciment misent principalement sur la réduction de l'empreinte carbone, de la production énergétique ou de l'utilisation de matières naturelles primaires. Les propriétés mécaniques et la durabilité du béton avec ces liants peuvent cependant différer (fortement) du béton traditionnel à base du ciment Portland. En général, il convient de prendre en compte une évolution plus lente de la résistance.

- Exemples

- Ciments ternaires et binaires (voir la NBN EN 197-1)
- Ciment de silicate de magnésium : Novacem-Calix
- Ciment de bélite : Ternocem (CBR - Heidelberg Cement Group)
- Ciment à faible teneur en chaux : Solidia Cement (Solidiatech)
- Argiles calcinées : par ex. Cementir/CCB Futurecem avec substitution de 35 % du clinker par de l'argile calcinée et du filler calcaire

- Entreprises en Belgique

- CBR (par ex. ciment composé et Ternocem)
- CCB (par ex. ciment composé et Cementir-Futurecem)
- HolcimLafarge (par ex. ciment composé, ECOPact ZERO et ECOPact ZERO+)
- EcoCem (laitiers de haut fourneau granulées moulues)

3.3 Liants – Autres

- Technologie

D'autres liants utilisés dans le béton, n'étant pas à base de ciment, reposent sur des processus de liaison chimique et physique très divers. C'est le cas des matériaux alcali-activés (MAA),

souvent appelés également « géopolymères », des liants s'appuyant sur les réactions chimiques de l'alcali-aluminosilicate (le « précurseur ») avec une source alcalique (l'« activateur », par ex. de l'hydroxyde de sodium ou du silicate de sodium). À titre d'exemples de précurseurs, citons les matières premières secondaires et les flux résiduels tels que les laitiers de haut fourneau, les cendres volantes, les pouzzolanes naturelles, différents autres types de laitiers (laitiers d'acier inoxydable, laitiers de phosphore, laitiers de FeNi, laitiers de cuivre, etc.), les mâchefers, les cendres végétales, les argiles calcinées, etc.

Les matières premières secondaires riches en calcium et en magnésium constituent d'autres variantes de liants, pressées dans des moules avant un processus de durcissement par exposition au CO₂. Enfin, dans le cas du béton de soufre, du soufre élémentaire est utilisé à l'état fondu comme liant pour les granulats, le durcissement intervenant par refroidissement et solidification de la matière.

- Cadre normatif

Compte tenu du caractère innovant de ces variantes de liants, il n'existe pas encore de cadre normatif sur le sujet en Belgique.

- Avantages et points d'attention

Les variantes de liants misent principalement sur la réduction de l'empreinte carbone, de la production énergétique ou de l'utilisation de matières premières naturelles primaires. Compte tenu du très large éventail de produits possibles, il convient d'examiner et d'évaluer les avantages et points d'attention de ces liants au niveau du produit.

- Exemples

- Traverses pour le chemin de fer belge en béton à base de soufre (2021, De Bonte – Infrabel)
- Bancs en béton de MAA sur la Hooverplein, à Louvain (2020, ResourceFull)
- Silo tranché Eco2Polycon en béton de géopolymère (Degetec)
- Piste cyclable en géopolymère, Zeewolde, Pays-Bas (2016, SQAPE)
- Rond-point en géopolymère, Enschede, Pays-Bas (2017, SQAPE)

- Entreprises en Belgique

- ResourceFull : R&D et commercialisation de béton de MAA
- SQAPE (Pays-Bas) : R&D et commercialisation de béton de MAA (préfabriqué et coulé in situ sous la dénomination commerciale RAMAC aux Pays-Bas et sans doute sous licence en Belgique)
- Degetec : R&D et commercialisation de béton de MAA
- Orbix : R&D et commercialisation de matériaux précurseurs pour les géopolymères (Stinox et Filinox) et de matériaux de construction durcissant par carbonatation (Carbstone)

- De Bonte : Commercialisation de béton de soufre

3.4 Optimisation du processus de production du béton et durée de vie

- Technologie

Le point de départ consiste en l'occurrence à « procéder à une application optimale du béton ». Pour ce faire, différentes possibilités existent :

- Élaborer un projet et un processus d'exécution utilisant « le moins possible » de béton et d'armature ou combinant au mieux chacun de ces matériaux (choix du préfabriqué, choix de sections données).
- Optimiser la composition du béton en optant pour le lieu d'approvisionnement le plus proche de granulats, en ajoutant du CO₂ au mélange de béton frais, en substituant du ciment (toujours en phase de projet) et en utilisant des additions spécifiques, etc.
- Optimiser le béton en termes d'application et de durée de vie plus longue, par ex. en prévoyant du béton « autocatrisant », en anticipant certains facteurs d'influence (résistance aux acides, cycles de gel-dégel, environnement côtier, etc.)

- Cadre normatif

Pour la plupart des approches, le cadre normatif actuel s'avère suffisant. Pour le béton auto-plaçant, aucun cadre n'est encore disponible.

- Avantages et points d'attention

Une utilisation excessive de béton peut être évitée si l'on accorde suffisamment d'attention à la phase de projet et d'exécution.

Il faut bien sûr veiller à ne pas calculer et à ne pas exécuter trop "mince", de sorte qu'il n'y ait pas de tolérance au niveau du bâtiment par la suite (par exemple lorsque la fonction du bâtiment change).

- Organismes et entreprises en Belgique

Depuis plusieurs années, l'Université de Gand mène des recherches très actives sur le béton autoplaçant⁴.

3.5 Fin de vie : réemploi et techniques de recyclage

- Technologie

Outre les technologies classiques appliquées pour les granulats recyclés (voir le § 3.1), on peut également mettre en place des étapes supplémentaires afin d'améliorer les propriétés (par ex. l'absorption d'eau) de granulats recyclés (par voie de carbonatation, à l'aide de processus

⁴ <https://durabuildmaterials.ugent.be/>

optimisés de concassage et de ségrégation visant à obtenir des fractions de matériau plus propres ou de meilleure qualité).

Bien que ce ne soit pas courant, il est aussi intéressant, dans certains cas, d'examiner la possibilité de « réemploi », soit de structures complètes, soit d'éléments en béton (blocs, dalles, etc.).

- Cadre normatif

En principe, les granulats traités ou les granulats produits ou travaillés d'une autre manière doivent satisfaire tout autant aux exigences reprises dans les normes NBN B 15-001 et NBN EN 12620.

Un défi se pose souvent aux produits de réemploi, celui d'en justifier les performances techniques d'une autre manière. Aucune procédure n'a encore été fixée, mais il est possible toutefois de s'appuyer sur le travail effectué par le CSTC dans le cadre du projet BBSM-project⁵. En Allemagne également, les possibilités de réemploi d'éléments structurels en béton préfabriqué ont déjà été placées sous la loupe.

- Avantages et points d'attention

Poursuivre le traitement de granulats recyclés permet de remédier en partie à leurs points faibles intrinsèques : adhérence plus faible du mortier, absorption d'eau moins élevée, meilleure granulométrie et finesse moins prononcée du matériau. L'application s'en trouve ainsi simplifiée avec, à la clé, une influence moins forte sur les performances du béton. Il convient par ailleurs d'évaluer l'efficacité et les bénéfices environnementaux que ces « étapes de traitement supplémentaires » rendent possibles.

Sur le plan du réemploi, on économise bien sûr de nouveaux matériaux, mais faire concorder la disponibilité et les performances de l'« ancien » béton avec la demande de tels éléments dans de nouveaux projets et en assurer l'organisation pratique constitue parfois un véritable défi.

- Exemples

Traitement de granulats recyclés par l'ajout de CO₂ et par l'application de techniques de concassage intelligent : voir le rapport Circular.Concrete - Validatie & uitdieping van technologieën op laboschaal (*Validation et approfondissement des technologies à l'échelle du laboratoire*).

- Entreprises

- En Belgique : nombre limité
- À l'étranger, e.a. :
 - Slimbreker.nl
 - Circulairmineraal.nl
 - <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61957-FR.pdf>

⁵ www.bbsm.brussels & <https://www.cstc.be/publications/dossiers-du-cstc/2020-01.07/>

- <https://www.c2ca-technology.nl/technology/>
- <https://c8s.co.uk/>

4 Étape 1 – Conception

Au cours de la première phase d'un projet de construction, il appartient au maître d'ouvrage, à l'architecte et aux bureaux d'étude concernés de poser un certain nombre de choix, en respectant la volonté d'appliquer des techniques durables et circulaires (voir le Chapitre 2). À cet égard, ils doivent être conscients que les choix posés détermineront le déroulement ultérieur du projet. Avant la mise en œuvre du projet, différents thèmes peuvent entrer en ligne de compte :

- Choix de solutions circulaires : Quels choix poser ? Quelles conséquences cela entraîne-t-il ? Comment y remédier ?
- Comment l'innovation - dans le cas spécifique présent, une solution de béton circulaire - peut-elle être intégrée dans une consultation du marché et un cahier des charges ?
- Peut-on identifier les bénéfices et les impacts pour l'environnement que représentent les choix de solutions plus circulaires ?
- Quelles implications faut-il prévoir en termes de coûts, de timing, etc. ?

4.1 Poser des choix réfléchis

Il convient de trouver un bon équilibre entre les ambitions (durables et circulaires) du projet, les risques que cela comporte ("*known unknowns*") et les moyens que l'on a la volonté et la capacité de dégager pour pallier ces risques afin de réaliser les ambitions.

Grosso modo, on trouve deux extrêmes dans le spectre :

- **Travaux s'intégrant dans le cadre réglementaire et normatif existant**

En principe, tout est couvert sur le plan technique. Ainsi, la norme belge sur le béton, la NBN B 15-001 détermine par exemple les pourcentages de granulats naturels pouvant être remplacés par des granulats recyclés et les exigences performancielles auxquelles les granulats recyclés doivent satisfaire. Les normes NBN B 15-001 et NBN B 15-100 offrent par ailleurs un cadre pour d'autres types de ciment, afin de justifier les performances techniques nécessaires.

- Généralement, ces applications relèvent des règlements de certification usuels dans le secteur du béton (par ex. BENOR) sur lesquels le maître d'ouvrage peut s'appuyer pour la préparation (Étape 2) ainsi que pour l'exécution et le suivi (Étape 3).

En principe, il n'y a donc guère de frais supplémentaires ou d'autres obstacles à franchir pour obtenir certaines garanties sur le plan technique.

- Cela signifie évidemment que, dans ce contexte, les ambitions sont « limitées », l'objectif ne consistant pas à être *le plus circulaire possible* ou à atteindre *l'impact environnemental le plus faible*. Le choix de rester « dans le cadre » peut tout de même stimuler d'autres maîtres d'ouvrage et leur entourage à s'engager eux aussi sur la voie du circulaire de manière « sécurisée » et « accessible » et, en termes d'offre, à pouvoir répondre à cette « demande standard ».

- Même en restant dans le cadre, il convient de veiller à la faisabilité pratique du projet et à la disponibilité sur le marché du béton. En effet, toutes les centrales à béton ne proposent pas de granulats recyclés ou ne sont pas couvertes par une certification BENOR. Certaines solutions circulaires sont peut-être possibles et autorisées sur le plan technique, mais n'ont pas encore été mises en pratique jusqu'à présent.
- Pour ce qui concerne spécifiquement le béton contenant des granulats recyclés, on peut s'appuyer sur les listes suivantes :
 - Producteurs de granulats de béton d'une qualité suffisante pour être utilisés dans le béton
 - Extranet COPRO – extranet.copro.eu → sélectionner « granulats recyclés » → Granulats de béton qualité supérieure
 - Certipro → s'adresser à Certipro. L'équivalence au marquage BENOR au niveau de granulats a déjà été démontrée par 1 producteur
 - Producteurs de béton contenant des granulats recyclés pouvant livrer du béton recyclé BENOR, conformément aux catégories RS et RD
 - Liste des détenteurs de certificat BENOR : <https://extranet.be-cert.be/#/searchpage?tab=Documents>
- **Perspective résolutement circulaire/ ('full circular')**

Le maître d'ouvrage qui décide d'aller le plus loin possible sur le plan de la circularité et/ou de l'innovation dans le béton sort souvent du cadre technique existant (normes, cahiers des charges, certification).

- Toutes ces solutions ne relevant pas des « règles communément admises », il incombe au maître d'ouvrage et aux autres parties d'engager partiellement leur propre responsabilité et de bien définir et répartir les risques et responsabilités que cela suppose. Dans de nombreux cas, cette responsabilité a également un certain coût :
 - Timing plus long (alignement des parties, identification des possibilités et des limites, éventuels programmes d'essais avant le début du chantier) ;
 - Plus de préparation, plus de concertation (adaptation des calculs, adaptation du projet et du concept de construction, adaptations et dispositions spécifiques dans les cahiers des charges, élaboration de variantes à la certification standard) ;
 - Les étapes susmentionnées occasionnent des frais (essais supplémentaires, surcroît de travail pour le bureau d'étude ou l'auteur de projet, questions supplémentaires à l'entrepreneur, etc.).
- Par ailleurs, il est important de noter que beaucoup de choses sont possibles sur le plan technique, mais pas tout. Dans de nombreux cas, la technologie a ses limites, ses avantages et ses inconvénients. On sait ainsi, par exemple, que remplacer 100 % du

squelette inerte par des granulats recyclés (voir le § 3.1) influence aussi le comportement du béton (diminution de la résistance, module E, retrait et fluage). Ce type de solutions ne peut donc pas se substituer simplement et à 100 % aux solutions classiques.

- Dans ce même contexte, il se peut également que l'on ne connaisse pas encore l'ensemble des propriétés et comportements à court et à long terme de certaines technologies innovantes. Ainsi, les caractéristiques de types de béton MAA en matière de pose et de mise en œuvre (voir le § 3.3) ne sont pas encore documentées en détail. Le comportement à long terme de ces types de béton n'a pas encore été suffisamment analysé en « grandeur nature ». Il s'agit de bien évaluer ces risques et limites, et d'établir comment y faire face dans le cadre du projet : poser des choix différents, accepter et surveiller le risque, tenter de parer à ce risque au préalable en procédant à des essais et à des développements supplémentaires, etc.
- Concernant le choix du *'full circular'*, il convient également de noter la possibilité que des impacts environnementaux inverses et donc négatifs soient à prévoir. Ainsi par exemple, il n'est donc guère judicieux d'utiliser des produits en béton à base de granulats recyclés si ces derniers doivent être importés de Suisse ou d'Autriche : l'impact lié au transport excèdera largement les bénéfices que pourrait générer l'utilisation de granulats recyclés.

- **Projets concrets**

Dans la plupart des projets, on se situera entre ces deux extrêmes, disposant par exemple d'un producteur de granulats recyclés à proximité mais avec lequel aucune centrale à béton ne travaille, ou pouvant faire appel à une centrale à béton certifiée BENOR, mais ne proposant pas de granulats recyclés. Un autre exemple encore est celui de produits que l'on souhaite utiliser, bien disponibles sur le marché mais pas encore pour l'application spécifique dans le projet.

À ce moment, il s'agit surtout que le marché soit quelque peu « organisé » et que les parties se trouvent l'une l'autre.

Il convient également de bien fixer les performances techniques demandées pour les applications définies et d'indiquer clairement les responsabilités de chacun.

Un point d'attention important, constaté au fil des années à travers différents projets, est le suivant : lorsqu'il s'agit de fixer des performances et exigences techniques au niveau du béton, on se base souvent sur des projets précédents et sur des pratiques et textes existants et, par « facilité » ou par souci de « maîtrise des risques », on surdimensionne souvent les exigences : classe de résistance trop élevée (ayant pour effet de sortir du cadre normatif), classe d'environnement n'étant pas véritablement nécessaire pour l'application visée, etc.

En dehors des aspects portant sur la disponibilité et l'opérationnalité de la technologie et sur la couverture des risques techniques et des responsabilités, d'autres éléments importants entrent en ligne de compte dans la définition du niveau d'ambition des possibilités d'application dans le projet :

- Comportement mécanique - l'application dans des éléments porteurs est généralement plus ambitieuse que dans des éléments sur terre-plein ou dans des couches de remplissage.
- Aspect - ce paramètre peut jouer un rôle important (par ex., parois apparentes, sols polis) et l'application de solutions innovantes peut y ajouter un risque supplémentaire (auquel il convient également de parer, en veillant par ex. à prévoir une zone d'essai et en convenant de bonnes dispositions et spécifications)
- Délai d'exécution – la justification de certains éléments prend du temps, tant du point de vue des dispositions à convenir que des essais à réaliser. Certaines matières doivent donc être bien décidées à l'avance, de sorte à pouvoir être préparées.
- Volume de béton - parfois, on impose des objectifs très ambitieux pour certaines applications de béton dans des projets, alors qu'elles ne représentent que quelques m³ de béton. Dans ce cas, il n'est souvent pas rentable pour l'offrant de parcourir tout un programme d'essais pour quelques m³, sauf si cela s'intègre dans une stratégie plus globale d'arrivée sur le marché avec un produit de niche. Il peut donc s'avérer plus intéressant de ne viser que quelques applications spécifiques (d'un volume suffisant).

4.2 Prescription

Dans des projets de construction classiques (sans équipe de construction), l'auteur de projet et le bureau d'étude déterminent, en collaboration avec le maître d'ouvrage, les grandes lignes du projet, les applications du béton qui seront prévues et les spécifications auxquelles elles devront satisfaire sur le plan technique.

Par la suite, le projet est ensuite traduit en un cahier des charges et l'on consulte le marché. Les exigences reprises dans un cahier des charges sont donc déterminantes pour la partie exécutante par la suite.

Aujourd'hui, on dispose uniquement de textes-types limités qui simplifient la prescription de béton circulaire et/ou innovant. La construction routière est le seul secteur dans lequel le cahier des charges type 250 pour la construction routière autorise l'application de granulats de béton recyclés à hautes performances pour certaines applications de béton⁶. En 2019, GroenBetonVert asbl a élaboré, en collaboration avec AB-Roads, des textes-types⁷ portant sur l'utilisation de granulats recyclés dans du béton destiné aux applications suivantes :

- Utilisation sur des pistes cyclables
- Utilisation dans des éléments linéaires
- Utilisation sur des chemins agricoles et dans des revêtements extérieurs

⁶ <https://wegenverkeer.be/zakelijk/documenten/standaardbestek>

⁷ <https://www.groenbetonvert.be/hoe-groen-beton-voorschrijven-voor-gebruik-in-de-wegenbouw/>

Les cahiers des charges types pour les bâtiments (par ex. de la société flamande des logements sociaux (VMSW), de la Régie des Bâtiments, etc.) reprennent bien des dispositions relatives au « béton », faisant référence à la norme belge sur le béton, mais n'explicitent pas comment on peut y intégrer l'utilisation de granulats recyclés.

Si l'on veut donc obtenir du béton circulaire dans le cadre d'un cahier des charges, il convient donc de le prescrire et de le mentionner explicitement dans l'appel d'offres. À cet égard, il convient de prendre en compte un certain nombre d'aspects :

- Description et garantie des performances thermiques
- Organisation pratique du marché et de la consultation du marché
- Intégration d'incitants dans la consultation du marché
- Autres marchés qui pourraient avoir un intérêt pour le résultat (démolition)

Performances techniques

Concernant l'utilisation de granulats recyclés dans le béton destiné à une application dans des bâtiments, veuillez vous référer au § 4.2 de la Monographie consacrées à l'utilisation de granulats recyclés dans le béton⁸. Trois options y sont décrites :

- Dans le cadre normatif actuel
- Avec le cadre normatif existant comme point de départ
- Sans référence aux normes en vigueur

Le § 4.3 de la monographie se penche ensuite sur la manière dont on peut suivre et justifier la qualité du béton dans le projet.

En substance, on peut suivre cette même approche pour d'autres technologies de béton innovantes :

- Les aspects (pouvant être) couverts par des normes peuvent tout à fait être repris de cette manière au cahier des charges. Il en va de même pour la garantie de la qualité : on peut par exemple faire référence à BENOR pour un produit donné s'il relève du champ d'application.
- On prévoit une description claire des aspects sortant du cadre normatif et l'on indique clairement ce que cela signifie au niveau des performances du béton et des éléments qui le composent, ainsi que les points importants en termes de processus de réalisation, par ex. le durcissement plus lent pour certains ciments, ou les risques d'aspects différents.
- Une description claire des aspects et performances à vérifier, de la manière dont il convient de le faire et donc du déroulement du processus d'assurance de la qualité.
- Une description claire des responsabilités de chacun.

Au niveau de l'assurance de la qualité, il convient de décrire :

- les paramètres et caractéristiques à garder sous contrôle et les performances attendues, en fonction de l'application. C'est le cas tant pour le produit fini (béton) que pour les éléments

⁸ <https://www.cstc.be/publications/monographies/32/>

qui le composent, lorsque cet aspect est pertinent (exigences au niveau des granulats ou du liant).

- dans quelle mesure un essai type initial est requis afin de vérifier certaines propriétés. Cette étape est recommandée, assurément en l'absence de résultats scientifiques suffisamment nombreux.
- de quelle manière la surveillance de la qualité doit être assurée au cours de l'exécution : fréquence des prélèvements d'échantillons, recours à un tiers ? dans quel but ?, points d'attention pratiques, etc.

Il est judicieux de prévoir au cahier des charges et dans le métré un ou plusieurs postes distincts, de sorte à pouvoir affecter ces étapes et actions d'une étiquette de prix précise.

Organisation pratique du marché

Lors du placement d'un cahier des charges sur le marché, il convient de réfléchir au résultat souhaité et à la manière d'y parvenir au mieux. Dans les travaux privés, cela peut être décrit de manière très spécifique tandis que dans les marchés publics, cela peut s'avérer un peu plus compliqué. Dans un certain nombre de cas, on voudra également garder les options ouvertes et n'opter pour une solution circulaire donnée qu'une fois les propositions reçues.

Nous vous livrons à cet égard un certain nombre d'astuces et d'observations découlant de précédentes expériences :

- Si l'on tient explicitement à appliquer une technologie donnée, il est bon de requérir un engagement clair à cet égard de la part du soumissionnaire.
 - Par ex. : du béton de recyclage est-il ou non disponible à proximité du chantier ? L'entrepreneur prendra-t-il la peine de s'organiser afin de pouvoir malgré tout en assurer la livraison en demandant à certaines parties (recycleur, centrale à béton) de collaborer entre elles ?
- Si l'on souhaite consulter le marché au préalable et évaluer les conséquences financières de l'application de béton circulaire innovant, une option consiste à prévoir des « variantes obligatoires » au cahier des charges (sur des marchés qui le permettent). De cette manière, le maître d'ouvrage pourra toujours décider a posteriori d'appliquer ou non cette technologie.
 - À cet égard, soulignons quelques points importants : le béton innovant, par ex. le béton de recyclage, n'est pas moins cher, par définition, que le béton conventionnel. Il est donc préférable de ne pas présenter ce poste au cahier des charges comme un « prix inférieur », afin de ne pas créer de faux espoirs. Une fois le marché attribué, il s'agit également de suivre ce choix et de s'y tenir.
- Si l'on tient à s'assurer à l'avance des performances techniques du béton innovant, on peut reprendre la justification de ces performances dans les critères de sélection ou d'attribution ou faire de cet exercice l'une des étapes menant au choix final dans un dialogue de marché : plusieurs soumissionnaires pouvant proposer leur produit dont ils justifient les propriétés, le maître d'ouvrage pourra asseoir son choix sur des critères objectifs.

Quelques conditions se posent en la matière :

- Les critères doivent pouvoir être constatés de manière objective. Ainsi, la résistance au gel ou la résistance à la carbonatation du béton ne constituent généralement pas un critère absolu et tous les fournisseurs peuvent potentiellement y satisfaire.
- Le produit doit déjà être suffisamment « prêt à être proposé sur le marché », ce qui nécessite un investissement supplémentaire au préalable de la part de l'offreur et peut en effrayer certains.
- L'écart entre la situation à l'échelle du laboratoire et celle en conditions réelles ne peut pas toujours être évalué à l'avance.
- Précision de la mesure dans laquelle des produits concrets peuvent tout de même être prescrits dans le cadre de marchés publics.

Ce point sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

- Pour appliquer du béton innovant, on peut également viser une organisation différente du marché, dans laquelle une équipe de construction est sélectionnée afin de valider et d'appliquer une technologie donnée fournie par un tiers. La Ville de Gand a élaboré un exemple de cahier des charges de ce type, dans le cadre du projet Urbcon⁹.

Ce point sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

Comment stimuler le marché ?

Outre la simple prescription de béton innovant et circulaire, on peut également stimuler le marché à cheminer lui-même vers une solution la plus durable et écologique ou circulaire possible dans des projets concrets. Pour ce faire, plusieurs « mécanismes de récompense » peuvent être prévus sur le marché.

- Principe de réduction fictive analogue à ce qui existe pour l'asphalte vert¹⁰
- Échelle de performance CO₂¹¹
- BREEAM, etc.

Les pouvoirs publics peuvent eux aussi jouer un rôle important dans cette stimulation :

- Orientation « impact environnemental des travaux de construction en fonction des matériaux utilisés »
- Orientation « circularité des produits et des bâtiments »

⁹ <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/urbcon-by-products-for-sustainable-concrete-in-the-urban-environment/news/urbcon-launches-tender-for-ghent-pilot/>

¹⁰ <https://www.wegenbouw.be/nieuws/6960/offertes-met-groen-asfalt-krijgen-een-gunstigere-beoordeling/>

¹¹ <https://www.copro.eu/fr/certification/certification-de-systeme/certification-de-systeme-echelle-de-performance-co2>

- Obligations
- Stimulants financiers pour des produits plus écologiques

Ce point sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

Réflexion concernant la phase de démolition

Dans un certain nombre de cas, la construction d'un nouvel ouvrage débute par la démolition d'une ancienne construction. Dans ce cas également, des efforts peuvent être consentis dans la phase de démolition afin de s'assurer que le béton ainsi libéré (et d'autres flux éventuels) puissent faire l'objet d'une utilisation la plus performante possible par la mise en place d'une démolition sélective, d'étapes de traitement spécifiques, d'un bon inventaire, etc.

Ce point sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

Quelques exemples disponibles

- NONA – Voir l'annexe
- KOMET – Voir l'annexe
- Construction routière Documents GBV relatifs aux éléments linéaires, aux pistes cyclables et aux chemins agricoles - voir le lien : <https://www.groenbetonvert.be/hoegroenbetonvoorschrijven-voor-gebruik-in-de-wegenbouw/>

Des exemples supplémentaires seront repris dans une version ultérieure de ce Guide pratique.

4.3 Identification des bénéfices environnementaux

Les éventuels bénéfices environnementaux pouvant être obtenus grâce au béton circulaire dépendent d'un certain nombre de conditions connexes (efficacité de la technologie, distances de transport, choix de certaines matières premières (par ex. activateur pour les MAA, etc.). Dès lors, il est intéressant d'examiner, dès la phase de conception, quelles options sont intéressantes ou non, ou si certains points restent perfectibles.

- Comment identifier l'impact environnemental, utiliser l'ACV comme méthodologie et le cadre normatif existant qui s'y rapporte ?
- Limites de l'ACV : que nous apprend-elle, que ne nous apprend-elle pas ?
- Un certain nombre de perceptions générales en matière d'impact environnemental et de béton
 - À cet égard, nous vous invitons déjà à consulter l'article paru dans un CSTC-Contact de 2020¹²

¹² <https://www.cstc.be/publications/dossiers-du-cstc/2020-01.02/>

- Celui-ci présente plusieurs exemples et les observations que l'on peut en tirer.
 - NB : le rapport de recherche relatif à l'impact environnemental de solutions en béton circulaire tel qu'élaboré dans le cadre de Circular.Concrete reprend déjà un ensemble de stratégies circulaires issues de projets concrets.
- Quelle approche concrète adopter dans un projet de construction ?
- Quels outils utiliser, quels acteurs mobiliser ?
 - TOTEM, outils du secteur du béton, DEP, ...

Ce paragraphe sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

4.4 Coûts/bénéfices

Les solutions innovantes ne relevant souvent pas de l'offre standard du marché, leur application peut représenter un certain coût. Il faut savoir que nous traversons actuellement une période de transition où l'expérimentation fait place à une application à plus large échelle sur le marché de volume. Au cours de cette phase transitoire, il est important d'oser investir et d'harmoniser l'offre et la demande. Ces dernières années, plusieurs fournisseurs et fabricants ont fait de grands pas en avant afin de faire valider leurs solutions sur le plan technique et de les soumettre à un suivi, qu'il s'agisse des marques BENOR ou ATG, de programmes d'essai, etc. Une partie de l'offre circulaire (par ex., le béton BENOR des catégories RS et RD) a même déjà été largement standardisée par différentes parties ce qui, dans ces cas, limite en principe les coûts supplémentaires. NB : Le béton contenant des granulats recyclés n'est pas non plus, par définition, plus onéreux ou moins cher que le béton conventionnel.

L'« investissement » que représente la mise en pratique d'une innovation peut parfaitement être supporté par l'ensemble des parties et peut par exemple être facilité par l'identification, au sein des projets concernés, des applications précises pour lesquelles du béton circulaire peut être utilisé. Différentes stratégies peuvent être poursuivies :

- Dans le cas de projets de grande ampleur et/ou de grands volumes de béton, il peut être/sera plus intéressant pour le fournisseur de continuer à investir dans la justification et la montée en échelle de son produit innovant, compte tenu des frais supplémentaires limités que cela suppose par rapport au coût total. Effectuer de nombreuses démarches de justification et d'étude pour des volumes de béton réduits ne s'avère généralement pas intéressant.
- On peut cibler très intentionnellement des solutions standard, afin de parvenir à une large application et stimuler par exemple l'adoption des catégories RS et RD dans la marque BENOR.
- On peut aussi viser très spécifiquement certaines applications « de niche » sortant du cadre mais pouvant être justifiées d'une manière spécifique ou dont les étapes de justification supplémentaires sont limitées (voir le chapitre suivant). Ces applications de niche, si elles sont bien choisies, parviendront aussi plus facilement à se faire une place sur le marché qu'une application générale (mais plus onéreuse).

Les frais supplémentaires associés à un trajet d'innovation sont de divers types :

- Facteur temps et difficulté du processus de conception : collecte d'informations, harmonisation du projet et de l'application, calculs de stabilité supplémentaires, travail supplémentaire au niveau de la rédaction du cahier des charges, organisation du marché.
- Frais inhérents à la préparation technique (voir le chapitre suivant)
 - Un programme de base pour un mélange de béton d'une classe d'environnement EE3 incluant la réalisation, par une partie externe, d'essais de résistance à la compression, de masse volumique, d'absorption d'eau, de résistance à la carbonatation et de résistance au gel-dégel (gel interne) de 3 éprouvettes coûte environ 3000 EUR. Si l'on renonce à l'essai au gel, le prix retombe à 1100 EUR.
 - Bien entendu, le prix réel dépendra des paramètres à mettre à l'essai par ailleurs, par exemple le retrait, le fluage, la résistance au gel avec sels de déverglaçage, la résistance aux acides, la pénétration de chlorures, la résistance à l'usure, etc.
- Les frais de suivi pendant les travaux sont les suivants : si des frais s'ajoutent au fonctionnement standard de la centrale à béton (par ex. au sein de BENOR ou via la même systématique), recours à un tiers, fréquence de suivi accrue, etc.
- Autres frais : assurances, documentation, transport, etc.

Exemples de calculs :

- Exemple-type 1 – 1000 m³ de béton contenant des granulats recyclés, domaine d'application EE4 et pourcentage de substitution de 30 %
- Exemple-type 2 – 100 m³ de béton contenant du ciment ne relevant pas des normes actuelles

Ces calculs seront développés dans une version ultérieure de ce Guide pratique, une fois les informations disponibles pour tous les chantiers pilotes suivis.

5 Étape 2 – Préparation

Outre les préparations assurées du côté de la « demande » (auteur de projet, maître d'ouvrage, bureau d'étude, etc.), il convient aussi, bien entendu, que le côté « offre » soit préparé à l'application concrète de la solution innovante sur le chantier. À cet effet, il y a lieu d'attester la conformité des performances techniques de la solution circulaire aux exigences, reprises en général au cahier des charges ou dans des normes auxquelles il y est fait référence.

Par ailleurs, il convient également de prouver que les aspects environnementaux de la solution circulaire ont bien été évalués.

5.1 Conformité des performances techniques

Le cahier des charges et/ou les normes et documents de référence qui y sont cités indiquent quelles solutions circulaires sont autorisées (ou obligatoires), sous quelles conditions et quels critères il convient de respecter à cet égard (voir le Chapitre 4).

Le cahier des charges indiquera également de quelle manière il conviendra de livrer des garanties de la conformité des performances techniques de la solution circulaire aux critères posés (l'aptitude à l'emploi). Les possibilités en présence dépendront fortement de la solution circulaire et de la conformité (totale, partielle ou inexistante) au cadre normatif actuel.

Les produits peuvent être couverts par des marques de qualité volontaires attestant et certifiant la conformité du produit à certaines propriétés, reprises dans une fiche technique, de sorte que la conformité ne doit pas être établie par l'utilisateur proprement dit. D'autres possibilités existent également à plus petite échelle (par ex. pour une partie spécifique ou pour une composition de béton bien déterminée).

Dans certains cas et pour diverses raisons, l'entrepreneur et le maître d'ouvrage ont également la possibilité de convenir de dispositions *ad hoc* (supplémentaires) sur d'autres manières de démontrer l'aptitude de la technologie circulaire. Préalablement à la mise en œuvre proprement dite, on peut par exemple procéder à une étude préliminaire ou réaliser un élément de démonstration au moyen de la technologie circulaire concernée. Des éprouvettes peuvent également être prélevées au cours de l'exécution afin d'examiner le béton frais et le béton durci et d'en confirmer la conformité.

5.1.1 Normes et marquage CE obligatoire

En Belgique, il n'existe pas de législation spécifique en matière de construction et il n'est pas obligatoire de satisfaire à des normes (sauf mention explicite au cahier des charges).



Au niveau européen, tous les produits décrits dans une norme européenne harmonisée (une norme comportant une Annexe ZA est une norme harmonisée) doivent obligatoirement, au regard du Règlement européen « Produits de construction » 305/2011/UE¹³, porter le marquage CE. Il s'agit d'une **déclaration du fabricant attestant** :

¹³ 'Construction Products Regulation (CPR)', <http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/product-regulation>

- que les exigences de base générales applicables aux ouvrages de construction sont satisfaites (voir à ce propos l'Annexe 1 du Règlement Produits de construction) ;
- que le produit est conforme à la déclaration des performances établie à cet égard (DoP).

Les matières premières du béton (ciment, granulats, cendres volantes, fumée de silice, laitier de haut fourneau, adjuvants) sont décrites dans des normes harmonisées et doivent, par conséquent, toujours porter le marquage CE (à demander auprès de BE-CERT¹⁴). C'est également le cas des granulats de béton recyclés, décrits dans la norme NBN EN 12620 (par l'intermédiaire de COPRO¹⁵ ou de CERTIPRO¹⁶). De nombreux types de produits préfabriqués en béton doivent également disposer d'un marquage CE (par l'intermédiaire de PROBETON¹⁷). La norme EN 206 n'étant cependant pas une norme harmonisée, il n'existe pas de **marquage CE** pour le **béton prêt à l'emploi**.

Le marquage CE vise l'« introduction sur le marché » et la libre circulation des marchandises sur le marché unique au moyen d'un langage technique harmonisé. **Cependant, le marquage CE ne peut pas être considéré à proprement parler comme une garantie de qualité.** En effet, il se fait que, d'une part, le producteur décide lui-même des propriétés qu'il reprend véritablement dans la déclaration des performances et que, d'autre part, le contrôle de la conformité et de la production n'est pas assuré nécessairement par un tiers indépendant. Cela dépend du système d'évaluation et de vérification de la constance des performances, le système « AVCP », toujours spécifié dans l'Annexe ZA de la norme concernée.

Pour plus d'informations concernant le marquage CE de produits de construction, veuillez consulter le lien suivant : <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=ce>.

Il est également possible de demander un marquage CE pour des produits n'étant pas repris ou totalement décrits dans des normes européennes. Il convient à cet égard de demander une Évaluation technique européenne (ETA) auprès de l'UBAtc.



5.1.2 Marques de qualité volontaires

En l'absence d'une législation belge pour la construction, les marques de qualité volontaires pour les produits ou systèmes de construction jouent un rôle fondamental en matière de gestion de la qualité dans le secteur de la construction. Compte tenu de leur caractère volontaire, ces marques sont totalement soutenues par le marché proprement dit. Les principales marques de qualité belge pour le béton, les composants en béton et produits en béton sont les marques **BENOR** et **ATG**.

5.1.2.1

Le label BENOR¹⁸ est une marque de qualité volontaire destinée aux produits décrits dans une norme belge. Sur la base de la norme **(et en complément du marquage CE obligatoire)**, toutes les parties concernées (e.a. les producteurs, les entrepreneurs, les pouvoirs publics, les experts, etc.) fixent les caractéristiques pertinentes et, dans certains cas, les critères



¹⁴ <https://www.be-cert.be/fr>

¹⁵ <https://www.copro.eu/fr>

¹⁶ <https://certipro.vito.be/fr>

¹⁷ <http://probeton.be/fr/accueil.html>

¹⁸ <https://www.benor.be/fr/>

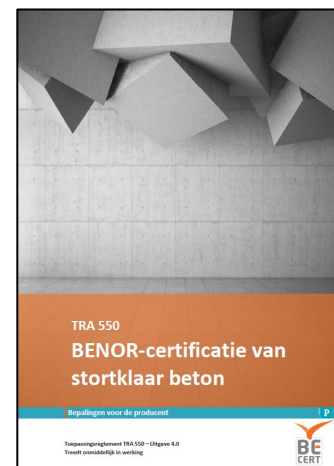
afférents dans le cadre d'un document normatif appelé « Prescriptions techniques - Technische Voorschriften » (« PTV »). Le label BENOR certifie la **conformité d'un produit** à ces prescriptions techniques. Cette certification est assurée conformément à un « Toepassingsreglement - Règlement d'application » (« TRA ») qui fixe notamment les règles relatives aux obligations suivantes :

- L'**autocontrôle**, réalisé par le fabricant du produit afin de garantir la continuité de la conformité de son produit ;
- Un **contrôle externe périodique** visant à confirmer l'existence d'une confiance suffisamment élevée dans les possibilités du fabricant de garantir la conformité de son produit.

Béton BENOR prêt à l'emploi

Pour le **béton prêt à l'emploi** conforme à la NBN EN 206 et à la NBN B 15-001, BE-CERT assure la gestion de la marque BENOR et intervient comme organisme de certification. Les documents de référence sont le règlement BENOR pour le béton prêt à l'emploi « **TRA 550** » et les annexes qui s'y rapportent. Pour obtenir la certification BENOR du béton, on fixe une composition de béton, en tenant compte des performances requises et d'éventuels critères supplémentaires, et l'on procède à des **essais-types initiaux (ITT)** afin de démontrer que la composition et les prescriptions en matière de fabrication sont telles que le béton est bien conforme à la/aux spécification(s) requise(s).

Les essais initiaux servent de base à l'établissement de la description interne du béton, des prescriptions en matière de fabrication et des critères relatifs au choix des matières premières. La centrale à béton est tenue de tenir un **Manuel de Contrôle de la production** (MCP) prouvant qu'elle dispose des moyens nécessaires pour la préparation de ses compositions de béton et qu'elle se tient à une organisation efficace permettant de maîtriser la production et d'assurer le contrôle du béton. La certification du béton prêt à l'emploi porte à la fois sur la production et sur la livraison. Dans le cadre de la certification continue d'une centrale à béton, six visites techniques de contrôle sont requises par an ainsi qu'un audit annuel du manuel de contrôle de la production.



Marquage BENOR des matières premières du béton, des produits en béton et des produits de construction

BE-CERT gère également le marquage BENOR du ciment, des granulats, des cendres volantes, des adjuvants et du mortier. Tous les documents de référence et les produits sous certification BENOR sont disponibles sur le site Internet de BE-CERT¹⁴. S'agissant spécifiquement des granulats recyclés et du béton routier, la marque BENOR est gérée par **COPRO**¹⁵. Par ailleurs, la gestion de la marque est assurée par **PROBETON**¹⁷ pour les produits en béton et par **BCCA**¹⁹ pour les produits de construction.

¹⁹ <https://www.bcca.be/>

Remarque importante

L'obtention d'une certification BENOR pour des composants du béton ne signifie pas nécessairement que ces derniers présentent une meilleure aptitude à l'emploi dans le béton, dans toutes les situations. En effet, les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001 peuvent imposer d'éventuelles exigences et règles supplémentaires à cet égard.

Par exemple, pour les granulats recyclés, la marque BENOR indique que les granulats sont conformes à la norme NBN EN 12620 et que les propriétés déclarées dans la fiche technique normalisée ont été certifiées conformément à la PTV 406. Pour qu'ils puissent être appliqués dans du béton, il convient également que ces propriétés soient conformes aux conditions spécifiques applicables aux granulats recyclés, reprises dans les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001:2018 (§ 5.1.3). Ces normes limitent également l'utilisation de granulats recyclés en fonction de l'application.

Label BENOR pour les technologies circulaires

Concernant les applications de technologies circulaires **restant conformes aux règles des normes concernées**, le label BENOR semble le moyen idéal pour attester la conformité.

Pour le béton prêt à l'emploi contenant du ciment binaire ou ternaire ou des cendres volantes et des laitiers de haut fourneau à titre d'additions et appliqué totalement selon les règles, reprises dans les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001, l'obtention du label BENOR est déjà possible. Depuis l'Édition 4.0 du TRA 550, il est également possible d'obtenir le label BENOR pour du béton contenant des granulats recyclés (catégories « RS » et « RD »).

Le label BENOR est également possible pour des applications de technologies circulaires **sortant partiellement du champ normatif**. En effet, pour certaines applications, la norme NBN B 15-001 indique spécifiquement que l'on peut y déroger pour autant que l'aptitude à l'emploi de la technologie circulaire ait été démontrée dans cette application spécifique. Quelques exemples :

- Application d'un type de ciment dans des classes d'environnement non autorisées ;
- Application d'additions dans un taux de substitution plus élevé et/ou d'une valeur k autre que celle autorisée ;
- Application de granulats artificiels ;
- Application de granulats recyclés selon un taux de substitution plus élevé des gros granulats, une classe de résistance ou une classe d'environnement supérieure à ce qui est autorisé.

Si l'**aptitude à l'emploi** dans le béton d'une technologie circulaire a été démontrée pour une application déterminée (et est garantie par voie de certification, voir le § 5.1.2.2), on peut alors suivre un trajet BENOR en vue d'obtenir le label BENOR pour ce béton.

Le label BENOR peut également être obtenu pour **des compositions de béton spécifiques et pour une application spécifique qui ne répondent pas aux exigences de la norme**. Cette voie implique une extension du champ d'application selon TRA 550, conformément au concept de performance équivalente du béton. Cette voie « limitée » est possible au sein du BE-CERT et l'évaluation et l'agrément éventuelle sont guidées par « le collège d'experts », composé d'experts sectoriels ad hoc. L'évaluation de l'aptitude à l'emploi est basée sur les méthodes de référence décrites dans les normes NBN B 15-100 et prNBN B 15-105 (voir le § 5.1.2.2).

Un exemple indicatif d'une composition circulaire qui pourrait être envisagée pour un tel trajet est: un béton avec 30% de CEM I 52.5 et 70% de LMA ("Laitier Moulu Agréé" ; ATG 2609), 20% de remplacement des granulats naturels par des granulats mixtes B+ 4/22, 30 v% de remplacement du sable naturel par du sable recyclé lavé 0/4. L'application prévue est le béton prêt à l'emploi (C20/25, béton armé, EE1, S4 et Dmax : 22 mm).

La certification sous le label BENOR avec référence à l'agrément du collège d'experts est alors possible pour la composition de béton appropriée pour l'application spécifiée. La certification de la production peut être obtenue conformément à la TRA 550. L'agrément et la certification obtenus sont limités par rapport au BENOR-ATG, car seul le producteur certifié peut produire et commercialiser la composition de béton strictement définie (voir le § 5.1.2.2). L'agrément lui-même n'est donc pas accessible au public (par rapport à ATG ; voir le § 5.1.2.2) et n'est mentionné que sur le bon de livraison.

5.1.2.2

Si un produit ou une application de produit n'est pas décrit(e) par une norme ou si une norme requiert que l'aptitude d'un produit normé fasse l'objet d'une démonstration supplémentaire pour une application déterminée, on peut, pour la garantie de la qualité, recourir à un « Agrément technique - Technische Goedkeuring » (« ATG ») avec certification. L'agrément remet un avis positif concernant l'**aptitude** d'un matériau, d'un produit, d'un système de construction, d'un kit de construction, d'une procédure ou d'un service, pour une application définie spécifiquement. Le cas échéant, l'agrément reprend également des prescriptions de pose et de mise en œuvre.



L'agrément est délivré par l'Union belge pour l'Agrément technique dans la Construction (UBAtc, <https://butgb-ubatc.be/fr/>), sur la base d'un examen analytique approfondi effectué par des experts sur la base d'une étude documentaire, d'une évaluation par voie d'essais ou de vérification de calculs, de visites sur chantier, d'une évaluation de références, d'audits, etc. Cet examen prend en considération les éléments suivants :

- Les propriétés et performances techniques ainsi que leur mesurabilité ;
- La durabilité technique ;
- L'applicabilité ;
- Les risques inhérents à l'application ;
- La conformité et la fiabilité de la production ;
- Le soutien en cours d'application, l'entretien et la réparation.

L'ATG est établi, au besoin sur la base d'un **guide d'agrément**, par des experts du **Bureau exécutif** (« BE ») et soumis au **Groupe spécialisé** (« GS » - constitué de toutes les parties présentant un intérêt pertinent dans le sujet). L'évaluation technique du dossier de demande ATG est remise par le Bureau exécutif, au sein duquel le demandeur et les autres acteurs sur le marché ne sont pas représentés.

Comme c'est le cas pour BENOR, l'agrément est toujours complété d'une **certification assurée par un organisme d'agrément et de certification**. Une convention d'agrément fixe la manière dont le fabricant est tenu d'effectuer les autocontrôles de la production et mentionne les essais externes réalisés lors de ces contrôles.

L'ATG est la **marque de qualité par excellence pour les produits** et composants de système **innovants** ne faisant pas l'objet d'une norme ou pour lesquels les normes existantes ne sont pas suffisamment abouties. Le secteur de la construction a besoin d'un tel soutien pour développer des innovations, leur permettre de trouver un accès au marché et d'obtenir l'approbation des utilisateurs.

ATG pour le ciment et les additions pour béton

Concernant le béton prêt à l'emploi, les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001 imposent des règles concernant l'utilisation de certains types de ciments, d'additions et de combinaisons dans certaines applications. Si l'on s'en écarte, il convient de déterminer spécifiquement l'aptitude du ciment, de l'addition ou de la combinaison. On se réfère, à cet égard, aux principes du « concept de **performance équivalente du béton** », dont les règles d'application pour la Belgique sont prévues dans la norme **NBN B 15-100 « Méthodologie pour l'évaluation et l'attestation de l'aptitude à l'emploi de ciments et d'additions destinés au béton »**. Cette norme constitue la base de l'ATG du ciment et des additions pour béton, en dehors des conditions d'application reprises dans les normes NBN EN 206 et NBN B 15-001.

Il convient en premier lieu de décrire clairement l'application souhaitée. Cela couvre e.a. la/les classe(s) d'environnement, la classe de résistance, le taux de substitution du ciment Portland par une addition, la valeur k, etc.

Dans certains cas, il convient d'examiner l'**aptitude à l'emploi générale** du ciment/de l'addition pour une utilisation dans le béton. C'est par exemple le cas du ciment non conforme aux règles de composition de la norme NBN EN 197-1. Cela implique que les caractéristiques d'identification du ciment et/ou de l'addition doivent être clairement déterminées, qu'il y a lieu de démontrer la maîtrise de la qualité et la traçabilité et d'examiner certaines propriétés de performance de base dans des compositions de béton-type (résistance à la compression, module E, retrait, fluage).

Dans tous les cas, il convient de démontrer l'**aptitude à l'emploi spécifique** du ciment/de l'addition pour une utilisation dans le béton :

- On peut choisir de démontrer l'aptitude à l'emploi spécifique pour une composition de béton déterminée, pour une application déterminée (ce que l'on appelle une « **évaluation de niveau 1** »). L'évaluation est réalisée directement sur la composition de béton réelle. Dès lors, une telle évaluation est généralement réalisée par un **utilisateur individuel (par ex., une centrale à béton)**.
- On peut également choisir de réaliser l'évaluation au sens plus large, en examinant l'aptitude à l'emploi spécifique du produit pour un domaine d'application plus large (par ex., une classe d'environnement ou une combinaison de classes d'exposition). C'est ce que l'on appelle une « **évaluation de niveau 2** ». À cet égard, l'examen doit être effectué sur plusieurs compositions de béton formant un ensemble représentatif du domaine d'application complet. Procéder à une telle évaluation s'avère donc bien plus ambitieux que porter son choix sur le niveau 1. Ces évaluations sont généralement le fait du **fabricant ou du fournisseur de matériaux**, l'objectif consistant à livrer aux utilisateurs finaux de ces matériaux (par ex. des producteurs de béton ou des fabricants de produits en béton) un produit certifié (caractéristique nécessaire en vue d'une éventuelle certification BENOR) et les informations voulues concernant les règles d'application de ces matériaux.

L'évaluation de l'aptitude à l'emploi spécifique examine des aspects de durabilité spécifiques en fonction de l'application/du domaine d'application visé(e) :

- Résistance à la carbonatation ;
- Résistance au gel (dégâts internes) ;
- Résistance au gel (dégâts en surface) ;
- Résistance à la diffusion de chlorures ;
- Résistance à l'eau de mer ;
- Résistance aux sulfates ;
- Résistance aux acides ou à d'autres produits chimiques.

L'organisme de certification concerné (BE-CERT) détermine avec le BE concerné les modalités de l'ATG, comme les essais à réaliser et les compositions de béton à mettre à l'essai (en cas d'évaluation de niveau 2).

Exemple indicatif

Une centrale à béton souhaite obtenir une certification BENOR pour du béton armé, conforme à la classe d'environnement EE3, utilisant comme liant une combinaison de CEM I et de LMA (laitier de haut fourneau granulé moulu) non conforme aux conditions de la norme NBN B 15-001 (par exemple en cas de prise en compte d'une quantité plus élevée de LMA). Les laitiers de haut fourneau granulés moulus doivent en tout cas disposer d'un ATG avec certification, conformément au Guide d'agrément ATG « Laitier de haut fourneau moulu - LMA ». Pour la/les combinaison(s) spécifique(s) CEM I + LMA destinée(s) à une utilisation dans une/plusieurs composition(s) de béton et application(s) spécifique(s), la centrale à béton peut demander un ATG auprès de l'UBAtc (évaluation de niveau 1). Une fois l'ATG obtenu, la procédure de demande de certification BENOR pour les compositions de béton présentant cette/ces combinaison(s) peut être lancée auprès de BE-CERT.

ATG pour matières premières inertes pour le béton

Les matières premières inertes (sable, granulats et fillers) font actuellement l'objet d'un document de travail de projet de norme : **prNBN B 15-105 « Méthodologie pour l'évaluation et l'attestation de l'aptitude à l'emploi de matières premières inertes destinées au béton »**. Ce document décrira les règles d'application pour la certification ATG de granulats inertes destinés au béton, en dehors des conditions d'application des normes NBN EN 206 et NBN B 15-001.

La méthodologie d'évaluation à suivre pour les sables, les granulats et les fillers est analogue à celle applicable pour le ciment et les additions (conformément à la NBN B 15-100). Ainsi, la norme contient également une méthodologie pour l'évaluation de l'**aptitude générale à l'emploi** et de l'**aptitude spécifique à l'emploi** (avec deux niveaux d'évaluation).

ATG pour d'autres technologies circulaires

Concernant les technologies circulaires pour lesquelles aucune méthodologie n'a encore été élaborée afin d'en déterminer l'aptitude à l'emploi (par ex. d'autres liants comme des géopolymères non repris

dans la norme NBN EN 197-1), il convient d'établir un Guide d'agrément spécifique à cette technologie dans l'application souhaitée. Dans les grandes lignes, une telle demande se déroule comme suit :

- Le Bureau exécutif en charge de ce dossier examine en premier lieu la recevabilité de la demande. Il s'agit à cet égard d'évaluer la faisabilité de la technologie dans l'application souhaitée et d'inviter l'entreprise demandeuse à communiquer ses procédures en matière de garantie de la qualité (e.a. le contrôle de la production). Un dossier technique est alors constitué avec les données déjà disponibles concernant la technologie (essais en laboratoire).
- Si la demande est déclarée recevable, on procède ensuite à la fixation des exigences applicables à la technologie (en matière de composition, de propriétés chimiques, physiques et mécaniques, de durabilité, etc.).
- Au cours d'une période initiale (en général 3 mois), les exigences sont vérifiées à une haute fréquence, en interne comme en externe. En cas d'évaluation positive, l'Agrément technique est délivré. On observe ensuite une période de surveillance à régime de contrôle réduit.
- La fréquence des essais et des prélèvements d'échantillons est fixée par le Bureau exécutif, en concertation avec l'organisme de certification concerné.

5.1.3 Contrôle par lot et béton de projet

S'agissant d'établir la conformité à petite échelle et sans certification, par ex. pour un lot de matériau bien déterminé (par ex. des granulats de béton issus d'un chantier spécifique) ou pour une composition de béton donnée dans le cadre d'un grand projet de construction, il est possible de faire procéder à un contrôle afin d'obtenir une **garantie analogue** à celle offerte par les marques de qualité volontaires. L'attestation émise dans ce cadre est limitée dans le temps (ou en volume), ce qui contraste avec le marquage ATG des matières premières (voir le § 5.1.2.2) et le marquage BENOR d'une/de composition(s) en béton (voir le § 5.1.2.1), qui, par définition, s'accompagnent toujours d'une certification continue.

Contrôle par lot

Un contrôle par lot consiste en un contrôle, par une partie indépendante, d'une quantité limitée de matériau (un « lot ») afin d'en démontrer la conformité aux exigences posées. Ce procédé peut s'appliquer par exemple :

- À des produits sans marque de qualité certifiée ;
- Lorsque des exigences sont posées dans le cahier des charges concernant des propriétés non reprises dans la certification ;
- Aux produits dont la disponibilité est limitée (et pour lesquelles les marques de qualité avec certification ne sont donc pas à l'ordre du jour).

Le contrôle est effectué une seule fois sur le produit fini (aucune garantie ne peut donc être offerte concernant les matières premières et le processus de production). Le lot complet de matériau doit être disponible lors du contrôle. Il convient de fixer au préalable le mode de prélèvement, les propriétés à contrôler et les critères d'agrément dans un document de contrôle basé sur :

- une norme ;

- un cahier des charges type ou standard ;
- un cahier spécial des charges ;
- une prescription technique (PTV) ;
- une convention *ad hoc* signée

Un organisme d'inspection indépendant (par ex. COPRO ou SECO) assure l'organisation et le suivi.

Béton de projet

Si, pour un grand projet de construction bien déterminé, il n'est pas possible de s'appuyer sur les marques de qualité volontaires usuelles pour le béton (circulaire) souhaité (par ex. en cas d'absence locale de centrales à béton proposant du béton sous marquage BENOR ou si l'on sort exceptionnellement du cadre normatif existant), il est possible malgré tout d'obtenir une garantie de qualité **équivalente** du béton.

La méthodologie pour la voie BENOR (voir le § 5.1.2.1) peut être appliquée pour un béton de projet, mais avec un régime de contrôle adapté à la durée du projet. Si la composition du béton s'écarte par ailleurs du cadre normatif existant au niveau du liant et/ou des matières premières inertes, on peut également appliquer la méthodologie des normes NBN B 15-100 et prNBN B 15-105 (« **évaluation de niveau 1** »).

Un béton de projet fait l'objet d'une attestation de conformité limitée dans le temps, délivrée par un organisme de contrôle indépendant (par ex. SECO ou COPRO), qui assure également l'organisation et le suivi.

5.1.4 Conventions ad hoc

En fonction de la description reprise au cahier des charges, il peut, dans certains cas, s'avérer possible pour l'entrepreneur concerné de démontrer au maître d'ouvrage la conformité de la solution circulaire aux exigences posées par un autre biais que les marques de qualité (§ 5.1.2) et contrôles existants (§ 5.1.3).

Cette possibilité pourrait par exemple s'appliquer dans les cas (et combinaisons de cas) suivant(e)s :

- La technologie circulaire imposée au cahier des charges ou proposée par l'entrepreneur est à ce point ambitieuse qu'il n'existe aucune norme de référence et qu'aucune marque de qualité n'est (encore) disponible en la matière ;
- Aucun producteur local n'est disponible pour la technologie imposée/proposée et le volume est trop faible pour justifier la demande d'une marque de qualité ou d'un contrôle par lot/d'un béton de projet ;
- Le risque lié à l'application de la technologie circulaire est faible et la plus-value est élevée ;
- Le timing du projet ne permet pas d'obtenir une marque de qualité ou un contrôle qualité pour l'application circulaire demandée (par exemple en raison d'essais de durabilité de longue durée).

- L'entrepreneur (et/ou la partie proposant la technologie circulaire) peut soumettre au maître d'ouvrage des projets exemplatifs et des résultats d'essai d'applications réussies de la technologie circulaire.

Dans ces cas, on peut par exemple utiliser d'autres (combinaisons de) procédés :

- Réalisation d'une étude préliminaire plus légère, basée sur les programmes d'essai prévus dans le cadre des marques de qualité afin d'évaluer les propriétés les plus pertinentes ;
- Évaluation des résultats d'essai, sans intervention d'un organisme de contrôle ;
- Mise en œuvre préalable, par l'entrepreneur, d'un élément de démonstration dans l'optique, d'une part, de se constituer de l'expérience dans cette technologie circulaire (encore inconnue) et, d'autre part, de pouvoir présenter au maître d'ouvrage l'aspect obtenu.
- Prélèvement d'échantillons au cours de la mise en œuvre proprement dite en vue de confirmer la conformité des propriétés aux critères.

Le cas échéant, les modalités des dispositions convenues (par ex. la manière différente d'évaluer, les critères d'évaluation, le traitement des non-conformités, etc.) sont actées et signées par les deux parties.

5.2 Cadre environnemental

La circularité impliquant souvent l'utilisation de flux de déchets ou de flux résiduels, un certain nombre de points d'attention concernent la réglementation environnementale et l'hygiène de l'environnement.

5.2.1 Utilisation de flux de déchets dans la construction – MAA & VLAREMA

Les MAA étant généralement produits à base de flux résiduels industriels comme des cendres volantes et des laitiers métallurgiques, la question se pose de savoir si l'application de ces matériaux dans une utilisation architecturale est soumise ou non aux règles du VLAREMA et plus précisément si une déclaration de matière première spécifique est nécessaire à cet égard. En effet, de tels matériaux ne peuvent pas être appliqués librement partout, mais doivent satisfaire à un certain nombre de conditions.

L'OVAM a établi un premier avis à cet égard, présenté dans le cadre ci-dessous.

- Le liant faisant l'objet de la demande de déclaration de matière première (DMP) consiste en un mélange de différentes substances, parmi lesquelles des déchets (de deux types : cendres volantes et laitier de haut fourneau) pour lesquels une déclaration de matière première a été établie.
- Une déclaration doit avoir été rédigée par les deux producteurs (cendres volantes et laitier de haut fourneau), ces derniers y attestant avoir connaissance de l'utilisation de leur matériau et donner leur accord à ce propos.
- Si la demande de déclaration de matière première pour un liant émane d'un tiers, soit une personne autre que celle qui en assure la composition, il convient également de joindre une déclaration du producteur de liant autorisant ce tiers à demander la déclaration de matière première.
- Une déclaration de matière première reprend des conditions pour le producteur et des conditions pour l'utilisateur.
- Les déclarations de matière première des (deux) déchets (laitiers, mâchefers) doivent garantir la conformité respectivement des laitiers de haut fourneau et des cendres volantes au Vlarema

(Règlement flamand relatif à la gestion durable de cycles de matériaux et de déchets). La fréquence de contrôle est déterminée dans cette déclaration de matière première (contrôle annuel et suivi par le biais d'un système d'assurance de la qualité (SAQ) pour les matières premières, comme prévu dans le Vlarema).

- Ici, on part du principe que les matériaux faisant l'objet d'une déclaration de matière première sont conformes au Vlarema et qu'aucune condition d'utilisation spécifique n'est imposée pour satisfaire aux normes du Vlarema.
- Lorsqu'une demande de DMP est introduite pour le liant, il convient de mentionner la composition de ce dernier. Nous comprenons bien que la composition et les proportions exactes du mélange ne peuvent pas être indiqués. Toutefois, il y a bien lieu de décrire l'ensemble des composants. Les déchets doivent satisfaire aux critères EoW (*end of waste*) (= déclarations de matière première), voir les indications susmentionnées. Une déclaration doit attester qu'aucun autre matériau EoW ne sera utilisé.
- Si la composition du liant est susceptible de varier, il faut aussi clairement le mentionner. Lors des essais et des analyses, il convient dès lors de partir du scénario le plus défavorable.
- Si la composition du liant est adaptée au fil du temps et ne correspond plus à la composition indiquée dans la déclaration de matière première, cette dernière n'est alors plus valable. Dès lors, il convient toujours de signaler (par l'intermédiaire du guichet en ligne) les modifications apportées à la composition et, le cas échéant, d'adapter la DMP.
- En dehors des conditions en matière de composition et de qualité du liant au niveau de l'hygiène de l'environnement, d'autres conditions s'appliquent à l'utilisation.
- Il convient d'indiquer clairement sous quelles conditions le liant peut être utilisé (= conditions d'utilisation : la préparation se compose comme suit : taux max. de « liant », % de sable, % de granulats grossiers ou utilisation d'autres matières, par ex. des granulats recyclés ou des matériaux faisant l'objet d'une déclaration de matière première).
- Ici aussi, il convient, lors de la mise à l'essai de l'éprouvette concassée, de partir du scénario le plus défavorable. La composition (préparation) de l'éprouvette doit être de nature à présenter les meilleures perspectives de conformité aux normes du Vlarema.
- Le titulaire de la DMP doit indiquer par quelle voie il communiquera les conditions d'utilisation à l'utilisateur (ou comment il procédera au suivi des conditions d'utilisation ou peut garantir le respect des conditions d'utilisation).
- La déclaration de matière première peut imposer des dispositions plus précises concernant le suivi de l'utilisation. Il peut s'agir par exemple d'une analyse périodique d'une éprouvette ou d'un contrôle du respect des conditions d'utilisation.
- L'applicabilité technique peut être démontrée au moyen de documents de recherche néerlandais. Il est toutefois préférable de s'accorder avec un organisme de recherche (par ex. le CSTC, le CRR, etc.) et de faire déclarer qu'il n'y a pas d'objections techniques ou autres à utiliser le liant en Flandre.
- Pour le béton concassé à base de géopolymère, il convient en outre de déterminer le lessivage d'antimoine (Sb), de baryum (Ba), de molybdène (Mo), de bromure (Br), de fluorure (F), de chlorure (Cl) et de sulfate (SO₄).

5.2.2 Utilisation de flux de déchets dans la construction – prise en considération de la 2^e et de la 3^e vie

Bien entendu, il convient de veiller à ce qu'une solution considérée aujourd'hui comme « circulaire », car solutionnant un problème de déchets ou intégrant des flux de recyclage dans le béton ne cause pas de problème supplémentaire par la suite en raison d'un arrêt de recyclage de ces produits ou des difficultés supplémentaires que cela générerait. Un exemple typique de cette problématique concerne le comportement de lessivage présenté par certains laitiers : en premier lieu, ce lessivage est limité par la prise dans la matrice de béton et de ciment. Dans une vie ultérieure, lorsque le béton produit

sur cette base sera à nouveau concassé en granulats, des problèmes pourront cependant se présenter si les granulats concassés avec des laitiers métalliques se lessivent en certains métaux lourds.

Une question analogue qui se pose consiste à savoir dans quelle mesure du béton de géopolymère peut être considéré comme du béton ordinaire dans la démolition et le recyclage par processus de concassage (voir le cadre de l'OVAM ci-dessus).

6 Étape 3 - Mise en œuvre & suivi

6.1 Check-list de travaux recourant à l'application de nouvelles technologies sur le chantier

Lors de la mise en œuvre concrète et donc de l'application sur le chantier, il convient de tenir compte du fait qu'à certains égards, les nouvelles technologies peuvent être différentes du béton classique ou conventionnel. Il est important, à l'entrepreneur/maître d'ouvrage, de bien évaluer les points suivants à l'avance. En principe, il appartient au fabricant ou au fournisseur de livrer ces informations. Il peut être recommandé d'accumuler d'abord suffisamment d'expérience sur une zone ou un élément d'essai.

Points d'attention spécifiques possibles par rapport au béton classique :

- Ouvrabilité & maintien dans le temps

En travaillant avec des matériaux plus poreux et plus absorbants (par ex., des granulats recyclés présentant une valeur WA_{24} de 3-10 %), la demande en eau du mélange de béton est plus difficile à contrôler et l'ouvrabilité initiale ainsi que l'ouvrabilité dans le temps varient. Il convient d'accorder l'attention voulue à ce point, surtout en cas d'utilisation de grandes quantités de granulats et de sables recyclés. L'application d'autres liants ou adjuvants peut également en influencer l'ouvrabilité et le maintien.

Dans le cas du béton BENOR, l'ouvrabilité spécifiée doit être maintenue pendant 30 minutes après la livraison sur chantier et l'addition éventuelle d'adjuvants.

- Aspect

L'utilisation de matériaux issus de flux résiduels industriels ou du secteur du recyclage peut également influencer l'aspect du béton final. Des granulats recyclés issus de déchets de construction et de démolition peuvent contenir par exemple des particules flottantes qui émergeraient à la surface d'un plancher (pour ce cas spécifique, la norme NBN B 15-001 prescrit des exigences supplémentaires spécifiques concernant les granulats). Par ailleurs, des déchets industriels peuvent également entraîner une coloration plus sombre ou plus claire du béton.

- Caractère agressif

Affichant un pH très élevé, le béton classique présente donc d'emblée un comportement chimique assez agressif, ce qui nécessite déjà que l'on prenne les mesures de protection voulues lors de son traitement. Dans certains MAA, on utilise des activateurs extrêmement alcalins à l'état liquide, très corrosifs et agressifs. Il est important que les utilisateurs sur chantier en soient tenus au courant, de sorte à pouvoir prendre les mesures supplémentaires qui s'imposent à la fois pour eux-mêmes et pour leur matériel.

- Temps de prise

En cas d'utilisation d'autres liants, mais aussi de granulats recyclés, on a constaté par le passé que le temps de prise pouvait fortement différer de celles de mélanges de béton classiques. Tant le début que la fin de la prise peuvent différer, ayant pour effet de maintenir certains mélanges fort longtemps à l'état plastique avant un durcissement rapide et inversement. Ces

particularités peuvent avoir des conséquences pour la pose du béton, mais également pour son parachèvement éventuel (par ex. en cas de polissage de sols en béton).

- Durcissement, évolution de la résistance

En cas d'utilisation d'autres liants, le durcissement et l'évolution de la résistance peuvent fortement varier des compositions de béton classiques à base de ciment. Le délai de décoffrage ainsi que la durée de post-traitement dépendent (entre autres) de cette évolution de la résistance et seront donc également influencés.

- Post-traitement

Le béton classique à base de ciment doit, au cours des premiers jours suivant le coulage, être protégé de la dessiccation. En cas d'application d'autres liants, d'autres méthodes de post-traitement peuvent être applicables.

6.2 Documentation

L'un des points critiques de l'application plus large de solutions innovantes concerne le peu d'expérience pratique venant soutenir leur utilisation et au manque de preuves de leur réelle durabilité dans le temps, sur le long terme. D'où l'importance grandissante, lors de l'exécution de projets faisant appel à des technologies circulaires, de se documenter particulièrement bien sur les applications et les lieux concernés par l'application de béton innovant et sur les spécifications exactes du béton.

Cette manière de procéder permet d'effectuer un suivi ultérieur de l'état du béton, par ex. après 5, 10 ou 20 ans, et ainsi de documenter également le parcours véritable du produit sur le long terme. Il s'avère souvent très difficile, après un certain nombre d'années, de retrouver exactement ce qui s'est passé à l'époque sur le chantier et de savoir à quel endroit du béton innovant a été appliqué.

En soi, les fiches techniques du béton et un plan clair désignant ces emplacements pourraient déjà suffire. Ces documents peuvent tout à fait être joints au Dossier de post-intervention.

À terme, des passeports matériaux et bâtiments pourraient apporter une contribution importante à cette thématique. Au niveau du produit ou du matériau, on peut regrouper les propriétés et informations pertinentes et, au niveau du bâtiment, on peut indiquer l'emplacement de chaque application en béton.

Dans une perspective de réemploi futur et/ou de recyclage ultérieur, de telles informations (composition, emplacement, conditions limites, etc.) sont précieuses.

6.3 Suivi

Dans la mesure des possibilités et si cet aspect est pertinent, des systèmes de surveillance peuvent être introduits ou ajoutés à des emplacements choisis stratégiquement dans des structures ayant fait l'objet d'une application de technologies circulaires. Comme c'est le cas pour les structures de béton classiques, ces systèmes pourraient être utilisés pour intervenir à temps (de manière préventive) lorsque la durabilité de la construction est en péril (par ex., en cas de corrosion de l'armature à des endroits critiques). À titre d'exemples de systèmes de surveillance, citons les fibres optiques (mesure de déformations) et les électrodes de référence (activité de corrosion).

Ces techniques pourront dès lors être utilisées afin de conforter la technologie en matière de durabilité.

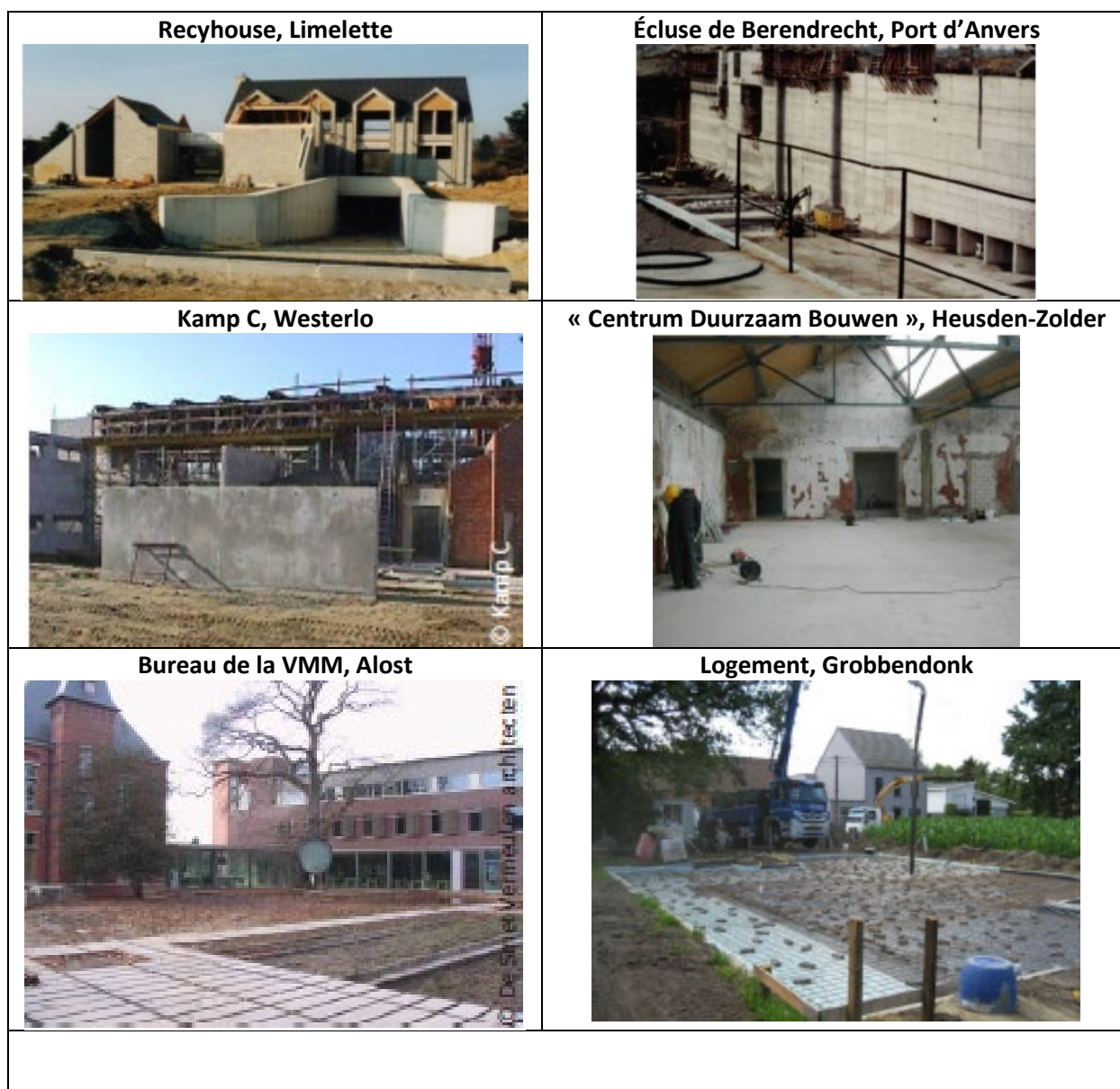
7 Exemples et inspiration

7.1 Aperçu de projets réalisés avec du béton circulaire (en Belgique)

7.1.1 Monographie consacrées à l'utilisation de granulats recyclés dans le béton

Au fil des années, le CSTC a collaboré à l'exécution, au suivi et/ou à la documentation de différents projets réalisés principalement avec du béton recyclé, notamment par l'intermédiaire de VLAIO-TE-TRA-VALRECON et de NIB Stortklaar beton voor de toekomst.

Ces projets sont tous décrits dans la monographie « *Utilisation de granulats de béton recyclés dans le béton* » publiée en 2019²⁰, et plus spécifiquement à l'Annexe B.



²⁰ <https://www.cstc.be/publications/monographies/32/>

Revêtements industriels intérieurs et extérieurs



Sentier à deux bandes, La Panne



N49/E34, Zwijndrecht



7.1.2 Circular.Concrete



Zone d'essai Bioterra Genk

Bioterra

Biostoom Beringen

Strabag Belgium, Orbix, Bioterra, Preton, Inter-Beton et BM Beton

	<p>Site de la Sucrerie de Furnes</p> <p>De Brabandere Wegenbouw et Ecocem Benelux</p>
	<p>Zone industrielle d’Hemiksem</p> <p>Jacobs Beton, Metallo et Ecocem Benelux</p>

Pour plus d’informations concernant ces projets, nous vous invitons à consulter le rapport de recherche des leçons tirées de chantiers-pilotes (« *Leerlessen uit pilootwerven* ») de Circular.Concrete²¹.

7.1.3 Autres projets intéressants en Belgique

- De Circulaire Weg, De Brabandere Wegenbouw NV dans le cadre de l’Open Call de Vlaanderen Circulair
 - o https://www.youtube.com/watch?v=6iol41_4obc
- Circulair Beton: naar een betonakkoord voor Vlaanderen – GBV, VCB, CASO, Fedbeton, CSTC
 - o <https://vlaanderen-circulair.be/nl/doeners-in-vlaanderen/detail/naar-een-betonakkoord-voor-vlaanderen>
- Circulair Projectbeton Haven van Antwerpen – Port d’Anvers, KMPG Law, VanBreda, CSTC
 - o <https://vlaanderen-circulair.be/nl/doeners-in-vlaanderen/detail/circulair-projectbeton-haven-van-antwerpen-3>
- TETRA-project Hoogwaardig beton in wegenisbeton – PXL
 - o [https://www.pxl.be/Pub/onderzoek/Projecten/Projecten-Bouw-en-Energie/Hoogwaardig-betongranulaat-\(TETRA\).html?cel=ONDERZOEKPROJECTFILTER](https://www.pxl.be/Pub/onderzoek/Projecten/Projecten-Bouw-en-Energie/Hoogwaardig-betongranulaat-(TETRA).html?cel=ONDERZOEKPROJECTFILTER)
- Roadmap Recybet

²¹ <https://www.circular-concrete.be/resultaten/>

- https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS1925920&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&tab=default_tab&lang=en_US&fromSite-map=1
- https://issuu.com/febe1/docs/beton_237_def

Ce paragraphe sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

7.2 Projets en béton circulaire réalisés à l'étranger

Ce paragraphe sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

7.3 Projets de recherche intéressants et autres exemples

- Sand2Sand – rapport final - https://www.circular-concrete.be/wp-content/uploads/2019/10/sand2sand_overzichtsartikel-c2-versie-online.pdf
- SERAMCO - <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/seramco-secondary-raw-materials-for-concrete-precast-products/>
- HISER - <http://www.hiserproject.eu/>
- URBCON - <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/urbcon-by-products-for-sustainable-concrete-in-the-urban-environment/>
- GHRANTE - <https://www.sim-flanders.be/project/ghrante>
- BnB – Beton naar Hoogwaardig Beton - <https://upconcrete.vito.be/nl>

Ce paragraphe sera développé dans une prochaine version de ce Guide pratique.

8 Références

A sustainable future for the European Cement & Concrete Industry, A. Favier, C. De Wolf, K. Scriver, G. Habert, ETH Zürich, 2018 - https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/301843/AB_SP_Decarbonisation_report_Final-v2.pdf?sequence=14&isAllowed=y

Adjudication de la Ville de Gand - projet URBCON, 2020 - <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/urbcon-by-products-for-sustainable-concrete-in-the-urban-environment/news/urbcon-launches-tender-for-ghent-pilot/>

Textes de cahiers des charges pour l'utilisation du béton vert dans la construction routière, AB-Roads & GroenBetonVert, 2019, <https://www.groenbetonvert.be/hoegroenbetonvoorschrijvenvoorgebruikindewegenbouw/>

Le béton dans l'économie circulaire : l'utilisation de granulats recyclés, B. Dooms, J. Vrijders, L. Kupers, CSTC-Contact 2019/5 - <https://www.cstc.be/publications/dossiers-du-cstc/2019-05.01/>

Catalogus Secundaire en Gerecycleerde granulaten voor de bouw (*Catalogue des granulats secondaires et recyclés pour la construction*), CSTC et CRR sur mission de l'OVAM, 2018 - <https://bouw.grondstoffencatalogus.be/>

Échelle de performance CO₂, COPRO, 2021 - <https://www.copro.eu/fr/certification/certification-de-systeme/certification-de-systeme-echelle-de-performance-co2>

DuraBuildMaterials, UGent, 2021, <https://durabuildmaterials.ugent.be/>

Groen Asphalt, wegenbouw.be, 2017 - <https://www.wegenbouw.be/nieuws/6960/offertes-met-groen-asfalt-krijgen-eeen-gunstigere-beoordeling/>

Réemploi des matériaux : comment justifier leurs performances techniques ?, F. Poncelet, M. Deweerdt, J. Vrijders, CSTC-Contact / Les dossiers du CSTC 2020/1.7 - https://www.cstc.be/publications/dossiers-du-cstc/2020-01.07/?_hstc=243037533.bf3681f75e7cf7462c2808cfc2546ec6.1643646372939.1644926856751.1645099601836.10&_hssc=243037533.14.1645099601836&_hsfp=2125302960&_ga=2.4894458.890307222.1645099637-1214318611.1643646377

Le Bâti Bruxellois, Source de nouveaux matériaux, FEDER-project UCLouvain, CSTC, ROTOR & VUB, 2015-2021, www.bbsm.brussels

Monographie – Utilisation de granulats de béton recyclés dans le béton, J.Vrijders (CSTC) et L. De Bock (CRR), 2019, <https://www.cstc.be/publications/monographies/32/>

Vers une réduction de l'impact environnemental du béton, A. Janssen, L. Wastiels, CSTC-Contact / Les dossiers du CSTC 2020/1.2 - <https://www.cstc.be/publications/dossiers-du-cstc/2020-01.02/>

Article d'aperçu Sand2Sand, J. Vrijders & projectpartners, 2019 - https://www.circular-concrete.be/wp-content/uploads/2019/10/sand2sand_overzichtsartikel-c2-versie-online.pdf

Cahier des charges type 250, Agentschap Wegen & Verkeer, 2021 - <https://wegenenverkeer.be/zakelij/documenten/standaardbestek>

9 Annexes

9.1 Exemple de textes de cahiers des charges

9.1.1 Description technique du béton de recyclage dans le projet NONA, Malines, 2014 (DMVA)

26.10b. béton prêt à l'emploi – béton recyclé |PM|

Description

Cet article décrit les exigences posées à l'égard du béton recyclé, qui sera mis à disposition de l'entrepreneur en gros œuvre par le maître d'ouvrage. L'entrepreneur en gros œuvre aura donc connaissance à l'avance des conditions connexes applicables et pourra également, par conséquent, être assuré qu'elles seront atteintes.

Sur la base des applications visées susmentionnées, on distingue en principe les types de béton suivants (à base de granulats recyclés) :

- 1. Poutres de fondation, dalle de plancher sur terre-plein :
 - **BÉTON 1** : C30/37 – EE2 – 30 % de substitution – consistance au choix de l'entrepreneur – E/C max = 0,55, min. 320 kg de ciment
 - **Remarque** : possibilité de couler les deux applications ensemble ou de manière distincte, avec une consistance différente à la clé. Cela ne pose pas de problème. $D_{max} = 20$ mm
- 2. Parois extérieures & planchers porteurs (de type cassette & traditionnel)
 - **BÉTON 2** : C30/37 – EE3 – 20 % de substitution – consistance au choix de l'entrepreneur – E/C max = 0,50, min. 300 kg de ciment
 - **Remarque** : les planchers porteurs sont quelque peu surdimensionnés compte tenu de ce choix. Comme il s'agit d'une application « portante », sujette au mouvement, l'application est sécurisée.
- 3. Remplissage des prémurs :
 - **BÉTON 3** : C25/30 – EI – 50 % de substitution – consistance au choix de l'entrepreneur – E/C max = 0,65, min. 260 kg de ciment
 - **Remarque** : assurer la concordance des valeurs du rapport E/C max et de C min avec le produit en béton
 - **Point d'attention** : D_{max} pour le remplissage de prémurs. Cette valeur doit être déterminée par le maître d'ouvrage en fonction des produits préfabriqués choisis.

Les exigences en matière de qualité s'articulent en deux parties :

- Exigences générales – valable pour les 3 types de béton
- Exigences en fonction de l'application & du type de béton

Mesure

Voir tout l'art. 26.10

Matériaux

Voir tout l'art. 26.10, spécifiquement pour le béton de recyclage.

Exigences générales – valable pour les 3 types de béton

Exigences relatives aux granulats recyclés :

- Les granulats doivent satisfaire au moins aux exigences imposées dans la NBN B15-001, paragraphe 5.1.3. Les granulats disposent de préférence d'une certification BENOR ou analogue pour ces caractéristiques.
- Il convient également de déterminer les éléments suivants, préalablement à la production du béton :
 - o Teneur en chlorures des granulats
 - o Courbe granulométrique déterminée à 3 moments différents dans le temps.
 - o WA24 declared – 3 mesures individuelles
 - o Pour une utilisation dans du béton apparent, il est nécessaire de détecter spécifiquement la présence de certaines salissures (particules rouillées, matières flottantes, particules légères...) parmi le lot de granulats utilisés pour la production de béton. De plus, les granulats doivent également être lavés ou épurés afin d'exclure un certain nombre de problèmes.

Exigences au niveau de la centrale et du processus :

- La centrale BENOR et le béton sont traités de la même manière que le béton BENOR.
- Le mode de stockage des granulats est tel que la demande en eau est sous contrôle : la centrale décrit le processus
- Le taux d'humidité des granulats est mesuré 2 fois par jour en cas d'utilisation dans la production de béton

Exigences relatives à la composition du béton

- Le béton est totalement conforme aux exigences reprises dans le document TRA 550 v3.0, mis à part le volet « granulats recyclés »
- Utilisation de ciment CEM III/A LA en cas d'utilisation de granulats recyclés.
- Additions non autorisées.

Essais réalisés au préalable :

- **ITT**

Procédure ITT et exigences identiques au béton classique - se référer au règlement TRA 550

Les essais doivent être réalisés à chaque fois sur 3 éprouvettes de 3 lots de béton différents par recette individuelle. Cette recette ne peut plus être modifiée a posteriori et une référence à cette composition est reprise sur les bons de livraison du béton.

Essais, conformément aux prescriptions TRA 550 :

- o Béton frais
 - Masse volumique
 - Consistance
 - Évolution de la consistance
 - Contrôle du rapport E/C effectif par voie d'essai de séchage

- Teneur en air
 - Béton durci
 - Masse volumique
 - Résistance à la compression à 7j et 28j
 - Absorption d'eau
- ⇒ Les résultats d'essais doivent être transmis à l'architecte et au bureau d'étude au moins 2 semaines avant l'utilisation du béton sur le chantier.

- Essais réalisés en cours de chantier :

Sur chantier, on contrôle si le béton mis en œuvre est conforme aux propriétés demandées, selon les fréquences suivantes :

- 1 fois par 200 m³ produits et par recette (période de début), à raison d'au moins 1 fois par jour, max. 3 fois/jour²²
 - Béton frais :
 - Teneur en ciment/liant
 - Masse volumique
 - Consistance
 - Teneur en air
 - Rapport eau/ciment déterminé par brûlage
 - Volume de béton en m³
 - Béton durci :
 - Résistance à la compression à 28j

La masse volumique, la consistance, la teneur en air doivent être vérifiées au moins 1x/jour sur chantier.

Les échantillons prélevés pour la résistance à la compression sont produits pour moitié à la centrale et pour moitié sur chantier.

- Résistance supérieure à C30/37 : production par 100 m³, min. 1/jour, max. 3 /jour

Exigences complémentaires - spécifiques à l'application

Outre la résistance et l'ouvrabilité couvertes par voie d'ITT et de FPC, il convient également de vérifier un certain nombre d'exigences supplémentaires par l'intermédiaire d'essais spécifiques (préalables), portant en particulier sur la durabilité du béton et sur d'éventuelles caractéristiques mécaniques.

Les types de béton prévus sont les suivants :

- **BÉTON 1** : C30/37 – EE2 – 30 % de substitution – consistance au choix de l'entrepreneur – E/C max = 0,55, min. 320 kg de ciment

²² En cas de production, en petites quantités, de 3 types de béton au cours d'1 journée, il convient de soumettre 1 des 3 au programme d'essais.

- **BÉTON 2** : C30/37 – EE3 – 20 % de substitution – consistance au choix de l’entrepreneur – E/C max = 0,50, min. 300 kg de ciment
- **BÉTON 3** : C25/30 – EI – 50 % de substitution – consistance au choix de l’entrepreneur – E/C max = 0,65, min. 260 kg de ciment

Le béton 3 ne nécessite pas la réalisation d'essais supplémentaires.

Les bétons 1 et 2 font l’objet de vérifications préalables, qu'il s'agisse d'une proposition de programme d'essais à soumettre ou d’essais déjà réalisés :

- Résistance à la carbonatation
- Résistance au gel-dégel

Pour la description de la méthode d'essai & des principes de vérification, se référer à la NBN B15-100.

Organisation du contrôle de la qualité par voie de vérification externe

La centrale à béton demandera, pour les types de béton identifiés, un contrôle de lot auprès d'un organisme compétent. Ce contrôle de lot comprend les mêmes contrôles qu’un contrôle BENOR ou analogue, portant spécifiquement sur les compositions de béton prévues.

9.1.2 Description technique de l’option Béton de recyclage KOMET, 2018 (VK Engineering)

ÉLÉMENTS CONSTITUÉS DE BÉTON ARMÉ COULÉ IN SITU

03.03.10 Béton armé coulé in situ présentant des propriétés spécifiées.

Généralités

Les éléments de béton sont conformes aux prescriptions ci-après :

Certification

- Le béton doit bénéficier du marquage BENOR.
 - À défaut de pouvoir bénéficier du marquage BENOR, le béton peut être soumis à un contrôle de lot. Celui-ci doit faire l'objet d'une demande auprès d'une instance compétente et inclut les mêmes contrôles qu'un contrôle BENOR.

10.00 DISPOSITIONS GÉNÉRALES

10.00.01 ÉLABORATION DE VARIANTES/D’OPTIONS/PROPRE PROPOSITION D’ÉCONOMIE

Description

L’équipe de projet a déjà repris quelques options et variantes obligatoires dans cette demande d’offre.

- Variante obligatoire : Un prix détaillé doit être repris dans le dossier.
- Option : un prix détaillé peut être repris dans le dossier.

Logiquement, il est possible voire même recommandé lors de l’introduction de l’offre, de reprendre des propositions d’économie. Ces propositions d’économie ont la même valeur qu’une option. Pour

une proposition d'économie propre, il convient également de présenter les informations supplémentaires nécessaires et une éventuelle note de calcul.

Les variantes et options obligatoires font l'objet d'un métré distinct, qu'il convient de compléter. Dans le métré par élément de construction, il convient de reprendre la somme totale comme prix global.

Pour les variantes obligatoires, le métré distinct a été établi par l'équipe de projet. Concernant les options, il appartient à l'entrepreneur de s'en charger par lui-même.

10.01.10 VARIANTES OBLIGATOIRES

10.01.11 Variante 1 – Béton structural à base de granulats de béton recyclés

Description

L'un des objectifs de XXX consiste à œuvrer à une société plus durable. Dès lors, toute la conception du site XXX a été placée sous le signe de la durabilité. Nous souhaitons appliquer ce fil rouge durable à l'utilisation du béton. C'est pourquoi nous préconisons, pour un certain nombre d'applications, d'utiliser du béton à base de granulats recyclés.

Matériau

À la base, le béton structural correspond au béton appliqué au poste 03.03.12. Dès lors, il convient d'appliquer la description et les exigences qui y sont reprises, sauf si elles ne peuvent être appliquées à du béton structural à base de granulats de béton recyclés.

Concernant les granulats, il y a lieu d'utiliser des granulats de béton de type A+, conformément à la norme NBN B 15-001. L'utilisation de granulats mixtes et/ou de granulats de maçonnerie n'est pas autorisée.

Ces granulats recyclés font l'objet d'un certificat BENOR ou analogue pour les caractéristiques demandées.

Normalisation :

Les normes et documents suivants s'appliquent par ailleurs :

- NBN B 15-001
- NBN B 15-100
- NBN EN 206
- NBN EN 12620
- TRA 550
- prNBN B 15-101
- Monographie du CSTC : Utilisation de granulats de béton recyclés dans le béton

Programme d'essais

À défaut de marquage BENOR pour du béton à base de granulats de béton recyclés, il conviendra de prévoir un programme d'essais distinct sur le béton frais et durci. Pour ce faire, on pourra se baser sur le règlement TRA 550. En fonction de la classe d'environnement visée, ce programme d'essais pourra être assorti d'essais de durabilité supplémentaires.

Ces essais seront suivis par le biais d'un contrôle de lot effectué par un tiers indépendant, par ex. SECO ou BE-Cert.

Application

Applications en concertation avec le maître d'ouvrage, le CSTC et le bureau d'étude.

Son utilisation est préconisée pour les application suivantes :

- Coulage de prédalles (C30/37)
- Coulage de prémurs éventuels, si l'entrepreneur décide d'utiliser des prémurs (C25/30, sauf si C30/37 est requis pour des raisons structurelles)

Cette liste n'est pas limitative et peut être étendue en concertation avec le maître d'ouvrage, le CSTC, le bureau d'étude et l'entrepreneur.

Méthode de mesure

Nature du contrat : Quantité présumée (QP)

Unité de mesure : m³

Compris : outre le prix direct résultant de l'application de granulats recyclés, il convient également d'inclure les éléments suivants :

- Programme d'essais

- la description/les exigences conformes au poste 03.03.12 restent valables, mis à part les exigences non applicables au béton structurel à base de granulats de béton recyclés.

10.01.11A Prix du béton structurel C30/37, EI, 20 % de granulats de béton de type A+ **VH m³**

10.01.11B Prix du béton structurel C25/30, EI, 30% de granulats de béton de type A+ **VH m**