



Image positive de l'avenir grâce aux nouvelles méthodes de recyclage du béton

Des ambitions de réduction des matières premières primaires qui ne promettent qu'avec des innovations

L'économie circulaire du béton offre de nombreuses opportunités.

Bien que le profit soit le plus important de la réutilisation de bâtiments ou de constructions, l'exemple le plus connu reste la réutilisation de gravats de béton sous forme de granulats dans du nouveau béton. Mais ce dernier ne se traduit pas toujours par une réduction des émissions de CO₂. Cependant, de nouvelles méthodes de recyclage peuvent augmenter considérablement la qualité et le pourcentage de remplacement des granulés et créer davantage d'opportunités en matière de réduction de CO₂.

Le programme pangouvernemental The Netherlands Circular in 2050 [1] explique comment nous pouvons transformer l'économie en une économie durable et entièrement circulaire en 2050. Le programme, lancé en 2016, décrit ce qui est nécessaire pour être plus efficace et plus intelligent avec les matières premières, matériaux, produits et services. Un Accord Béton [2] a été élaboré en 2018, un accord de filière nationale pour une croissance durable de la filière béton, qui a été signé par l'Etat et le monde des affaires (clients, entreprises contractantes, bureaux d'études, entreprises de recyclage, fournisseurs de matières premières, fournisseurs de béton). Dans cet accord, des accords ont été conclus sur quel partenaire de la chaîne réalisera quels objectifs et ambitions. Afin de formuler une démarche concrète, des équipes de mise en œuvre ont été constituées au sein de l'Accord Béton sur plusieurs sujets : réduction de CO₂, conception circulaire, réutilisation des flux résiduels de béton, impact sur le capital naturel, MKI, connaissance et innovation, éducation et le partage des connaissances. Ces équipes ont maintenant terminé leur travail et ont été dissoutes.

Réutiliser le béton

Les gravats de béton peuvent être parfaitement réutilisés dans du nouveau béton si certaines conditions sont remplies. important là

Un autre point est que rendre la filière béton plus durable ne doit en aucun cas se faire au détriment de la qualité du béton. Après tout, une durée de vie plus courte rime avec durabilité le béton n'est pas bon non plus. L'objectif est donc la réutilisation la plus élevée possible.

Par conséquent, tout comme le primaire matières premières, des exigences de qualité sont également fixées pour les matières premières recyclées. La mesure dans laquelle les matériaux peuvent être réutilisés est liée à la qualité et à la pureté de la source Matériel. Par exemple, pour tous les flux de granulats recyclés, conformément à la directive d'évaluation BRL 2506, un maximum de 1 % m/m. des matériaux non pierreux (tels que du bois et/ou du plastique) peuvent être présents. Malgré ce pourcentage apparemment faible, il est perçu comme trop et/ou comme un risque pour la pratique dans certaines applications (composants flottants par exemple). Cependant, il existe également des producteurs qui peuvent offrir un pourcentage inférieur réaliser et donc sans aucun doute comparables aux « contaminants » (y compris le bois primitif) qui peuvent également être présents dans les matières premières naturelles.

Par l'équipe de mise en œuvre "Réutilisation" flux résiduels concrets» de l'accord concret est décrit dans le 'Roadmap Reuse Concrete Residual Streams' [3] comment gérer la réutilisation des

Grâce aux nouvelles techniques de recyclage, de nouvelles voies sont devenues disponibles pour étudier comment un "ancien" liant peut avoir une seconde vie en tant que (nouveau) liant

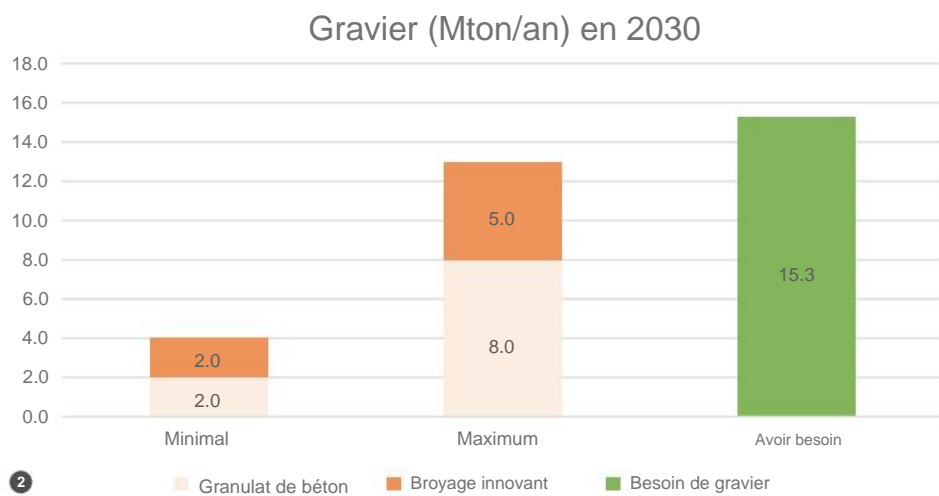


Tableau 1 Quantité disponible de gravats de béton 2018-2030 [3]

	2018	2020	2025	2030
gravats rejetés aux Pays-Bas (total) [Mton]	19	20	22	25
gravats de béton [Mton]	11.4	12	13.2	15

Tableau 2 Pourcentage d'ambition de la fraction disponible de l'approvisionnement en débits résiduels de béton au cours de laquelle l'année est utilisée dans le béton neuf [2]

pourcentage d'approvisionnement recyclé	2020	2025	2030
gravier	50%	75%	100%)
sable	dix%	50%	100%
liant/charge	1%	25%	100%

1) 100 % correspond au remplacement d'environ 15 à 20 % de matières premières primaires



matières premières. Par exemple, il est indiqué qu'en 2030, les fournisseurs fourniront une qualité de granulats de béton permettant une réutilisation à 100% dans du nouveau béton, sur la base du chemin de croissance indiqué dans le tableau 2 (voir également l'encadré "Réservoirs en béton dans l'accord béton"). Dans la même « feuille de route pour la réutilisation des flux résiduels de béton », il est également explicitement indiqué qu'une plus grande attention doit être accordée à l'utilisation de la fraction fine des granulats de béton, sinon les objectifs de réutilisation ne peuvent pas être atteints.

Cet article approfondit le thème de la réutilisation, et en particulier la réutilisation (de haute qualité) du béton libéré (gravats) pour une utilisation dans de nouveaux bétons.

Méthodes de recyclage modernes

La réutilisation du béton est soumise à certaines limites. Cela s'explique en partie par le fait que l'application peut influencer les propriétés mécaniques et physiques ainsi que la durée de vie prévue. Les limites dépendent de la qualité du grain

2 Comparaison de l'offre et de la demande de granulats grossiers [3]

3 Le concassage traditionnel du béton produit deux coulées partielles ; à appeler granulats de béton grossier (a) et (b) la fraction de granulats de béton fin

FLUX DE BÉTON À L'INTÉRIEUR

ACCORD CONCRET

Les ambitions suivantes ont été formulées dans l'Accord Béton concernant la réutilisation du béton

flux résiduels:

• 100% de toutes les pailles résiduelles de béton

en 2030, le niveau de qualité sera qu'il peut

être utilisé dans le béton neuf, avec une

transparence sur l'origine et la composition

des flux résiduels, et le raccordement à

marques de qualité reconnues et trans

méthodes de mesure transparentes.

• 100% de toutes les pailles résiduelles de béton

il sera appliqué en 2030 de telle sorte qu'il

puisse être utilisé de manière permanente

dans le nouveau béton, c'est-à-dire qu'aucune

pollution ou similaire ne se produise lors de

l'application, ce qui entrave la réutilisation future.

des stands.

• 100% de reprise par la filière béton de

tous les flux résiduels de béton relâchés

par

2030.

laisser. Par exemple, le facteur déterminant est la quantité de pierre de ciment qui adhère aux grains.

Cette pierre de ciment garantit que le granulats est plus poreux que le granulats primaire. De plus, cela conduit à une densité plus faible. De nouvelles méthodes de recyclage du béton (techniques de séparation) sont actuellement disponibles, qui se concentrent sur la récupération la plus propre possible des matières premières de base d'origine du béton : sable, gravier et liant, dans le but de pouvoir utiliser ces matériaux, recyclés ou non, aussi haute qualité que possible dans l'industrie de la construction (plus d'informations sur ces méthodes ci-dessous).

D'une part, ces méthodes ont le potentiel de séparer les matériaux de telle sorte qu'une réutilisation (complète) de haute qualité (pourcentages de remplacement plus importants) dans le béton (mélanges) est possible, tout en préservant la qualité. D'autre part, de nouvelles voies sont également devenues disponibles pour étudier comment donner une seconde vie à un "ancien" liant, en tant que (nouveau) liant (partiellement retraité ou non) dans de nouveaux mélanges de béton (voir aussi *Betoniiek Vakblad*).

2020/3 'Récupération du ciment du béton' [4]). Par exemple, une recherche doctorale en cours est en cours à la Faculté de Génie Civil (département 3MD, section M&E, groupe de recherche Durabilité), qui porte notamment sur cette fraction très fine récupérée dans le but de restituer une

fabriquer un liant. Mais aussi d'autres

des questions de recherche qui n'ont pas été posées auparavant deviennent pertinentes dans le cadre de la détermination de la qualité (liant utilisé/charges/additifs) en amont de la construction, afin d'arriver à une détermination efficace de la valeur du matériau recyclé (voir *Ciment* 2021/8 « Démolition sélective des structures en béton » [5]).

Par exemple, les techniques de déplacement du vent peuvent être utilisées pour séparer le ciment hydraté du ciment non hydraté. C'est précisément la réutilisation du ciment/liant qui peut conduire à une réduction importante du CO₂, car cela peut limiter l'utilisation du ciment primaire. Les voies de mise en œuvre pour appliquer le (l'ancien) liant récupéré (aussi de haute qualité) que possible sont:

1 Comme charge inerte (ajout de type I) directement dans le béton neuf ;

2 Comme filler réactif (ajout de type II) directement dans le béton, où il peut être utilisé en remplacement du ciment primaire ;

3 En tant que matière première pour la production de clinker, nécessitant moins de calcaire primaire, ce qui entraîne une réduction du CO₂ initial réduction;

4 En tant que matière première pour les ciments composites (par exemple en remplacement des cendres volantes/trass etc.) ;

5 En combinaison avec un activateur (alcalin) comme type de géopolymère.

Nouvelle réglementation

Les technologies de séparation innovantes ont ouvert une voie prometteuse pour participer à la fermeture (de haute qualité) des cycles dans le secteur du béton.

Cependant, l'absence de réglementation pour l'application (générale) de ces matériaux de séparation modernes est actuellement (encore) un obstacle. Le thème est à l'ordre du jour dans différents forums, comme dans les équipes de mise en œuvre « Savoir et innovation » et « Réutiliser les flux résiduels de béton ».

En novembre 2021, il y aura un nouveau CROW

Recommandation CUR publiée pour l'utilisation

de granulats de recyclage des fractions fines et

grossières obtenus à partir (principalement) de

technologies de séparation (Recommandation

CROW-CUR 127 Béton avec des granulats de

béton comme granulats fins et/ou grossiers [6],

voir l'article 'Des pourcentages de réutilisation plus

élevés grâce à des méthodes de recyclage

innovantes' ailleurs dans ce numéro). Le pourcentage

de remplacement qui y est autorisé est directement

lié à l'absorption d'eau et donc à la qualité du granulats

de béton fin et grossier. Il s'agit d'une nouvelle

approche par rapport aux règles des Recommandations

CUR 106 [7] et 112 [8] (Tableau 3).

A l'heure actuelle, il n'y a toujours pas de piste concrète de développement futur pour la réutilisation du liant récupéré (par exemple au niveau d'une recommandation), bien qu'il existe des développements européens (CEN-TC51) où des travaux sont en cours sur la possibilité d'ajouter 20% de recyclat de pierre de ciment comme matière première (constituant principal)



DR.IR. MARC OTTELE

Professeur / Chercheur

TU Delft, Faculté de Travaux publics & géosciences, Département 3MD, matériaux &

Section Environnement, Recherche sur la durabilité grouper

Tableau 3 Pourcentage maximal de réutilisation; relativement lors de l'application des recommandations CUR existantes [7,8] et des Recommandation CROW-CUR 127:2021 [6] pour les granulats recyclés modernes, exprimés par m³ de béton (uniquement granulats fins (sable) et grossiers (gravier))

	réduction des matières premières		ambition 2030 (50% circulaire)	ambition 2050 (100% circulaire)
CUR 106 options granulés fins recyclés	maximum 50% d'amende	max 50% fin + max 20% grossier	pas réalisable	pas réalisable
taux de réutilisation (par m³)	environ 17%	environ 26 %		
Options CUR 112 pourcentage de	30% grossier	max.100% grossier	pas réalisable	
réutilisation des granulats de béton grossiers (par m³)	environ 13%	environ 43%		
CROW-CUR 127 Béton avec granulats de béton sous forme de granulats fin et/ou grossier	max 60% fin + max 100% grossier		réalisable	
taux de réutilisation (par m³)	environ 64%			
futurs développements nécessaires				
potentiel de développement réutilisation et/ou activation (réactive) filler	contribution au pourcentage de réutilisation possible existant (par m³) environ 15%		réalisable	prometteur
taux de réutilisation (par m³)	environ 79% à 100%			
développement ultérieur de granulés fins recyclés obtenus à partir de technologies de séparation modernes (remplacement de max. 60% à 100%)	contribution au pourcentage de réutilisation possible existant (par m³) environ 15%		réalisable	prometteur
taux de réutilisation (par m³)	environ 79% à 100%			

APPLICATION BÉTON ET GRANULÉS

Il est prévu que d'ici 2030, la consommation totale de béton par an passera à environ 15 millions de m³ de béton. Cela nécessite environ 27,8 millions de tonnes de granulats (75 % en volume), dont 12,5 millions de tonnes de sable (45 %) et 15,3 millions de tonnes de gravier (55 %). De plus, la production de béton nécessite environ 4,8 millions de tonnes de ciment [3].

Dans le cas le plus favorable, on peut supposer qu'en 2030, environ 15 millions de tonnes de gravats de béton seront disponibles pour être utilisés dans le nouveau béton (tableau 1). La distribution de masse sur la fraction grossière (4-32 mm) et la fraction fine (0-4 mm) obtenues de granulats est approximativement égale (50/50).

À l'heure actuelle, la réutilisation des gravats de béton traités (propres) comme agrégat pour le béton, même aux Pays-Bas progressistes, est encore limitée. Ceci malgré le fait qu'il fait l'objet d'études depuis les années 1980. Le béton recyclé est en grande partie (fraction fine et grossière ensemble), mélangé à moins de 50% de matériaux étrangers (pierres tels que les briques silico-calcaires, la maçonnerie et la céramique), utilisé comme matériau de fondation pour les routes.

Si les gravats de béton sont réutilisés dans le béton, cela concerne principalement la fraction grossière (composée d'au moins 90 % de béton), pour le remplacement partiel des granulats primaires (gravillons notamment). La fraction fine (également appelée sable de concassage) ne peut pas être entièrement utilisée dans le béton car la structure et la composition des grains ne répondent souvent pas aux exigences fixées dans les normes sur les granulats. Concrètement, cela signifie que lorsque la fraction fine et grossière broyée est séparée, il reste un surplus de granulats fins recyclés (sable de broyage) pour lesquels aucune application utile (pas même pour le matériau de fondation) ne peut être trouvée.

Tout cela conduit à un décalage entre l'approvisionnement en additifs secondaires et le besoin (fig. 2), mais aussi qu'une partie non réutilisable subsiste dans le cas du recyclage traditionnel, rendant inatteignable la circularité ultime visée.

ajouter à la production de ciment. Bien sûr, ce développement doit être mis en perspective avec d'autres options de durabilité (perspectives d'action) comme indiqué dans l'Accord concret, mais il montre clairement que le domaine est actuellement en développement, avec une variété d'options de durabilité associées à de nouveaux aspects, à la fois scientifiques et les développements scientifiques comme questions pratiques.

Méthodes de recyclage

Comme indiqué précédemment, des méthodes innovantes de recyclage mécanique sont actuellement en cours de développement et/ou font le pas vers une mise en œuvre plus poussée sur le marché. Les quatre techniques principales sont :
 → Libérateur intelligent
 → C2CA
 → Circulaire Minéral
 → mangeur

Les trois premières méthodes disposent déjà d'installations capables de produire à une échelle pratique. La technique Mangeler est dans une phase de mise à l'échelle, mais on s'attend à ce qu'elle passe bientôt à l'échelle pratique faire. Ces quatre techniques sont décrites ci-dessous expliqué plus en détail.

Smart Liberator The aux Pays-Bas entre-temps la technologie la plus développée est le Smart Libera



tor, au sein de la société néerlandaise Smart Circular Products/Urban Mine (*Betoniek Vakblad* 2020/1 'An overview of Innovative cycling methods' [9]). Avec cette technique de séparation, à partir de laquelle cinq flux de produits sont générés, la pierre de ciment collée peut être retirée du sable et du gravier d'origine par des forces de cisaillement. La pierre de ciment en poudre est libérée en tant que flux de production séparé et peut, par exemple, être utilisée directement dans le béton comme charge.

Les flux partiels de haute qualité sont disponible sous les noms de produits:

- Freegravel - Fraction de gravier (> 4 mm)
- Sable libre – Fraction de sable (0,25 mm/4 mm)
- Freefiller C – Fraction fine (0,08/0,25 mm), convient comme charge
- Freement – Fraction réactive superfine (0,04/0,08 mm), adaptée comme ciment/liant ressource
- Freefiller F – Fraction ultrafine (0/0,04 mm), convient comme liant/activateur

C2CA La méthode C2CA (Concrete to Cement & Aggregates) est née d'une scission entre une joint-venture entre GBN Groep (qui fait partie de Strukton) et TU Delft. Grâce au système ADR (Advanced Dry Recovery), les gravats de béton collectés sont séparés à sec et traités directement depuis le concasseur. Sur la base d'un poids et de dimensions spécifiques, les gravats de béton sont soigneusement et automatiquement séparés au cours du processus en au moins trois flux de produits portant le nom suivant:

- Circugrind – Fraction grossière (> 4 mm)
- Circu sand – Fraction fine (< 4 mm)
- Circument – Fraction ultrafine (< 0,2 mm), convient comme ciment/liant

Circular Minerals Circular Minerals (CM) est une initiative de six entreprises néerlandaises de démolition et de recyclage. Dans le soi-disant concasseur CM, le granulats de béton est transformé en poudre de sable, de gravier et de pierre à ciment. →

C'est précisément la réutilisation du ciment qui peut conduire à une forte réduction de CO2, car cela peut limiter l'utilisation du ciment primaire

Seul la recherche de la circularité sans prise en compte de la durabilité au sens large peut contredire l'objectif de réduction de l'impact environnemental final



Le sable et le gravier ont une surface propre à 80 %. On estime que cela permettra des pourcentages de remplacement plus élevés que sur la base de matériaux traditionnels, mais inférieurs aux deux méthodes mentionnées ci-dessus. La poudre de pierre de ciment peut également être utilisée ici comme charge.

Mangler Une quatrième méthode, qui devrait devenir opérationnelle à une échelle pratique à court terme, est la méthode Mangeler. Cela a été développé par le Twee

Groupe de recyclage "R". En plus du gravier et du sable, cette méthode permet également d'extraire un liant des gravats de béton concassés. Le procédé utilise, entre autres, un shifter CEM (principe cyclone) développé à cet effet, qui permet d'extraire le très précieux

pour séparer les particules fines du sable et du gravier.

Cette dernière étape de cette méthode garantit qu'au moins trois pailles partielles sont un surgit.

Permettre un béton circulaire responsable

Afin d'évaluer l'applicabilité de l'agrégat recyclé et du liant dans une nouvelle construction en béton ou un nouveau produit en béton, il est nécessaire d'enregistrer les propriétés et les influences des matériaux sans ambiguïté et de manière vérifiable avant l'application, comme nous en avons l'habitude lors de l'utilisation de matières premières primaires. Cette idée est conforme aux objectifs de l'accord concret, qui stipulent que «*les matériaux ou produits recyclés sont*



doivent répondre aux mêmes exigences de qualité que les matières premières et les produits ». En réalité cela peut-il se traduire par tout concret

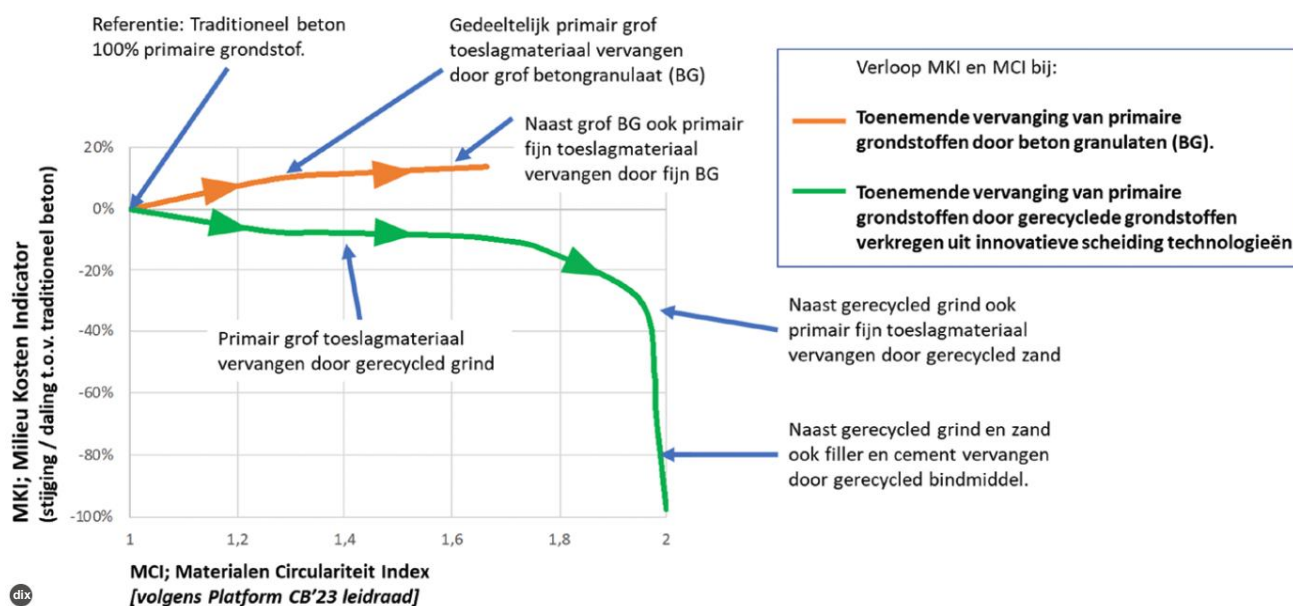
la construction démolie et réutilisée forme un nouveau site d'extraction (Mine Urbaine), pour lequel les propriétés des matériaux à extraire doivent être déterminées, en fonction des matières premières (voir *Betoniek Vakblad* 2020/2, « Béton circulaire responsable » [10]). Un protocole de récolte, ou une méthode de détermination des propriétés et de la qualité, pourrait être d'une grande importance à cet égard, notamment pour déterminer à l'avance la qualité disponible (voir *Ciment* 2021/8 «*ŸDémolition sélective des structures en bétonŸ*» [5]).

Dans *Betoniek Vakblad* 2020/3 «*Granulat de recyclage : une matière première fiable* » [11], il est indiqué, entre autres, que la qualité

La qualité et les exigences des granulés de recyclage destinés à être utilisés dans le béton sont suffisamment garanties dans la directive d'évaluation BRL 2506-1 Granulats de recyclage. Dans ce BRL, cependant, un régime d'inspection est appliqué par lot d'au moins 500 tonnes de gravats de béton, sans tenir compte de la détermination sans ambiguïté des matières premières de base ou de la valeur de réutilisation des gravats.

L'avantage est qu'il est pratique et répond au besoin qui correspondait à la philosophie développée par le passé pour le recyclage des déchets de construction et de démolition. Un inconvénient majeur, cependant, est que ce lot de gravats de béton peut être constitué de différents flux (partiels), donc avec différentes qualités, contaminations et/ou construits à partir de différentes matières premières (pensez

→



SOURCES CONSULTÉES

- 1 Programme pangouvernemental pour la circulaire néerlandaise en 2050.
- 2 Accord concret pour une croissance durable, juillet 2018.
- 3 Feuille de route Réutilisation des flux résiduels de béton, 2020.
- 4 Verweij, M., Récupération de ciment à partir de béton. *Betoniek Magazine* 2020/3.
- 5 Nedeljkovic, M., Schlangen, E., Fennis, S., Démolition sélective de structures en béton. *Ciment* 2021/8.
- 6 Recommandation CROW-CUR 127:2021 Béton avec granulats de béton sous forme de granulats fin et/ou grossier.
- 7 Recommandation CUR 106:2014 Béton avec des fractions fines de granulats recyclés comme granulats fin.
- 8 Recommandation CUR 112:2014 Béton avec granulats de béton comme gros granulats.
- 9 Wegen, G.van der, Un aperçu des méthodes de recyclage innovantes. *Betoniek Magazine* 2020/1.
- 10 Wolf, M. van der, Béton circulaire responsable. *Betoniek Magazine* 2020/2.
- 11 Broere, P., Verweij, M., Kloetstra, S., Granulats de recyclage : une matière première fiable. *Betoniek Magazine* 2020/3.
- 12 Granulats de béton en béton de qualité, *Betoniek Standaard* 17/09.
- 13 www.ruinrecycling.nl.
- 14 <https://www.c2ca-technology.nl>.
- 15 <https://freement.nl/smart-liberator/>.
- 16 https://www.rijksverheid.nl/thematiques/économie_circulaire/documents/rapports/2016/09/14/annexe-1-la-circulaire-néerlandaise-en-2050.

gravier de rivière, granit ou calcaire, mais aussi en termes de liants tels que ciment de terre portuaire et/ou ciment de haut fourneau). Cela complique sa réutilisation de haute qualité par rapport aux propriétés de performance.

En résumé, l'essentiel est qu'une réutilisation de haute qualité - avec des propriétés équivalentes à celles que l'on peut supposer pour les matières premières primaires - tient ou tombe avec une bonne détermination des propriétés, une séparation à la source et leur inspection au début du processus. Une conséquence logique de cela est qu'à long terme, la normalisation et la certification actuelles devront être révisées pour répondre à cette nouvelle qualité répondre à la demande.

Qu'est-ce que ça apporte ?

L'utilisation de granulats de béton traditionnels, à la fois grossiers et fins, est une méthode éprouvée pour remplacer (partiellement) les matières premières primaires par des flux secondaires. Cependant, la préservation des performances (qualité/durée de vie technique) est un point d'attention critique à cet égard et, de plus, la réduction des coûts environnementaux (ECO) est (très) limitée.

Des taux de remplacement élevés peuvent conduire à l'effet inverse : la sortie de CO₂ impact et donc la valeur MKI sera même augmenter en raison du besoin de plus de ciment. Et il faut en tenir compte

adaptation des règles de calcul constructives. Ne s'efforçant que de circularité sans re

la prise en compte des effets sur le MKI et des performances requises au sens large peut donc entrer en conflit avec l'objectif de réduction de l'impact environnemental final.

Dans le cas de flux de matériaux issus de modes de recyclage innovants, il apparaît que des pourcentages de remplacement plus élevés (60% fin et 100% grossier) sont déjà possibles, sans ajustement des règles de calcul de construction et sans besoin de (supplément) ciment pour maintenir les mêmes performances propriétés. La valeur MKI peut donc chuter fortement, avec l'avantage supplémentaire qu'avec les développements futurs (le traitement ultérieur du liant récupéré), celle-ci augmentera encore et pourra potentiellement conduire à un mélange de béton entièrement circulaire (voir fig. 10).

Du point de vue de 100 % des fractions disponibles de l'approvisionnement en béton Transformer les flux résiduels en béton neuf d'ici 2030, seules des filières de recyclage innovantes permettent de contribuer à donner corps à celle-ci.