



Projet ValoSaGE

Valorisation des sables recyclés et artificiels en géotechnique routière

Impliqué dans la transition vers une économie circulaire et l'utilisation de produits recyclés dans la construction de routes, le Centre de recherches routières mène actuellement différentes études sur la réutilisation des sables recyclés et artificiels pour les applications routières (Boonen & al., 2024). Ces études s'inscrivent dans le cadre de la transition globale vers une économie circulaire, qui constitue une priorité tant au niveau belge (Services Publics Fédéraux belges, 2025) qu'au niveau européen (European Commission [EC], s.d.). En outre, le sable de construction naturel et de haute qualité est considéré comme un matériau de construction rare par les Nations unies dans leur rapport de 2022 (Peduzzi et al., 2022). L'Union européenne déclare également dans ses ambitions pour 2030 viser l'autosuffisance en matériaux de construction (Jiménez Beltrán & Requejo-Liberal, 2018).

Dans ce contexte et en complément aux projets RESANDAS (Vansteenkiste & De Bock, 2024), Recysand et SARE4BE (Boonen & al., 2024), le CRR a mené le projet ValoSaGe relatif à la 'Valorisation des sables recyclés et artificiels en géotechnique routière'. L'objectif principal de ce projet est de vérifier la faisabilité technique de la substitution partielle du sable naturel par des sables recyclés ou artificiels pour certaines applications géotechniques routières (fondations et drainage) en respectant des critères techniques, économiques et environnementaux. Cet article présente les résultats principaux du projet. L'analyse de cycle de vie, réalisée par ULiège, fera l'objet d'une publication ultérieure.

Flux disponibles et prescriptions

Au cours du projet, nous nous sommes intéressés en particulier aux sables recyclés (autres que les sables de béton), sables de mâchefers, sables physico-chimiques, sable de verre et aux sables de scories inox.

En Flandre et en 2023, les quantités de sables certifiés par COPRO (<https://www.copro.eu/fr>) sont de :

- 225 000 t de sables physico-chimiques (Desmet, 2025)
- 165 000 t de sables de concassage
- 2 600 000 t de sables de criblage (Van Schelvegem, 2025)

Les sables recyclés et les sables physico-chimiques sont aussi certifiés par CERTIPRO mais les chiffres liés aux quantités ne sont pas communiqués.

En ce qui concerne les mâchefers et en 2022, environ 150 000 t/an sont produits et traités en Flandre et ensuite valorisés sous forme de granulats ou sable, principalement en Wallonie (www.emis.vito.be (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek [VITO], 2020)). Environ 200 à 250 000 t/an mâchefers sont produits en Wallonie. Ils sont traités partiellement en Wallonie et en Flandre pour être valorisés en remblai, fond de coffre et sous-fondation.

En ce qui concerne les scories inox, le stock actuel est de 400 000 t. Les quantités produites annuellement sont de 100 000 t.

Les quantités des sables étudiés à l'échelle des producteurs restent limitées, à l'exception des sables de scories : 5 000 à 15 000 t/an pour chacun des sables recyclés, 3 000 à 30 000 t/an pour les sables de mâchefers, 20 à 35 000 t/an pour les sables physico-chimiques et 10 000 t/an pour le sable de verre.

Le Tableau 1 reprend les sables qui sont admis par les différents cahiers des charges types belges pour les applications routières considérées (Bruxelles Mobilité, 2016; Service Public de Wallonie [SPW], Qualité & Construction, 2021; Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2021). Les différences principales entre les CCT concernent notamment l'acceptation des sables de criblage pour l'application sable-ciment (pas acceptés dans le CCT Qualiroutes), l'acceptation des sables de concassage pour l'application béton maigre (pas acceptés dans le CCT Qualiroutes), l'acceptation des sables de mâchefers (non repris dans le SB 250) ou des sables physico-chimiques (non repris dans le CCT Qualiroutes).

Pour être utilisés dans une application spécifique, les sables doivent aussi répondre aux exigences émises par les cahiers des charges types (voir ci-après).

Tableau 1 – Acceptation des CCT pour les applications sélectionnées
(Info de SPW, Qualité & Construction, 2021; Vlaamse Overheid, AWW, 2021; Bruxelles Mobilité, 2016)

	Sable-ciment	Béton maigre	Drainage	Empierrement (agrégation)	Sous-fondations	Remblayage de tranchées
A : Brekerzand /Sables de concassage	■	■	■	■	■	■
B : Sables de mâcheters traités	■	■	■	■	■	■
C : Zand van fysico-chemisch gewassen granulaat	■	■	■	Type A	■	■
D : Brekerzand van roestvaststaalslakken /Sables de scories d'acier inox traitées	■	■	■	Type A	■	■
E : Brekerzand van non-ferroslak	■	■	■	■	■	■
F : Gegraneleerde non-ferroslak	■	■	■	■	■	■
G : Gegraneleerde hoogovenslak/laitiers granules	■	■	■	■	■	■
H : Zeefzand: brekerzeefzand	■	■	■	■	■	■
I : Korrelas	■	■	■	■	■	■
J : Sable de verre	■	■	■	■	■	■
K : Mâchefers de centrales électriques à charbon	■	■	■	■	■	■
L : Sables de scories BOF et EAF	■	■	■	■	■	■

- CCT Qualiroutes
- SB 250 V4.1
- CCT 2015

Sables étudiés et caractérisation

14 sables d'origines diverses ont été sélectionnés et caractérisés.
Il s'agit de :

- quatre **sables recyclés mixtes** : un sable de criblage non lavé (grave), un sable de concassage lavé, un sable de concassage non lavé et un sable de criblage lavé,
- quatre **sables de mâchefers** issus de traitements différents,
- trois **sables physico-chimiques**,
- deux **sables de scories inox**,
- un **sable de verre**, issu des résidus de tris optiques et ne pouvant être recyclé dans l'industrie du verre, a également été caractérisé.

Les résultats de deux sables recyclés mixtes lavés (0/2 M lavé et 0/4 M lavé (1)) caractérisés dans le cadre du projet SARE4BE sont repris sur certaines figures.

La Figure 1 reprend les sables étudiés dans le cadre du projet.

Figure 1 – Sables sélectionnés

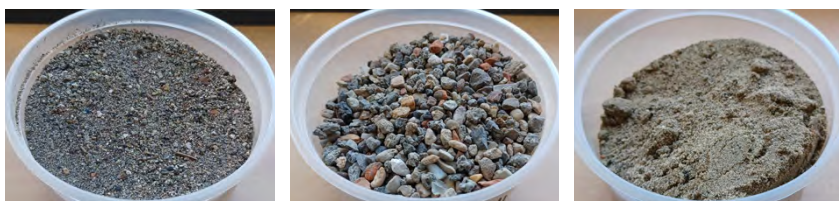
Sables recyclés



Sables de mâchefers



Sables physico-chimiques



Sable de verre



Sables de scories inox



Les sables ont été caractérisés à l'aide des essais suivants :

- Analyse granulométrique (NBN EN 933-1) ; après lavage du matériau pour déterminer la teneur en fines, le matériau est séché et tamisé à sec (Bureau de Normalisation [NBN], 2012)
- Masse volumique (absolue, réelle et saturée) et coefficient d'absorption d'eau (NBN EN 1097-6) (NBN, 2022b)
- Teneur en sulfates solubles dans l'eau (NBN EN 1744-1§10) (NBN, 2013)
- Teneur en sulfates solubles dans l'acide (NBN EN 1744-1§12) (NBN, 2013)
- Teneur en chlorures solubles dans l'eau (NBN EN 1744-1§7) (NBN, 2013)
- Valeur au bleu de méthylène (NBN EN 933-9) ; le MBF n'a pas été mesuré (NBN, 2022a)
- Teneur en matières organiques, par la méthode à l'eau oxygénée (NBN B11 256) (NBN, 2016)

Les courbes granulométriques sont reprises sur la Figure 2 et les teneurs en fines (éléments de taille inférieure à 63 microns) sont reprises sur la Figure 3.

Vu leurs calibres respectifs (d et D), le sable de verre, le sable recyclé 0/8 et le sable physico-chimique 2/8 ne sont pas des sables au sens strict de la définition de la norme NBN EN 13242 (NBN, 2008). Il est à noter que les deux sables physico-chimiques 0/2 sont relativement fins. Le sable de verre ne contient à l'inverse pas de fraction fine.

La teneur en fines est très variable selon le sable considéré. Les exigences des CCT sont liées aux applications considérées : max. 22 ou 16 % pour l'application sable-ciment, max. 10 % pour l'application béton maigre et max. 7 % voire max. 3 % pour l'application sable de drainage (Bruxelles Mobilité, 2016; SPW, Qualité & Construction, 2021 ; Vlaamse Overheid, AWV, 2021).

Le sable recyclé 0/8, recyclé M et le sable de scories 0/6 contiennent plus de 20 % de fines. Cette teneur est trop élevée pour les différentes applications envisagées. Le sable recyclé M 0/4 L contient 10 % de fines.

Plusieurs sables (le 0/2 M lavé, le 0/4 M lavé (1), le recyclé M 0/4 L (2), les sables physico-chimiques, le sable de verre et le sable de scories 0/2) contiennent moins de 7 % de fines. Les sables de mâchefers ont une quantité de fines comprise entre 8 et 13 %. Deux d'entre-eux contiennent moins de 10 % de fines.

Le SB 250 (Vlaamse Overheid, AWV, 2021) émet des exigences spécifiques sur la granulométrie pour les applications béton maigre et sable de drainage (pourcentage de passant à 125 microns recalculé sur la fraction 63 microns - 2 mm). Le 0/2 M lavé et les sables physico-chimiques ne satisfont pas l'exigence pour le béton maigre. Le sable recyclé M 0/4 L (2), le sable recyclé 0/2 M lavé et les sables physico-chimiques ne satisfont pas l'exigence pour le sable de drainage.

Plusieurs sables ne satisfont pas le critère module de finesse émis par le CCT Qualiroutes (SPW, Qualité & Construction, 2021) pour l'application sable de drainage (module finesse: 4 à 2,4): le sable recyclé M 0/4 L, le 0/2 M lavé, le sable de mâchefers 1, les sables physico-chimiques, le sable de verre et le sable de scories 0/2. Il est à noter que le sable physico-chimique 2/8 et le sable de verre ont un module de finesse supérieur à 4, ce qui ne devrait pas impacter négativement la perméabilité.

Figure 2 - Analyse granulométrique

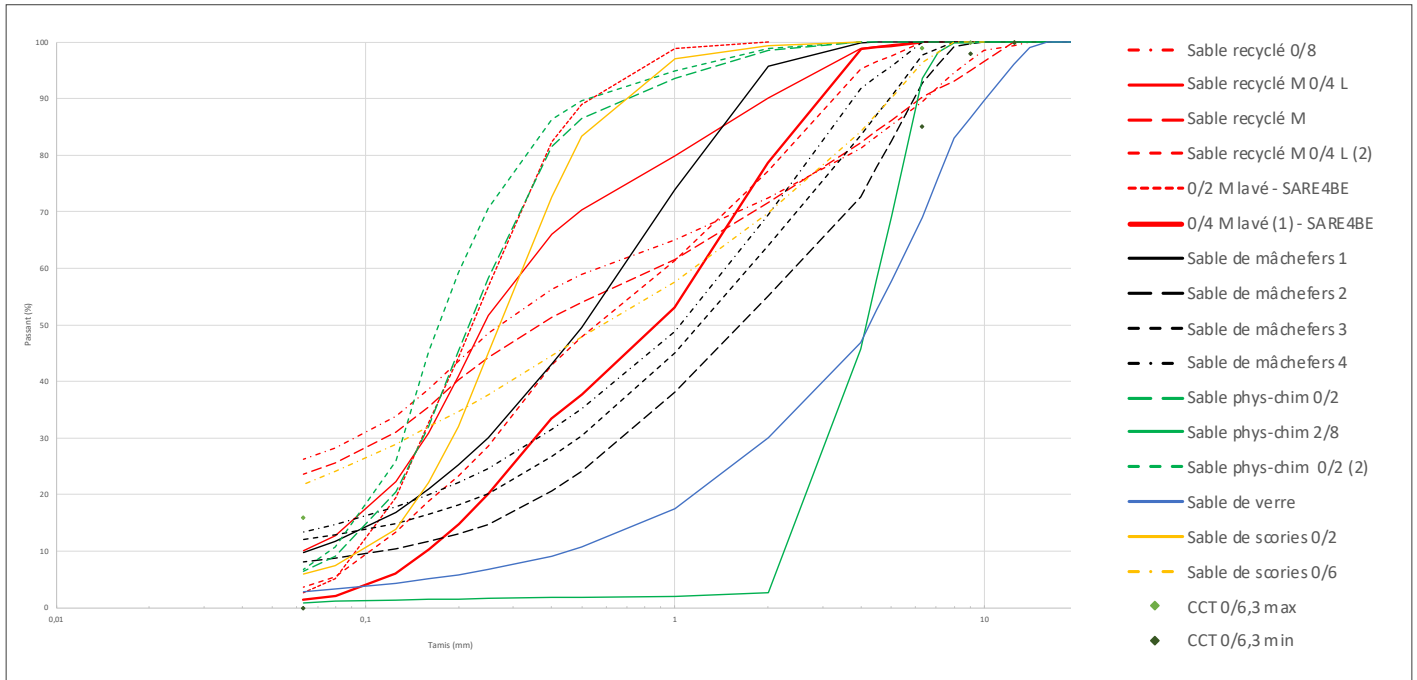
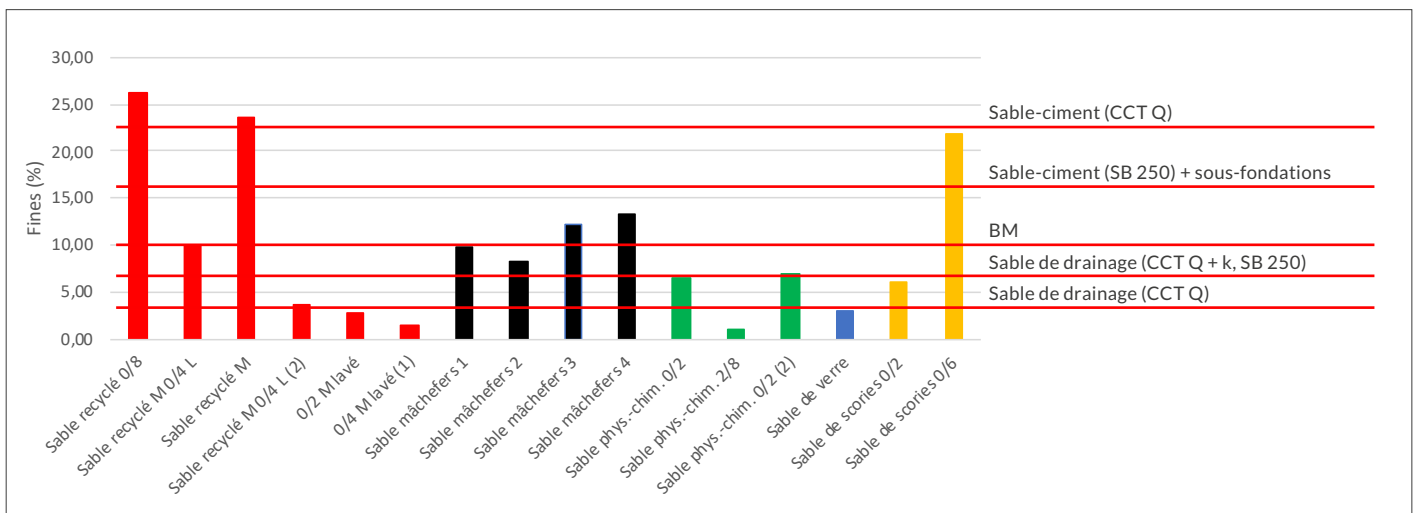


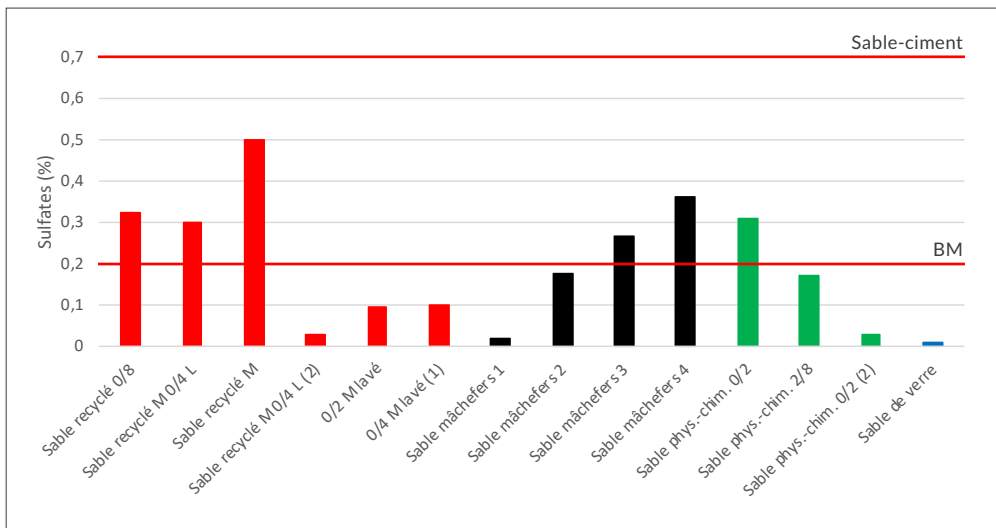
Figure 3 - Teneur en fines



Les valeurs au bleu de méthylène mesurées sont inférieures aux exigences du CCT Qualiroutes, à l'exception des deux sables recyclés non lavés (4,6 g MB/kg sol). Le MBF (paramètre du SB 250 pour la qualité des fines) n'a pas été mesuré. Les teneurs en matières organiques mesurées sont inférieures à 1 % (critère pour les applications sable-ciment et béton maigre dans le SB 250) à l'exception du sable de verre (MO = 1,29 %).

La teneur en sulfates solubles dans l'eau, critère du CCT Qualiroutes (SPW, Qualité & Construction, 2021) pour les sables **artificiels et recyclés**, a été mesurée pour tous les sables. Tous les sables testés satisfont l'exigence du CCT Qualiroutes pour l'application sable-ciment (0,7 %). Par contre, plusieurs sables ne satisfont pas l'exigence de 0,2 % pour l'application béton maigre (recyclé 0/8, recyclé M 0/4 L, recyclé M, les sables de mâchefers 3 et 4 et le sable physico-chimique 0/2).

Figure 4 – Teneur en sulfates solubles dans l'eau



La teneur des sulfates solubles dans l'acide (prescrit par le CCT Qualiroutes (SPW, Qualité & Construction, 2021) pour l'application béton maigre pour les sables artificiels et recyclés) a été mesurée sur quelques sables (principalement ceux pour lesquels la teneur en sulfates solubles dans l'eau était élevée et pour lesquels les autres critères étaient satisfaits). Il s'agit des sables de mâchefers 2, 3, 4 et le sable physico-chimique 0/2 et 2/8. A l'exception du sable 2/8, le critère de 0,8 % est dépassé pour les quatre autres sables. Les teneurs en soufre total n'ont pas été mesurées.

La teneur en chlorures (exigence pour les sables d'origine marine pour l'application sable-ciment dans le CCT Qualiroutes et pour l'application béton maigre dans les deux CCT) a été mesurée sur les sables de mâchefers, les sables recyclés à l'exception du M 0/4 L (2) et le sable de verre. Vu le délai serré, ce paramètre n'a pas été mesuré sur le sable recyclé M 0/4 L (2), les sables physico-chimiques et les sables de scories. Les teneurs mesurées sur les mâchefers dépassent la valeur seuil de 0,1 %. Les valeurs transmises par le producteur pour les sables de scories respectent les critères des CCT.

Les absorptions d'eau sont élevées pour les sables de mâchefers, le sable physico-chimique 2/8 et le sable de scories 0/6. En particulier, les sables de mâchefers 2 et 3 et le sable de scories 0/6 montrent des valeurs supérieures à 10 %. La valeur du sable de mâchefers 1 n'est sans doute pas fiable (débordement du pycnomètre lors de l'essai).

L'absorption d'eau du sable de verre n'a pas pu être déterminée car l'essai n'est pas adapté à ce matériau sans cohésion.

Les résultats des essais ont été comparés aux exigences du CCT Qualiroutes (SPW, Qualité & Construction, 2021) et du SB 250 (Vlaamse Overheid, AWV, 2021) pour les différentes applications considérées (Tableau 2). Les couleurs définissent si les exigences sont satisfaites (vert) ou pas (rouge). Les cases en jaune signifient que les spécifications sont respectées, à l'exception de la granulométrie (par ex. calibre maximum).

Le Tableau 2 indique si le type de sable est accepté ou pas par les CCT pour les applications mentionnées.

Tableau 2 – Acceptation des sables étudiés basée sur les critères des CCT pour les applications géotechniques envisagées (selon SPW, Qualité & Construction, 2021; Vlaamse Overheid, AWV, 2021)

	Sable-ciment		Béton maigre		Sable drainage		Sous-fondations	
	CCT Q	SB 250	CCT Q	SB 250	CCT Q	SB 250	CCT Q	SB 250
Sable de concassage	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	OK
Recyclé M 0/4 L								
Recyclé M								
Sable de criblage	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
Recyclé 0/8								
0/2 M lavé								
0/4 M lavé (1)								
Recyclé M 0/4 L (2)								
Mâchefers	OK	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
Mâchefers 1								
Mâchefers 2								
Mâchefers 3								
Mâchefers 4								
Sable phys.-chim	NOK	OK	NOK	OK	NOK	NOK	NOK	OK
Phys.-chim 0/2								
Phys.-chim 2/8								
Phys.-chim 0/2 (2)								
Sable de verre	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
Sable de verre								
Scories inox	OK	OK	OK	OK	NOK	NOK	NOK	NOK
Scories 0/2								
Scories 0/6								

Il est à noter que certains sables (par exemple les sables de criblage lavés) satisfont les exigences techniques alors qu'ils ne sont pas acceptés dans le(s) CCT.

Dans la suite de cet article sont présentés les résultats relatifs à l'utilisation des sables recyclés ou artificiels pour les applications sable-ciment, béton maigre et sable de drainage.

Analyses environnementales

La législation en vigueur en Wallonie est décrite par l'AGW du 14/06/2001 'Arrêté du Gouvernement wallon favorisant la valorisation de certains déchets' (Ministère de la Région Wallonne, 2001) et l'AGW du 28/02/2019 'Arrêté du Gouvernement wallon portant exécution de la procédure de sortie du statut de déchet' dont l'annexe II en particulier concerne les granulats recyclés (SPW, 2019).

En Flandre, la législation environnementale est décrite par le Materialendecreet 'Het decreet betreffende het duurzaam beheer van materialenkringlopen en afvalstoffen' (Vlaamse Overheid, 2012a) et le Vlarema 9 'Vlaams reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen' (Vlaamse Overheid, 2012b). Les granulats recyclés obtiennent le statut de sortie de déchets s'ils sont certifiés selon le 'eenheidsreglement gerecycleerde granulaten'.

Les sables recyclés testés, ainsi que les sables de scories, ont un enregistrement de SSD.

Les sables de mâchefers 2 à 4 testés répondent aux exigences de l'AGW de 2001 (Ministère de la Région Wallonne, 2001)–annexe III (essais de lixiviation par agitation EN 12457-4 [NBN, 2002]) à l'exception des composés organohalogénés (EOX) pour le sable de mâchefers 4 (15 mg/kg M.S. au lieu de 7). Pour le sable de mâchefers 1, les concentrations totales en Cu, Pb et Zn sont supérieures aux valeurs de la réglementation flamande ; les essais de lixiviation montrent des teneurs trop élevées en Cu, Pb, Zn.

Les sables physico-chimiques répondent aux exigences environnementales, à l'exception de la teneur en verre pour le sable 2/8 testé. Les sables physico-chimiques d'un producteur ont une reconnaissance de sortie de statut de déchets.

Application sable-ciment

Neuf sables et deux mélanges (50 % recyclé M 0/4 L + 50 % recyclé 0/8 ; 80 % sable physico-chimique 0/2 + 20 % sable physico-chimique 2/8) ont été testés pour l'application sable-ciment, avec 6 % de CEM III B 42,5 N LH SR LA. Les deux mélanges ont été effectués afin d'obtenir une granulométrie conforme.

Le sable recyclé M 0/4 L (2) et le sable physico-chimique 0/2 (2) ont été réservés pour l'application béton maigre.

Pour chaque formulation, deux séries de 3 éprouvettes ont été fabriquées à la teneur en eau optimale (déterminée par l'essai Proctor normal) en vue de mesurer les résistances à la compression à 7 jours et à 28 jours. Les critères des CCT (études préliminaires) sont de 3 MPa à 7 jours, **4 MPa** à 28 jours (*Vlaamse Overheid, AWV, 2021*) et **4,5 MPa** à 28 jours (*SPW, Qualité & Construction, 2021*).

A l'exception des sables de scories qui ne répondent pas au critère du SPW, Qualité & Construction, 2021 et du sable de mâchefers 1, les sables testés satisfont le critère des CCT pour l'application sable-ciment avec 6 % de ciment CEM III B. Les résultats sont représentés sur la Figure 5.

Malgré leur non-conformité par rapport aux CCT, les sables recyclés 0/8 et M développent de bonnes résistances à 28 jours avec 6 % de ciment CEM III B. Le M 0/4 L donne une résistance un peu moins élevée, ce qui peut s'expliquer par la teneur en ciment effective plus faible. Le mélange du recyclé M 0/4 L et 0/8 donne une bonne résistance.

Le sable de mâchefers 1 ne développe pas de résistance avec 6 % de ciment (CEM I et CEM III B). Il faut ajouter 9 % de CEM I pour développer une résistance. La présence de certains éléments chimiques (aluminium, zinc) pourrait empêcher le développement de résistance avec un dosage classique en ciment. Les trois autres sables de mâchefers atteignent les critères requis avec 6 % CEM III B, malgré leur teneur en chlorures non conforme (exigence du CCT Qualiroutes [*SPW, Qualité & Construction, 2021*] uniquement). Néanmoins, pour le sable de mâchefers 2, il faut une teneur en ciment effective plus élevée pour obtenir des résistances du même ordre de grandeur que celles obtenues avec les sables recyclés mixtes 0/8 et M. Pour le sable de mâchefers 4, la résistance est plus faible que celles des recyclés mixtes malgré une teneur en ciment effective similaire.

Les résistances des deux sables de scories sont plus basses que celles des autres sables testés (malgré une teneur effective en ciment élevée) et sont inférieures aux exigences du CCT Qualiroutes (*SPW, Qualité & Construction, 2021*) à 28 jours. Le sable de scories 0/6 contient plus de 20 % de fines et le 0/2 est relativement fin. Le mélange des deux sables physico-chimiques 0/2 et 2/8 donne une résistance satisfaisante mais néanmoins moins élevée que celles des sables recyclés et des sables de mâchefers testés.

Figure 5 – Résistance à la compression à 28 jours

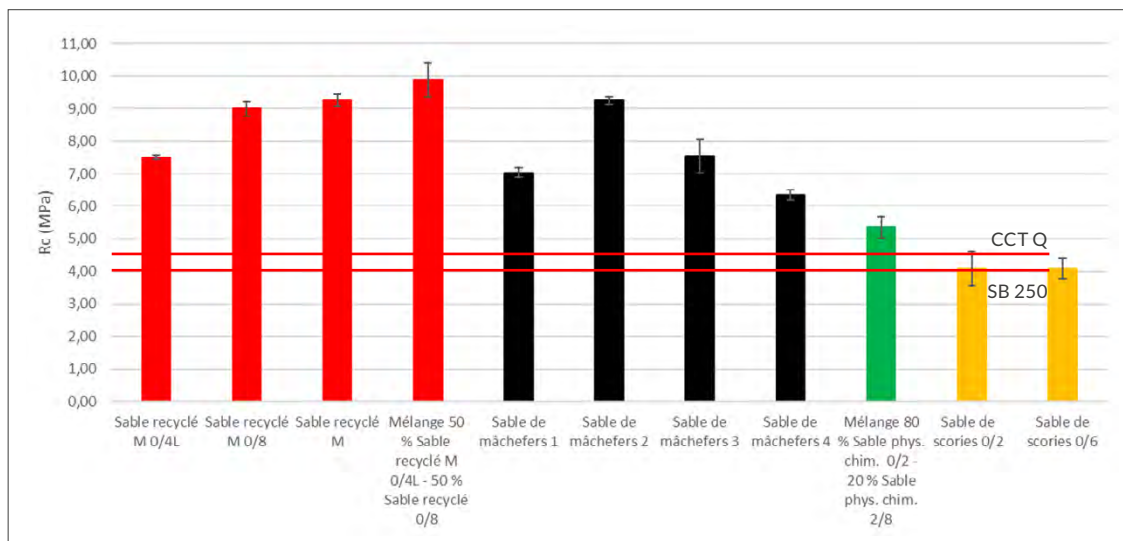


Tableau 3 – Résultats des essais sur sable-ciment

	Autorisé dans les CCT ?	Rc7j (MPa)	Rc28j (MPa)	Teneur en ciment effective (kg/m ³)
Sable recyclé M 0/4 L + 6 % CEM III B	Oui	3,6	7,5	115,7
Sable recyclé 0/8 + 6 % CEM III B	Non	5,3	9,0	120,7
Sable recyclé M + 6 % CEM III B	Non	5,4	9,3	120,5
50 % Sable recyclé M 0/4 L - 50 % Sable recyclé 0/8 + 6 % CEM III B	Oui	5,4	9,88	120
Sable phys. chim. 80 % 0/2 et 20 % 0/8 + 6 % CEM III B	Oui	3,3	5,4	121,5
Sable mâchefers 1 + 9 % CEM I	CCT Q: non	2,9	7,0	164,2
Sable mâchefers 2 + 6 % CEM III B		6,3	9,3	134,7
Sable mâchefers 3 + 6 % CEM III B		5,2	7,5	110,3
Sable mâchefers 4 + 6 % CEM III B		4,3	6,4	122,2
Sable de scories 0/2 + 6 % CEM III B	CCT Q: oui SB 250: non	2,1	4,09	128,6
Sable de scories 0/6 + 6 % CEM III B		2,04	4,09	122,5
Critère CCT (études préliminaires)		$R_{c,moy} \geq 3 \text{ MPa (SB 250)}$	$R_{c,moy} \geq 4 \text{ MPa (SB 250)}$ ou $R_{c,moy} \geq 4,5 \text{ MPa (CCT Q)}$	

Application béton maigre

Les sables recyclés étant dans certains cas autorisés pour une utilisation en béton maigre, des essais ont été effectués afin d'estimer l'impact de leur utilisation sur les performances des bétons maigres.

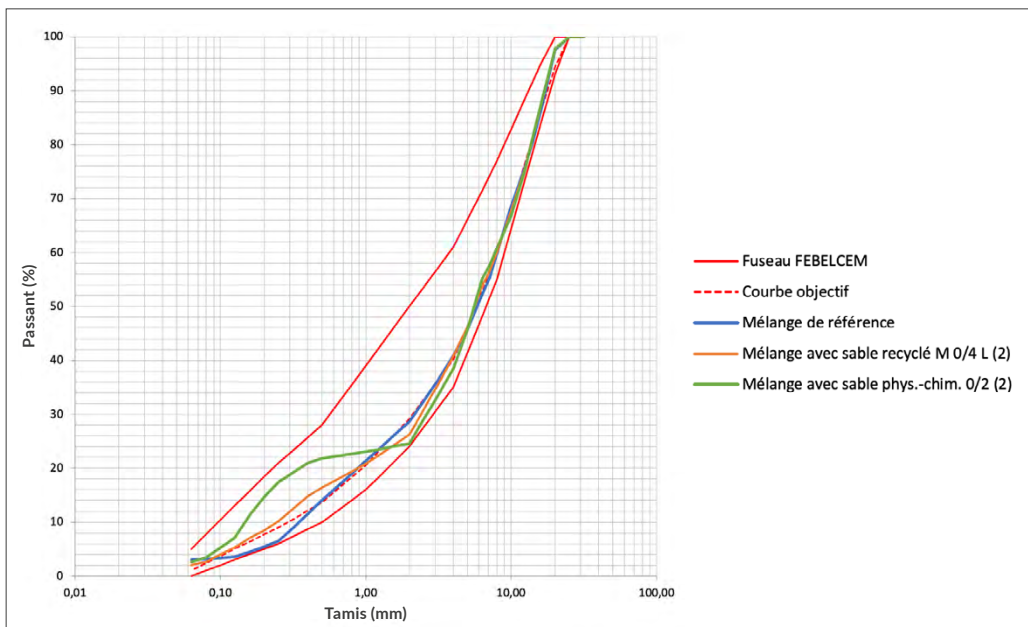
Les essais sont réalisés sur deux sables : **le sable recyclé M 0/4 L (2), et le sable traité phys.-chim. 0/2 (2)**. En effet, ces deux sables satisfont les critères du CCT Qualiroutes (*SPW, Qualité & Construction, 2021*) pour l'application béton maigre et le sable recyclé M 0/4 L (2) satisfait aussi les critères du SB 250 (*Vlaamse Overheid, AWV, 2021*) (Tableau 2). Une formulation de référence est effectuée avec un sable naturel résultant d'un mélange d'un sable calcaire 0/2 et un sable roulé 0/4. Les granulats choisis sont du calcaire, très couramment utilisé pour le béton maigre en Belgique.

Le ciment utilisé est un CEM III B 42,5 N LH SR LA et la teneur visée est de 130 kg/m³, bien supérieure à la teneur minimum de 100 kg/m³ requise par le CCT Qualiroutes (*SPW, Qualité & Construction, 2021*).

Pour chacun des trois mélanges, les pourcentages de matériaux sont choisis afin d'obtenir une courbe granulométrique adéquate, répondant aux recommandations de FEBELCEM (*Ployaert, 2004*).

La courbe obtenue avec le sable physico-chimique 0/2 (2) montre une discontinuité due au fait que ce sable est assez fin.

Figure 6 – Courbes granulométriques des compositions de béton maigre avec les sables naturels et recyclés



Pour chaque mélange, une série de trois éprouvettes est fabriquée à la teneur en eau optimale (déterminée par l'essai Proctor modifié) en vue de mesurer les résistances à la compression après 28 jours. Les résultats sont présentés dans le Tableau 4.

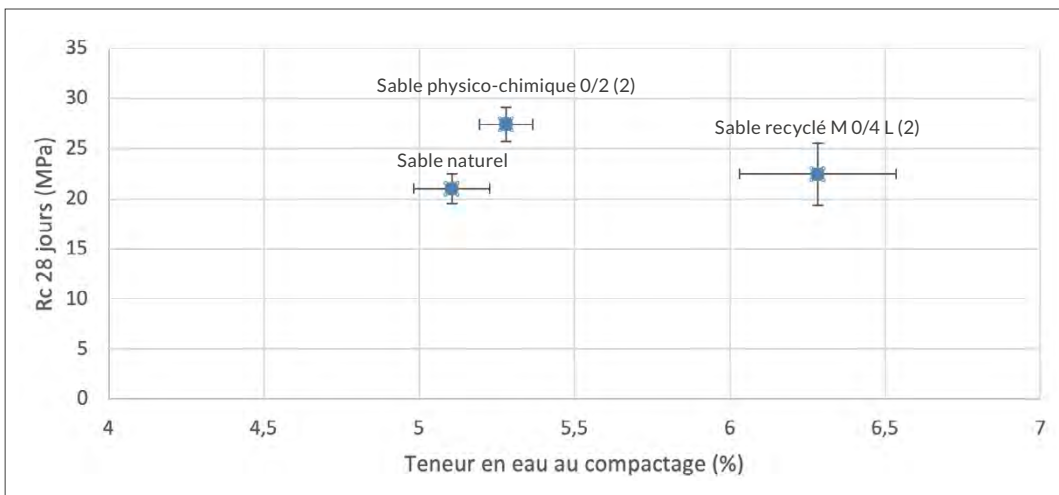
Tableau 4 – Propriétés des mélanges de béton maigre

	Winit (E/G) (%)	Wcompactage (%)	Masse volumique humide (g/cm ³)	Masse volumique sèche (g/cm ³)	Rc28j (MPa)	Teneur en ciment effective (kg/m ³)
Sable recyclé M 0/4 L (2)	7	5,96	2,420	2,284	21,43	128,8
Sable traité phys.-chim. 0/2 (2)	6	5,36	2,433	2,31	25,24	130,6
Sable naturel	6	4,98	2,387	2,274	21,62	128,3
Critère CCT (études préliminaires)					R_{c,moy} ≥ 15 MPa	

Pour les deux sables recyclés testés et conformes aux CCT (à l'exception de la granulométrie pour le sable physico-chimique 0/2 (2) – SB 250 [Vlaamse Overheid, AWV, 2021]), les résultats en termes de résistance en compression sont donc équivalents à ceux obtenus avec les matériaux naturels et satisfont largement le critère de 15 MPa des CCT. La résistance du mélange avec le sable physico-chimique 0/2 (2) est légèrement plus élevée, probablement en raison de la teneur en ciment effective plus élevée.

La discontinuité de la courbe granulométrique composée avec le sable physico-chimique ne semble pas avoir diminué les performances obtenues.

Figure 7 – Résistance en compression moyenne à 28 jours pour les mélanges de béton maigre



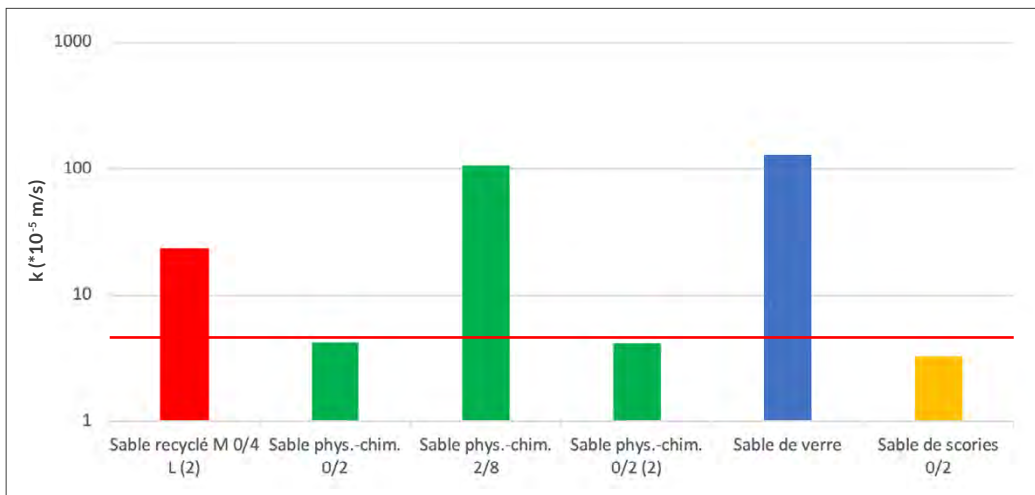
Application sable de drainage

Plusieurs sables testés contenant peu de fines ($\leq 7\%$) pourraient a priori convenir **techniquement** pour cette application, moyennant une bonne perméabilité : 0/4 M lavé (1), sable recyclé M 0/4 L (2), les sables physico-chimiques, le sable de verre et le sable de scories 0/2.

La perméabilité de ces sables a été mesurée (méthode CRR 31/68) à l'exception de celle du sable 0/4 M lavé (1) contenant très peu de fines (1,5%). **Le sable recyclé M 0/4 L (2), le sable physico-chimique 2/8 et le sable de verre** ont des perméabilités significativement plus élevées que la valeur minimum $5 \cdot 10^{-5}$ m/s requise par le CCT Qualiroutes (SPW, Qualité & Construction, 2021).

Les perméabilités des sables physico-chimiques 0/2 et du sable de scories 0/2 sont inférieures à la valeur minimale de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Il est à noter que ces sables ne sont actuellement pas autorisés pour cette application.

Figure 8 – Perméabilité des sables (d'après Centre de Recherches Routières [CRR], 1968)



Conclusion

Les sables recyclés sont performants pour l'application sable-ciment, même ceux présentant une granulométrie non conforme. Le sable de criblage lavé testé est performant pour l'application béton maigre. Deux sables lavés pourraient aussi être utilisés en sable drainant.

Trois des quatre sables de mâchefers testés sont performants (un peu moins que les recyclés) pour l'application sable-ciment, malgré les teneurs en chlorures non conformes.

Les sables physico-chimiques testés (un sable par application) sont relativement performants pour l'application sable-ciment et sont très performants pour l'application béton maigre. Le sable 2/8 s'est également avéré suffisamment perméable pour une application en sable drainant, pour laquelle son utilisation n'est actuellement pas autorisée.

Les sables de scories ont montré des performances un peu faibles pour l'application sable-ciment (limite du critère).

Le sable de verre testé ne permet pas de fabriquer des éprouvettes mais il pourrait convenir pour une application en sable drainant.

Vu le nombre limité de sables testés, il faut rester prudent quant à la généralisation des conclusions de ce projet.

Quelques recommandations peuvent néanmoins être émises pour l'évolution des CCT, sous réserve que les matériaux sont conformes à la législation environnementale :

- Acceptation des sables de concassage recyclés pour l'application béton maigre (SPW, *Qualité & Construction*, 2021).
- Introduction d'une catégorie sable lavé (en particulier pour les sables de criblage), avec une acceptation pour les applications sable-ciment, béton maigre et sable drainant.
- Assouplissement du critère chlorures dans le CCT Qualiroutes pour l'application sable-ciment (SPW, *Qualité & Construction*, 2021).
- Acceptation des sables physico-chimiques dans le CCT Qualiroutes pour les applications sable-ciment et béton maigre (SPW, *Qualité & Construction*, 2021).
- Acceptation des sables de mâchefers dans le SB 250, au moins pour l'application sable-ciment.

Remerciements

Les auteurs remercient le Bureau de Normalisation (NBN) et le SPF Economie pour le financement du projet.

Nous remercions nos collègues du laboratoire pour la réalisation des essais, les membres du comité d'accompagnement pour le suivi et les producteurs de matériaux. Enfin, nous remercions ULiège pour avoir effectué l'analyse de cycle de vie.

Auteurs

Colette Grégoire

T +32 2 766 03 19
c.gregoire@brrc.be



Audrey Van der Wielen

T +32 2 766 03 87
a.vanderwielen@brrc.be



Références

- Boonen, E., Grégoire, C., Smets, S. & Van der Wielen, A. (2024). Le CRR étudie les possibilités de valorisation pour les sables secondaires. Newsletter CRR, (16).
- Bruxelles Mobilité. (2016). CCT 2015: Cahier des charges type relatif aux voiries en Région de Bruxelles-Capitale. http://data-mobility.irisnet.be/home/media/filer_public/dd/4d/dd4de972-769d-47cd-8673-304783dcdd4d/1_cahier_des_charges-type_2015.pdf
- Bureau de Normalisation (NBN). (2002). Caractérisation des déchets: Lixiviation: Essai de conformité pour la lixiviation des déchets fragmentés et des boues. Partie 4: Essai en bûchée unique avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 10 mm (sans ou avec réduction de la granularité) (NBN EN 12457-4).
- Bureau de Normalisation (NBN). (2008). Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées (NBN EN 13242+A1).
- Bureau de Normalisation (NBN). (2012). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité: Analyse granulométrique par tamisage (NBN EN 933-1).
- Bureau de Normalisation (NBN). (2013). Essais visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats. Partie 1: Analyse chimique (NBN EN 1744+A1).
- Bureau de Normalisation (NBN). (2016). Granulats et sols: Détermination de la teneur conventionnelle en matières organiques: Méthode d'essai à l'eau oxygénée (NBN B 11-256).
- Bureau de Normalisation (NBN). (2022a). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 9: Qualification des fines: Essais au bleu de méthylène (NBN EN 933-9).
- Bureau de Normalisation (NBN). (2022b). Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique et du coefficient d'absorption d'eau (NBN EN 1097-6).
- Centre de Recherches Routières (CRR). (1968). Mode opératoire pour la mesure en laboratoire du coefficient de perméabilité des sables à saturation complète (Méthode de Mesure CRR No. MF 31/68).
- Desmet, D. (2025). Granulats traités physico-chimiquement: Marquage CE; Certification COPRO. COPRO. <https://rapportchiffre2023.copro.eu/certification/certification-de-produits/granulats-traites-physico-chimiquement>
- European Commission (EC). (S.d.). Circular economy action plan: The EU's new circular action plan paves the way for a cleaner and more competitive Europe. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- Jiménez Beltrán, D. & Requejo-Liberal, J. (2018, September 14). Connected self-sufficiency: A building block for EU 2030 scenario? Institute for European Environmental Policy (IEEP). <https://ieep.eu/news/connected-self-sufficiency-a-building-block-for-eu-2030-scenario/>
- Ministère de la Région Wallonne. (2001). Arrêté du Gouvernement wallon favorisant la valorisation de certains déchets de 14 juin 2001. Moniteur belge, 10 juillet 2001 (Ed. 2), 23859-23934. https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2001/07/10_2.pdf#page=42
- Nielsen, P., Kenis, C., Vanassche, S. & Vrancken, K. (2008). Beste beschikbare technieken (BBT) voor behandeling van bodemas van huisvuilverbranding. Academia Press.
- Peduzzi, P., Reimer Lynggaard, J. & Chuah, S. (Eds.). (2022). Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis. United Nations Environment Programme. Les fondations routières liées au ciment <https://www.unep.org/fr/resources/rapport/sable-et-durabilite-10-recommandations-strategiques-pour-eviter-une-crise>
- Ployaert, C. (2004). Les fondations routières liées au ciment: Qualités et applications (Dossier Ciment No. 33). Febelcem. https://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/fr/33fr_fondations.pdf
- Service Public de Wallonie (SPW). (2019). Arrêté du Gouvernement wallon portant exécution de la procédure de sortie du statut de déchet prévue à l'article 4ter du décret du 27 juin 1996 relatif aux déchets et modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 14 juin 2001 favorisant la valorisation de certains déchets du 28 février 2019. Moniteur belge, 5 avril 2019 (Ed. 2), 35568-35611. https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2019/04/05_2.pdf#page=108
- Service Public de Wallonie (SPW), Qualité & Construction (2021). Cahier des charges type qualiroutes (Version 2021 consolidée [et ses adaptations ultérieures]). <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/index.html>
- Service Public Fédéral Belge. (2025). Economie circulaire. Belgium.be. https://www.belgium.be/fr/economie/developpement_durable/economie_durable/economie_circulaire
- Van Schelvergem, M. (2025). Granulats recyclés: Certification CORPO/BENOR. COPRO. <https://rapportchiffre2023.copro.eu/certification/certification-de-produits/granulats-recycles>
- Vansteenkiste, S. & De Bock, L. (2024). Projet Resandas (Recycled sands for asphalt mixtures). Newsletter CRR, (15).
- Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). (2020). Bodemassen van afvalverbrandingsinstallaties. Energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest (EMIS). <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/afss/afvalstromen/bodemassen-van-afvalverbrandingsinstallaties#:~:text=Definitie,wordt%20meegevoerd%2C%20wordt%20vlieg%20genoemd>
- Vlaamse Overheid. (2012a). Décret de 23 décembre 2011 relatif à la gestion durable de cycles de matériaux et de déchets. Moniteur belge, 28 février 2012, 12943-12978. https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2012/02/28_1.pdf#Page19
- Vlaamse Overheid. (2012b). Arrêté du 17 février 2012 du Gouvernement flamand fixant le règlement flamand relatif à la gestion durable de cycles de matériaux et de déchets. Moniteur belge, 23 mai 2012, 29590-29861. https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2012/05/23_1.pdf#page=2
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2021). Standaardbestek 250 voor de wegenbouw (Version 4.1a). https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten?documents%5B0%5D=type_document%3AStandaardbestek