

Liège, Belgique
7-8 Novembre 2018

UTILISATION DES SABLES ET GRANULATS RECYCLÉS DANS LE BÉTON PRÉFABRIQUÉ : COMPARAISON DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES ET TECHNIQUES EN EUROPE

DELVOIE Simon^A, ZHAO Zengfeng^A, MICHEL Frédéric^A, COURARD Luc^A

^A Urban and Environmental Engineering, GeMMe Building Materials, Université de Liège, Allée de la découverte, 9 – 4000 Liège, Belgique. Email: s.delvoie@uliege.be

Résumé : L'utilisation des sables et granulats recyclés dans le béton préfabriqué est encore peu fréquente sur le plan industriel, et ce malgré les nombreuses recherches menées sur ce sujet. Dans un premier temps, cette étude fait le point sur les législations et les réglementations prises par les différents pays du nord-ouest de l'Europe (Allemagne, Belgique, France, Luxembourg et Pays-Bas) en vue de favoriser le recyclage et la valorisation des sables et granulats recyclés issus des déchets de construction et de démolition. Ces pays disposent d'un cadre législatif et réglementaire développé leur permettant d'atteindre l'objectif fixé par la Directive européenne 2008/98/CE visant à recycler et valoriser au moins 70% des déchets non dangereux de construction et de démolition en 2020. Le cadre normatif, en lien avec la production de béton préfabriqué et l'utilisation de sables et granulats recyclés, est ensuite analysé. Les principales normes européennes concernées sont : EN 206:2013+A1:2016 (béton), EN 13369:2018 (produits préfabriqués en béton) et EN 12620:2013 (granulats pour béton). Ces normes ont été, selon les cas, complétées ou non par des annexes nationales. Une attention est portée à la comparaison des différentes normes entre les pays du nord-ouest de l'Europe. Cette analyse comparative se penche (i) sur les taux de substitution maximum définis par la norme EN 206:2013+A1:2016 et les annexes nationales, ainsi que (ii) sur les caractéristiques que doivent avoir les granulats recyclés pour pouvoir être incorporés dans le béton. Les normes belge et française semblent plus restrictives vis-à-vis du taux de substitution maximum par rapport aux autres normes étudiées, tandis que les normes belge et luxembourgeoise semblent plus contraignantes concernant les caractéristiques que doivent avoir les granulats recyclés pour pouvoir être utilisés dans le béton.

Mots-clés : béton préfabriqué, recyclage, granulats, norme, Europe.

1. INTRODUCTION

Dans l'Union Européenne, les déchets générés par le secteur de la construction constituent environ un tiers de l'ensemble des déchets produits et représentent le flux principal de déchets en termes de volume. Près de 870 millions de tonnes de ces déchets ont été générés en 2014 par les 28 pays membres de l'Union Européenne (UE-28) (Eurostat, 2017). Parmi ceux-ci, les déchets inertes tels que les briques, tuiles, céramiques et béton comprennent la part la plus importante des déchets de construction et de démolition (CDW, « Construction and Demolition Waste »). Ces déchets peuvent cependant être valorisés en tant que matière première secondaire à la suite d'un processus de recyclage qui aboutit à la production de granulats et de sables recyclés. C'est ainsi qu'au sein de l'UE-28, près de 200 millions de tonnes de sables et granulats recyclés ont été produits en 2015, alors que la production totale de ces matériaux, naturels et recyclés, est estimée à près de 2,5 milliard de tonnes pour l'UE-28 (UEPG, 2017). Les matériaux recyclés représentent dès lors une proportion de 8% parmi l'ensemble des sables et granulats produits dans l'UE-28.

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet Interreg NWE SeRaMCo (« Secondary Raw Materials for Concrete precast products ») qui a pour ambition de produire des éléments préfabriqués en béton (CPP, « Concrete Prefabricated Products ») à partir de 100% de matériaux recyclés issus des CDW dans le courant de l'année 2020. Elle vise à favoriser l'adéquation entre le gisement (CDW) et le marché (CPP) : quels sont les contraintes ? Quels sont les risques et les opportunités ? De ce point de vue, outre les distances de transport qui constituent un des freins les plus importants pour la filière des produits recyclés (Courard *et al.*, 2018 - MOOC ConstruiREcycler, plateforme FUN), le règlementarisme constitue une seconde raison pour laquelle trop peu de CDW sont valorisés. Actuellement, l'utilisation de sables et granulats recyclés dans le béton est peu courante. Les raisons les plus fréquemment avancées pour limiter l'utilisation de ces matériaux dans le béton sont : un manque de confiance du public envers les bétons recyclés, une concurrence avec les matériaux naturels, un manque d'incitants des pouvoirs publics, la présence d'éléments néfastes au béton dans les matériaux recyclés (Deloitte, 2016). Cette étude se focalise sur le cadre législatif, réglementaire et normatif en lien avec l'utilisation des sables et granulats recyclés dans le béton préfabriqué. Elle investigate plus particulièrement les données issues des pays du nord-ouest de l'Europe, à savoir, l'Allemagne, la Belgique, la France, le Luxembourg et les Pays-Bas.

2. CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

2.1 Europe

À l'échelle européenne, la Directive 2008/98/CE (« Waste Framework Directive ») définit le cadre législatif en lien avec la gestion des déchets. Elle impose aux états membres de recycler et de valoriser (y compris le remblayage) au moins 70% des déchets non dangereux de construction et de démolition (à l'exclusion des terres de terrassement) d'ici 2020.

2.2 Allemagne

Le décret allemand sur l'économie circulaire (« Kreislaufwirtschaftsgesetz », KrWG) transpose la Directive européenne 2008/98/CE. Il a pour objectif d'orienter la gestion des déchets vers une gestion des ressources en améliorant le recyclage des déchets générés. Certains règlements, notamment en lien avec la mise en décharge des CDW, sont régionalisés entre les 16 lands qui composent le pays. La mise en décharge des CDW inertes n'est pas interdite en Allemagne.

2.3 Belgique

En Belgique, la législation sur le recyclage des CDW est régionalisée. Ce sont donc les trois régions du pays (Flandre, Wallonie et Bruxelles-Capitale) qui sont compétentes en la matière. Cette régionalisation des compétences peut parfois être perçue par les acteurs belges du recyclage des CDW comme une contrainte.

En Flandre, le Décret de 2012 (« Materialendecreet ») transpose partiellement la Directive européenne 2008/98/EC. Sa mise en application est définie par le VLAREMA qui définit les dispositions en termes notamment de transport et de commercialisation des CDW, d'utilisation des ressources et de la collecte sélective des CDW. La mise en décharge des CDW inertes ayant été collectés sélectivement en vue de les recycler, y est interdite. Les sables et granulats recyclés peuvent être certifiés Copro ou Certipro, assurant ainsi une certaine qualité des matériaux, produits dans le respect d'un système qualité appelé « eenheidsreglement ». Le Cahier des Charges Type relatif aux voiries en Flandre (« Standaardbestek 250 ») autorise et définit les prescriptions sur l'utilisation de sables et granulats recyclés en lien avec les infrastructures routières régionales.

En Wallonie, le recyclage des CDW inertes est devenu obligatoire depuis le 1^{er} janvier 2006 à la suite de la mise en application de l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 18 mars 2004 interdisant la mise en décharge des déchets inertes. Les terres excavées ne sont pas couvertes par ce décret. Certains cahiers des charges publics tels que le QUALIROUTES (relatif aux infrastructures routières) le CCTB 2022 (relatif aux bâtiments) permettent l'utilisation de sables et granulats recyclés, essentiellement en lien avec les couches de fondation et de sous-fondation.

En région Bruxelles-Capitale, le recyclage des CDW est également obligatoire, notamment depuis la mise en application de l'Arrêté du Gouvernement de la Région Bruxelles-Capitale du 16 mars 1995 qui stipule l'obligation de recycler les fractions sableuses et graveleuses des CDW inertes. Le Cahier des Charges Type relatif aux voiries en Région Bruxelles-Capitale (CCT 2015) autorise l'utilisation de sables et granulats recyclés selon certaines prescriptions.

2.4 France

La Directive européenne 2008/98/CE est partiellement transposée dans l'Ordonnance n°2010-1579 du 17 décembre 2010 et dans le Décret n°2011-828 du 11 juillet 2011. La mise en décharge des CDW inertes est autorisée en France. Depuis le 1^{er} janvier 2015, les décharges (appelées ISDI, soit installations de stockage de déchets inertes) sont passées sous le régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), au moyen du Décret n°2014-1501 du 12 décembre 2014. Ce décret a notamment pour objectif de mieux sanctionner les ISDI illégales et d'améliorer le contrôle des déchets réceptionnés.

2.5 Luxembourg

La loi du 21 mars 2012 relative à la gestion des déchets transpose la Directive européenne 2008/98/CE au Luxembourg. Cette loi définit une série de prescriptions en lien avec la gestion des CDW depuis la démolition des bâtiments jusqu'à la production des sables et granulats recyclés. La mise en décharge des CDW inertes est autorisée au Luxembourg.

2.6 Pays-Bas

Le chapitre 10 de la Loi sur la gestion de l'environnement (« Wet Milieubeheer ») constitue le cadre législatif de la gestion des déchets. Les CDW inertes sont interdits de mise en décharge par le décret « Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen » (Bssa).

3. CADRE NORMATIF POUR LA PRODUCTION DE BÉTON PRÉFABRIQUÉ

Les principales normes définissant les prescriptions relatives à la production d'éléments préfabriqués en béton au moyen de sables et granulats recyclés sont les suivantes :

- EN 206:2013+A1:2016 : Béton : spécification, performances, production et conformité
- EN 13369:2018 : Règles communes pour les produits préfabriqués en béton
- EN 12620:2013 : Granulats pour béton

Le contenu de ces différentes normes est développé dans la suite de cette section. Certaines d'entre elles ont été complétées par des annexes nationales. Une attention particulière a été portée sur les différences existant entre les pays du nord-ouest de l'Europe.

3.1 EN 206:2013+A1:2016

Cette norme est au cœur de la normalisation du béton. Elle définit notamment les prescriptions en termes d'exigences relatives au béton et à ses différents constituants. La norme européenne a éventuellement été complétée et modifiée par une annexe nationale. C'est le cas en Belgique (NBN B 15-001:2018), en France (NF EN 206/CN:2014) et aux Pays-Bas (NEN 8005:2014). Elle est en cours de révision ou d'élaboration en Allemagne et au Luxembourg.

La norme européenne et ses compléments nationaux définissent les taux de substitution maxima pour les granulats recyclés utilisés dans le béton. Ces pourcentages varient en fonction du type de granulats recyclés utilisés (béton ou mixte) et de la classe d'exposition (Allemagne, Belgique, France, Luxembourg et Pays-Bas) ou de la classe environnementale (Belgique) du béton. La norme belge NBN B 15-001:2018, fait également une distinction entre le béton armé et le béton non armé.

Le Tableau 1 suivant reprend une compilation des différentes valeurs des taux de substitution maximum définis par les normes européenne et nationales. Quelques commentaires généraux peuvent être formulés au regard de la norme européenne et des annexes nationales :

- Il existe deux grandes catégories de granulats recyclés. L'une correspond à des granulats recyclés de béton et l'autre se rapporte à des granulats recyclés mixtes. Toutefois, chaque pays a défini ses propres proportions maximales ou minimales autorisées pour les différents constituants des granulats recyclés. L'annexe nationale française fait la distinction entre des granulats recyclés de béton de « haute qualité » (Type 1) et d'autres de qualité « standard » (Type 2). L'annexe nationale néerlandaise définit en outre une composition de granulats recyclés de débris de maçonnerie (Type C) ;
- Le taux de substitution maximum le plus élevé rencontré est, dans le pays investigués, défini par la norme française. Il équivaut à 60% et est relatif à des granulats recyclés de béton de « haute qualité » (Type 1) et à un béton de classe X0 ;
- Pour une même norme, le taux de substitution maximal par des granulats recyclés mixtes est toujours plus faible ou égal au taux de substitution maximal par des granulats recyclés de béton ;
- Lorsque la substitution est autorisée, la norme allemande autorise habituellement un pourcentage plus élevé que celui défini par la norme européenne pour une classe d'exposition du béton similaire ;
- Les normes belges et française autorisent habituellement un plus faible pourcentage de substitution que la norme européenne ;
- La norme néerlandaise permet une substitution par des granulats recyclés pour l'ensemble des classes d'exposition, et ce quel que soit le type de granulats recyclés ;

3.2 EN 13369:2018

La norme européenne EN 13369:2018 s'applique au béton utilisé spécifiquement pour la réalisation d'éléments préfabriqués. Elle définit les règles communes pour l'ensemble des éléments préfabriqués en béton. Elle est ensuite éventuellement complétée par d'autres normes qui se rapportent chacune à un type d'élément préfabriqué en question.

La norme européenne commune définit en annexe les taux de substitution autorisés. Le pourcentage dépend de l'origine des granulats recyclés : plus le taux de substitution est élevé, plus le contrôle des caractéristiques mécaniques du béton est complet. D'une manière générale, les granulats recyclés mixtes ne sont pas autorisés. Un taux de substitution maximum de 5% est autorisé par la norme, quelle que soit l'origine des granulats recyclés. Le taux de substitution peut dépasser 20% si l'ensemble des conditions suivantes sont respectées :

- les granulats sont composés uniquement de béton préfabriqué produit dans la même usine ;
- les propriétés du béton durci doivent être déterminées par des essais en laboratoire ;
- la résistance mécanique du produit préfabriqué doit être vérifiée par des essais grandeur nature.

Si la source des granulats recyclés de béton n'est pas connue, ces derniers doivent être conformes à la catégorie de composants Rc90 (au moins 90% de granulats et de mortier de béton, selon la norme EN 12620). Le taux de substitution maximum autorisé équivaut alors à 50%.

3.3 EN 12620:2013

La norme européenne EN 12620:2013 définit les caractéristiques minimales que doivent atteindre les granulats et sables utilisés pour le béton, que le granulat soit d'origine naturelle, artificielle ou recyclée. Les critères qui y sont définis correspondent notamment à des caractéristiques géométriques, physiques, chimiques, de durabilité et de conformité. Ainsi, plus d'une trentaine de critères ont été définis. À l'échelle nationale, les valeurs maximales ou minimales des différents critères définis ont souvent été précisées dans une norme complémentaire ou un document de référence.

Les valeurs seuils des caractéristiques des granulats recyclés dépendent, pour un même pays, du type de granulats (béton ou mixte). Le Tableau 2 compile les caractéristiques ainsi que les valeurs renseignées dans les différentes normes et documents nationaux pour les pays investigués : Allemagne, Belgique, France, Luxembourg et Pays-Bas. Il est intéressant de constater que tous les pays investigués ont des prescriptions spécifiques pour les granulats recyclés, qui sont différentes des celles des granulats naturels, hormis au Luxembourg. En effet, la norme luxembourgeoise ne fait pas de distinction entre les caractéristiques définies pour les granulats naturels et les granulats recyclés. De manière générale, les caractéristiques sont plus contraignantes pour des granulats recyclés de béton que pour des granulats recyclés mixtes. Les caractéristiques les plus souvent définies, dans au moins quatre des cinq pays investigués, sont : les caractéristiques de granularité, le coefficient d'aplatissement, la teneur en fines, la résistance à la fragmentation (Los Angeles), la densité apparente et la teneur en sulfates solubles dans l'eau ou l'acide.

La norme belge définit une densité apparente d'au moins 2200 kg/cm³ pour les granulats recyclés de béton alors que les normes des autres pays investigués requièrent au moins 2000 kg/cm³ pour ce même paramètre. La densité apparente des granulats recyclés mixtes est fixée à 2000 ou 1700 kg/cm³ selon le pays. Les exigences du coefficient d'aplatissement des granulats recyclés de béton sont également plus importantes dans la norme belge que dans les autres normes nationales. La valeur maximale renseignée dans la norme belge pour ces granulats équivaut à 20 alors que les autres normes autorisent d'atteindre des valeurs maximales situées entre 35 et 50 pour un type comparable de granulats recyclés.

Tableau 2. Compilation des caractéristiques des granulats recyclés définies par les différentes normes européenne et nationales et vue de leur utilisation dans le béton.

Caractéristiques des granulats (selon EN 12620)		France		Allemagne		Belgique		Luxembourg		Pays-Bas		
Norme nationale ou document de référence		NF EN 206/CN2014 NF P 18-545:2011		DAfStb-Guideline		NBN B 15-001:2018		CDC- GRA:2008		NEN 5905:2005, NEN 5905(A1):2008, BRL 2506-2:2016		
Composition	d (mm)	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type A+	Type B+	Type A1	Type A2	Type B	Type C
		Granularité	D (mm)	Rc _{0,05} , Rb ₁₀ , Ra ₁ , FL _{0,2} , XRg _{0,5}	Rc _{0,05} , Rb ₁₀ , Ra ₁ , FL ₂ , XRg ₁	Rc _{0,70} , Rb ₃₀ , Ra ₁₀ , FL ₂ , XRg ₂	Rc _{0,05} , Rb ₁₀ , Ra ₁ , FL ₂ , XRg ₁	Rc _{0,70} , Rb ₃₀ , Ra ₁ , FL ₂ , XRg ₂	Rc _{0,05} , Rc _{0,70} , Ra ₁ , FL ₂ , XRg _{0,5}	Rc ₅₀ , Rc _{0,70} , Rb ₃₀ , Ra ₅ , FL ₂ , XRg ₂	Rc _{0,05} , Rc _{0,70} , Rb ₁₀ , Ra ₅ , X ₁ , FL ₁₀	Rc _{0,05} , Rc _{0,70} , Rb ₁₀ , Ra ₅ , X ₁ , FL ₁₀
Caractéristiques géométriques	Catégorie (G)	G _{80/20} , G _{90/15} , G ₈₅	G _{80/20} , G _{90/15} , G ₈₅	G _{80/20} , G ₈₅	G _{85/20} , G ₉₀	G _{80/20} , G ₈₅	G _{80/20} , G ₈₅	G _{85/20} , G _{90/15}	≤35	≤35	≤10	≤10
	Coef. d'aplatissement (FI)	≤40	≤40	≤40	≤50	≤55	≤20	≤50	≤35	≤40	≤10	≤10
Caractéristiques géométriques	Indice de forme (SI)											
	Teneur en éléments coquillers (SC) (%)											
Caractéristiques géométriques	Teneur en fines (f) (% < 0,063 mm)				≤4	≤4	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤10	≤10
	Equivalent de sable (SE)										≥60	≥60
Caractéristiques physiques	Bleu de méthylène (MB)										Doit être vérifié si des particules très fines sont présentes au-delà des valeurs définies (voir tableau 4 dans NEN 5905:2005)	≥60
	Résist. à la fragmentation – Los Angeles (LA)	≤40	≤40	≤50	≤50	≤50	≤35	≤50	≤40	≤40	≤50	≤30
Caractéristiques physiques	Masse volumique réelle (T/m ³)	≥2,0	≥2,0	≥1,7	≥2,0	≥2,0 (+0,15)	≥2,2	≥1,7	≥2,0	≥2,0	≥2,0	≥1,5
	Absorption d'eau (% poids)	≤2,5 (pour XF4 et XA3)	≤2,5 (pour XF4 et XA3)	≤2,5 (pour XF4 et XA3)	≤10	≤15	≤10 (+2)	≤15 (+2)				
Caractéristiques chimiques	Chlorures solubles dans l'acide (% poids)				≤0,04	≤0,04			≤0,04			
	Sulfates solubles des l'eau (% poids)	≤0,2	≤0,2	≤0,7			≤0,2	≤0,2				
Caractéristiques chimiques	Sulfates solubles des l'acide (% poids)	≤0,2	≤0,2	≤0,8	≤0,8	≤0,8			≤0,8			
	Soufre total (% poids)	≤1,0	≤1,0	≤1,0					≤1,0			
Durabilité	Modification du temps de prise du béton (A) (min)	≤10	≤40	≤40			≤40	≤40				
	Résistance au gel-dégel (F) (% perte de masse)						≤4	≤2 pour XF3	≤4 (pour XF1) ≤2 (pour XF2, XF3)			

Concernant les paramètres de granularité, les normes allemande et française autorisent l'utilisation de graves ($d=0$ et $D>4\text{mm}$) alors que les normes belge et luxembourgeoise définissent l'utilisation de gravillons dont la valeur minimale de d vaut respectivement 4 mm et 1 mm. Pour ces deux pays, la teneur en fines ($<63 \mu\text{m}$) est plus contraignante, définie à 1,5%, alors qu'elle peut atteindre un maximum de 4% dans la norme allemande.

Parmi les caractéristiques physiques, la résistance à la fragmentation et l'absorption d'eau sont deux paramètres prépondérants pour lesquels une valeur maximale a été définie dans les normes belge, allemande, luxembourgeoise, française et néerlandaise. En Belgique et en Allemagne, une absorption d'eau de maximum 10% est définie pour les granulats recyclés de béton. Cette limite peut être repoussée à 15% pour les granulats recyclés mixtes. La valeur maximale autorisée pour la résistance à la fragmentation (Los Angeles) varie entre 30 et 50, en fonction du pays et du type de granulats recyclés.

Les caractéristiques chimiques prises en compte pour l'utilisation de granulats recyclés dans le béton concernent la teneur en sulfates (solubles dans l'eau ou dans l'acide), la teneur en chlorures, ainsi que la teneur en soufre total.

4. CONCLUSIONS

La Directive européenne 2008/98/CE en matière de gestion des déchets impose aux pays membres de l'Union européenne d'atteindre à l'horizon 2020 un taux de recyclage et de valorisation des déchets non dangereux de construction et de démolition d'au moins 70%. Cet objectif est d'ors et déjà atteint par l'ensemble des pays investigués : Allemagne, Belgique, France, Luxembourg et Pays-Bas. Ces pays bénéficient d'un cadre législatif et réglementaire fort, favorisant le recyclage et la valorisation de ces déchets. Une façon d'inciter ce recyclage est d'interdire la mise en décharge des déchets inertes de construction et de démolition. Ceci est le cas aux Pays-Bas et en Belgique.

L'utilisation des sables et granulats recyclés reste encore peu fréquente aujourd'hui malgré de très nombreuses recherches sur ce sujet. Même si en pratique, un béton peut être réalisé et commercialisé à partir de 100% de matériaux recyclés, les normes et documents de référence orientent fortement les tendances actuelles, limitant l'utilisation des matériaux recyclés. La norme européenne EN 206:2013+A1:2016 limite le taux de substitution par des granulats recyclés à 50% dans le meilleur des cas, c'est-à-dire pour la réalisation d'un béton de classe X0. Par rapport aux taux de substitution définis dans la norme européenne, les documents normatifs allemands et néerlandais sont relativement ouverts vis-à-vis de l'incorporation de granulats recyclés dans le béton. Les annexes nationales française et belge sont par contre en générale plus restrictives que la norme européenne, ne permettant pas des taux de substitution aussi élevés.

La norme européenne EN 13369:2018 relative aux produits préfabriqués en béton limite également le taux de substitution à 50% lorsque la source des granulats recyclés n'est pas connue. Par contre, cette norme permet un taux de substitution de 100% lorsque les granulats recyclés proviennent de la même usine de produits préfabriqués, moyennant la vérification des caractéristiques du béton et de la résistance mécanique du produit par des essais en laboratoire et grandeur nature.

Chaque pays a également défini les caractéristiques que doivent avoir les granulats recyclés utilisés dans le béton. D'une manière générale, les caractéristiques définies en Belgique et au Luxembourg semblent plus exigeantes que celles définies en France, en Allemagne et aux Pays-Bas. Aucune distinction n'est d'ailleurs actuellement réalisée entre des granulats naturels et des granulats recyclés au Luxembourg.

Le projet SeRaMCo ambitionne, au travers d'essais en laboratoire et de la fabrication de prototypes, de déterminer les limites raisonnables de taux de substitution en vue de contribuer à l'adaptation et l'harmonisation des exigences dans les pays de l'Europe du Nord-Ouest et, par-delà dans l'Union Européenne.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Interreg NWE SeRaMCo (« Secondary Raw Materials for Concrete precast products » - <http://www.nweurope.eu/projects/project-search/seramco-secondary-raw-materials-for-concrete-precast-products/#tab-1>). Nous tenons à remercier l'ensemble des partenaires du projet pour leur aide dans la compilation des données indispensables à cette étude. Nous remercions plus particulièrement nos partenaires de l'Université de Lorraine, de l'Université de Luxembourg, de la TU Kaiserslautern et de la TU Delft pour les nombreux échanges que nous avons eus.

RÉFÉRENCES

Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale, 1995. Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale relatif au recyclage obligatoire de certains déchets de construction ou de démolition du 16 mars 1995. Accessible depuis http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi.

Arrêté du Gouvernement wallon, 2004. Arrêté du Gouvernement wallon interdisant la mise en centre d'enfouissement technique de certains déchets (et fixant les critères d'admission des déchets en centre d'enfouissement technique) du 18 mars 2004.

Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen (Bssa), 1997. Besluit van 8 december 1997, houdende een stortverbod binnen inrichtingen voor aangewezen categorieën van afvalstoffen, accessible depuis <http://wetten.overheid.nl/BWBR0009094/2018-02-06>

BRL 2506-2, 2016. Nationale beoordelingsrichtlijn voor recyclinggranulaten. Deel 2: het NL BSB[®] productcertificaat, 30/06/2016, 67 p.

CCT 2015, 2015. Cahier des Charges Type relatif aux Voiries en Région de Bruxelles-Capitale, 231 p.

CCTB 2022, 2018. CCT-Bâtiments 2022, version 01.05 du 05/02/2018, téléchargé depuis <http://batiments.wallonie.be/home/telechargement-du-cct.html>.

CDC-GRA08, 2008. Cahier des charges 'granulats' (CDC-GRA08). Grand-Duché de Luxembourg, Ministère des Travaux Publics, Ponts et chaussées, 19/12/2008, 45 p.

CUR-Aanbeveling 80:2014. Beton met menggranulaten als grof toeslagmateriaal. Concrete with recycled concrete as coarse aggregate, 21 p.

CUR-Aanbeveling 112:2014. Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal. Concrete with recycled concrete as coarse aggregate, 15 p.

Décret n° 2011-828, 2011. Décret n° 2011-828 du 11 juillet 2011 portant diverses dispositions relatives à la prévention et à la gestion des déchets, accessible depuis <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2011/7/11/2011-828/jo/texte>.

Décret n° 2014-1501, 2014. Décret n° 2014-1501 du 12 décembre 2014 modifiant la nomenclature des installations classées, accessible depuis <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2014/12/12/2014-1501/jo/texte>.

Deloitte, 2016. Background paper, Workshop « Improving management of construction and demolition waste », Bio by Deloitte, Brussels, Belgium, 25 May 2016, 25 p.

Deutscher ausschuss für stahlbeton (DAfStb), 2010. DAfStb-Richtlinie, Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, September 2010, 10 p.

DIN 4226-101:2017. Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen, 2017-08.

Directive 2008/98/EC, 2008. Directive du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Journal officiel de l'Union européenne, pp. L312/3-L312/30, téléchargée depuis <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>.

Eenheidsreglement, 2011. Eenheidsreglement gerecycleerde granulaten van 25 juli 2011, 89 p, accessible depuis <http://www.ovam.be/gerecycleerdegranulaten>.

EN 206:2013+A1:2016. Béton : spécification, performances, production et conformité, 02 novembre 2016.

EN 933-11:2009. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 11 : Essai de classification des constituants de gravillons recyclés (+AC:2009), 01 juillet 2009.

EN 12620:2013. Granulats pour béton, 19 juillet 2013.

EN 13369:2018. Règles communes pour les produits préfabriqués en béton, 29 mai 2018.

Eurostat, 2017. Waste statistics. Data extracted in May 2017. Consulté à partir de http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics, le 10 juillet 2018.

Kreislaufwirtschaftsgesetz, 2012. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), 24.02.2012, 47 p., téléchargé depuis <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>.

Loi du 21 mars 2012 relative à la gestion des déchets, 2012. Environnement et Gestion de l'Eau, Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, accessible depuis <http://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2012/03/21/n1/jo>.

Materialendecreet, 2012. Decreet betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen van 23 december 2011. Vlaamse Overheid, accessible depuis http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/.

Courard, L., Léonard, A., Zhao, Z. & Grigoletto, S., 2018. MOOC ConstruiREcycler, Plate-forme FUN, Université de Liège, version juin 2018, accessible depuis <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:ulg+108008+session01/about>

NBN B 15-001:2018. Béton - Spécification, performances, production et conformité - Complément national à la NBN EN 206-1:2013+A1:2016, 4 juillet 2018.

NEN 8005:2014. Nederlandse invulling van NEN-EN 206: Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit, 01/12/2017.

NEN 5905:2005. Nederlandse aanvulling op NEN-EN 12620 "Toeslagmaterialen voor beton", 01/06/2005.

NEN 5905/A1:2008. Nederlandse aanvulling op NEN-EN 12620 "Toeslagmaterialen voor beton", 01/08/2008.

NF EN 206/CN:2014. Béton - Spécification, performance, production et conformité - Complément national à la norme NF EN 206, décembre 2014.

NF P 18-545:2011. Granulats - Éléments de définition, conformité et codification, septembre 2011.

Ordonnance n° 2010-1579, 2010. Ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010 portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne dans le domaine des déchets, accessible depuis <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/ordonnance/2010/12/17/2010-1579/jo/texte>.

Qualiroutes, 2016. CTT Qualiroutes, version consolidée du 01/01/2016. Téléchargé depuis http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/index_cctquali.html.

Standaardbestek, 2017. Standaardbestek 250 versie 4.0.

UEPG, 2017. European Aggregates Association, Annual Review 2016-2017, 30 p.

VLAREMA, 2012. Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van het Vlaams reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen (VLAREMA) van 17 februari 2012. Vlaamse Overheid, accessible depuis http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/.

Wet milieubeheer. Wet van 13 juni 1979, houdende regelen met betrekking tot een aantal algemene onderwerpen op het gebied van de milieuhygiëne, accessible depuis <http://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2018-07-01#Hoofdstuk10>.