



Projet RESANDAS (Recycled Sands for Asphalt Mixtures)

En 2020, la Commission européenne a présenté son plan climat, le *Green Deal*. Ce plan a pour objectif de rendre l'UE climatiquement neutre d'ici 2050. Pour y parvenir, l'UE vise, entre autres, à mettre en œuvre le *Circular Economy Action Plan*, qui s'engage à augmenter le recyclage et à refermer les cycles, en reconnaissant le secteur de la construction comme une priorité (Commission européenne [CE], 2020). Dans le secteur européen de la construction de chaussées asphaltiques, outre la production d'enrobés bitumineux à basse température (EBT), réduire l'utilisation de matériaux primaires est considéré comme le principal scénario pour concrétiser la transition vers un secteur des enrobés durable et circulaire.

Réduire l'utilisation des matières premières primaires dans le secteur de l'enrobé en Belgique est actuellement réalisé principalement par l'application réussie de la réutilisation des enrobés mêmes, sous la forme d'agrégats d'enrobés bitumineux (AEB). L'utilisation de matériaux recyclés provenant de l'extérieur du secteur des enrobés est actuellement très limitée.

Avec l'étude exploratoire RESANDAS, le CRR entend franchir une nouvelle étape en évaluant la faisabilité d'une éventuelle utilisation durable de sables alternatifs ou recyclés dans les applications bitumineuses.

Introduction

A l'heure actuelle, les différents cahiers des charges types pour la construction routière en Belgique ne font pas état de l'utilisation de sables recyclés pour applications bitumineuses. Seuls les matériaux primaires, tels que le sable rond naturel et le sable de concassage naturel, ainsi qu'une série de sables fabriqués en usine ou «artificiels» issus du concassage de scories ferreuses et non ferreuses, sont autorisés comme matériaux dans la production d'enrobés bitumineux.

Sur la base des exigences actuelles des cahiers des charges, le secteur belge de l'enrobé n'a que très peu d'expérience en matière d'utilisation de sables alternatifs ou recyclés pour les applications bitumineuses. Par conséquent, une éventuelle application de ces matériaux nécessite avant tout une étude exploratoire afin d'identifier la faisabilité du concept pour les enrobés bitumineux.

Dans ce contexte, le projet RESANDAS (*Recycled Sands for Asphalt Mixtures*) d'une durée d'un an, subventionné par le NBN (Bureau of Standards - standards antenna call 2023) a été réalisé. Cette étude de faisabilité d'une durée d'un an visait à atteindre les objectifs suivants:

- inventaire des matériaux sous la forme d'une matrice, tant du côté de l'offre que de la demande, qui permette une première sélection des sables susceptibles d'être recyclés pour des applications bitumineuses;
- préparation d'une matrice élargie ou *extended* afin de procéder à une sélection avancée des sables candidats et d'identifier les besoins et les lacunes ou *knowledge gaps* en termes de caractéristiques, de méthodes d'essai et d'exigences pour une application dans les enrobés bitumineux;
- rédaction d'un document final décrivant les perspectives de mise en œuvre et définissant de manière concise les besoins en matière de recherche.

Les résultats de ces trois objectifs ont été compilés en trois livrables, illustrés schématiquement à la figure 1, et expliqués plus en détail dans ce qui suit.



Figure 1 – Programme de recherche étude de faisabilité RESANDAS

Résultats de l'étude de faisabilité

Livrable 1 - Matrice d'inventaire et première sélection

Au début de l'étude, une meilleure compréhension des flux de matériaux a été acquise, tant du côté de l'offre que de la demande. Cela suppose que l'offre de sables alternatifs est plus diversifiée et plus complexe que le flux actuel de matériaux naturels. Ces flux de matériaux ont ensuite été définis à l'aide d'une matrice «d'inventaire». Un tel inventaire permet d'obtenir de manière simple une vue d'ensemble pour effectuer, dans une phase ultérieure, un premier tri et une sélection des sables alternatifs candidats. La création de cette matrice «d'inventaire» s'est faite en trois étapes (figure 2):

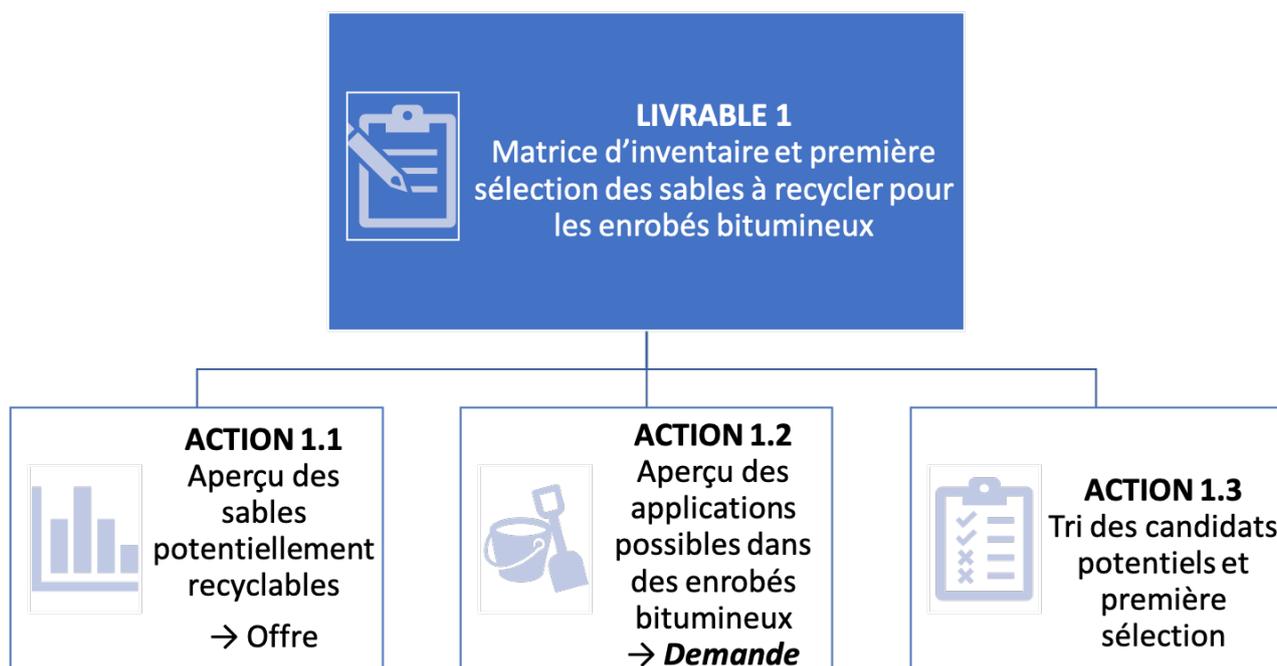


Figure 2 – Approche de l'étude aboutissant au livrable 1

Dans un premier temps, un récapitulatif des sables alternatifs candidats du point de vue de l'offre a été établi. On a identifié un large éventail de matériaux sur la base de la vaste expérience et de l'expertise du CRR en matière de réutilisation des matériaux (secondaires) et de leur application dans les (sous-)fondations ou les revêtements routiers (en tant que granulats dans les mélanges de béton et enrobés bitumineux), de données bibliographiques (Bueche et al., 2008; Centre de recherches routières [CRR] et al., 2023; Vansteenkiste, 2018) et de contacts. Ils ont été classés en fonction de leur nature et de leur origine. Au total, 36 sortes de sables alternatifs ont été inventoriées, provenant:

- de l'industrie du recyclage des débris de construction et de démolition;
- du secteur industriel de l'incinération des déchets ménagers ou communaux;
- du secteur industriel de la production d'électricité à partir de la combustion du charbon;
- du secteur industriel de la production de fer et d'acier;
- de l'industrie des métaux non ferreux;
- du secteur des fonderies;
- du secteur des carrières et des mines;
- du dragage;
- d'autres secteurs (recyclage du verre, des déchets plastiques, etc.).

Les matériaux provenant du secteur de la construction sont souvent liés à la destruction ou à la démolition, sélective ou non, et à un traitement ultérieur par concassage et criblage dans des usines de traitement spécialisées. Il en résulte une large gamme de granulats de débris, mixtes ou non (par exemple, granulats de béton, de maçonnerie, etc.). Il est important d'avoir une bonne compréhension de ces processus car ils déterminent non seulement les caractéristiques des matériaux et leur répartition, mais ont également un impact sur la faisabilité économique d'une application potentielle dans les enrobés bitumineux.

Dans un deuxième temps, une vue d'ensemble du domaine d'application potentiel des sables alternatifs candidats du point de vue de l'utilisateur ou de la demande a été préparée. Les points ci-dessous ont été abordés:

- lister les sables utilisés à l'heure actuelle;
- estimer les quantités, et ce par type de sable, actuellement appliquées dans notre pays;
- enfin, cette vue d'ensemble indique également quel peut être le champ d'application du type d'enrobé bitumineux pour les sables alternatifs en fonction de la (des) classe(s) de trafic envisagée(s).

En se basant sur cet aperçu, on peut tirer les conclusions suivantes:

- Il s'agit d'une production annuelle (chiffres de 20 centrales pour la production certifiée Copro pour l'année 2022) de près de 3,2 millions de tonnes d'enrobé (et 20 000 tonnes d'asphalte coulé), avec environ 690 000 tonnes de sable traitées.
- Il est courant d'utiliser plusieurs types de sable;
- Le rapport entre la consommation de sable concassé et de sable rond est d'environ 70 % de sable concassé et 30 % de sable rond. Les sables concassés caractérisés par une angularité élevée sont principalement utilisés pour augmenter la résistance à la déformation permanente des enrobés bitumineux, tandis que les sables ronds améliorent la maniabilité des enrobés.
- Les types de sable les plus couramment utilisés sont le sable de concassage calcaire 0/2 (lavé), le sable marin rond (provenant du plateau continental belge de la mer du Nord) et le sable de concassage gréseux 0/2 (lavé). Ils représentent 84 % de la consommation totale de sable. Le sable non lavé (2,4 kt au total) ne représente que 0,3 % de la consommation totale de sable.
- Dans les enrobés bitumineux pour sous-couches, un pourcentage très élevé d'AEB est utilisé (> 50 %), ce qui a déjà considérablement réduit la demande de matériaux primaires - et donc de sable.

Dans une dernière étape, une analyse a été réalisée pour chaque sable alternatif candidat à une première sélection (figure 3). Cette analyse a été réalisée sur la base de cinq critères de nature technique, environnementale et économique:

- compatibilité avec les conditions essentielles de la production d'enrobé: adhérence au bitume, absorption limitée du bitume, mise en œuvre dans une centrale d'enrobé ordinaire, résistance aux températures élevées (> 140°C); la résistance mécanique doit également être suffisante;
- pas de problèmes de traitement en fin de vie et ne devrait pas constituer un frein à la réussite du recyclage des AEB dans du nouvel enrobé;
- conditions de travail sûres: pas d'émission de vapeurs nocives en cas de chauffe ou de contact avec du bitume chaud;
- sans danger pour l'environnement: pas de lixiviation de polluants dans le sol ou les eaux souterraines ;
- échelle économique: disponible en quantités suffisantes pour faire une différence significative en cas de substitution de sables primaires; une limite arbitraire a été fixée à au moins 7 500 t par an.

En fonction de ces critères, les matériaux ont été évalués et étiquetés à l'aide de deux codes couleur:

- **Rouge** pour les matériaux, qui ont été jugés inappropriés et étiquetés comme étant *no-go*;
- **Vert** pour les matériaux, qui ont été retenus pour une évaluation plus poussée de leur potentiel en tant que sables candidats dans les enrobés bitumineux;
- Ce groupe vert a été subdivisé en un groupe au marquage **vert foncé** pour les matériaux à fort potentiel et à haute priorité ou les must-have, et un groupe avec un marquage **vert clair** dont le potentiel est considéré comme plus faible en raison de défis importants.

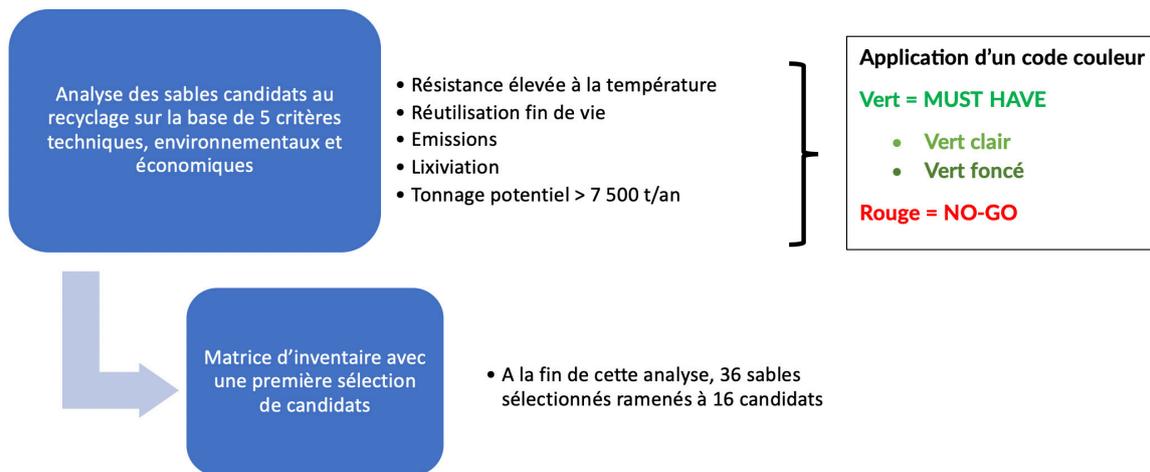


Figure 3 – Approche de la première sélection des sables alternatifs candidats

Le résultat de cette première sélection est présenté au Tableau 1, où 16 sables alternatifs candidats ont finalement été retenus.

Type de sable alternatif	Flux estimé (t/an)
Liste vert foncé (= flux de matériaux prioritaires pour une évaluation plus approfondie)	
Sable de concassage de granulats de béton	6 558 000 (somme pour tous les calibres)
Sable de concassage de granulats de béton de haute qualité	
Sable de concassage de débris mixtes (béton, maçonnerie, enrobé)	2 938 000 (somme pour tous les calibres)
Sable de tamisage de débris	2 250 000
Mâchefers IOM (sable de tamisage) *	78 000
Sable de concassage provenant du laitier d'acier inoxydable EAF *	100 000
Sable de fonderie	22 000
Sable des résidus de fragmentation des déchets métalliques*	7 500
Liste vert clair (= priorité plus faible pour une évaluation plus approfondie)	
Mâchefers TAG (incinération de débris d'enrobé contenant du goudron)	> 100 000
Sable de concassage de scories d'aciérie BOF *	1 459 000 (somme de toutes les scories provenant de l'industrie sidérurgique)
Sable de concassage de scories d'aciérie EAF *	
Sable de scories non ferreuses a) scories de cuivre b) scories de plomb c) scories de phosphore	318 000
Sable de concassage de scories de ferromolybdène *	7 à 22 000
Sol excavé	17 000 000
Sable provenant de boues de dragage	> 200 000
Sable provenant de granulats lavés physico-chimiquement	400 000

* déjà mentionné dans l'un des cahiers des charges types belges pour la construction routière.

Tableau 1 - Vue d'ensemble des sables alternatifs marqués en «vert» après le premier exercice de sélection.

Livrable 2 - Extended matrix pour une sélection plus poussée et la définition des besoins et des *knowledge gaps*

Dans un autre volet de l'étude de faisabilité, pour chacun des sables candidats sélectionnés à l'issue de la sélection initiale (tableau 1), leur potentiel a été évalué en examinant de plus près leurs caractéristiques, essentielles pour leur utilisation dans des enrobés bitumineux.

L'accent a d'abord été mis sur les caractéristiques incluses dans la norme de produit NBN EN 13043:2002 (Bureau de Normalisation [NBN], 2002+2004). Sur la base de cette norme de produit, les cahiers des charges types fixent des exigences non seulement pour le sable en tant que tel, afin qu'il remplisse correctement son rôle dans une application bitumineuse, mais aussi pour la fraction de particules fines (< 0,063 mm) présente dans ce sable. Dans ce contexte, les tolérances sur les propriétés sont également très importantes pour avoir une bonne idée de la constance des sables à recycler, y compris la fraction de particules fines.

Il est important de souligner que la norme de produit NBN EN 13043 (NBN, 2002+2004) s'applique à tout type de matériaux, qu'il s'agisse de sables naturels, de sables d'usine ou de matériaux recyclés de nature minérale. Aucune distinction n'est donc opérée en fonction de l'origine des matériaux.

La figure 4 illustre schématiquement l'approche adoptée.

Les résultats de cette évaluation ont été compilés sous la forme d'une *extended matrix* ou livrable 2. Cela a permis, à une étape ultérieure, de procéder à une évaluation de chaque sable alternatif candidat, en tenant compte à la fois de son potentiel et des obstacles et risques éventuels pour une utilisation future dans les applications bitumineuses. Il a été possible à la fois de sélectionner minutieusement les sables alternatifs candidats et d'identifier un certain nombre de besoins et de *knowledge gaps*.

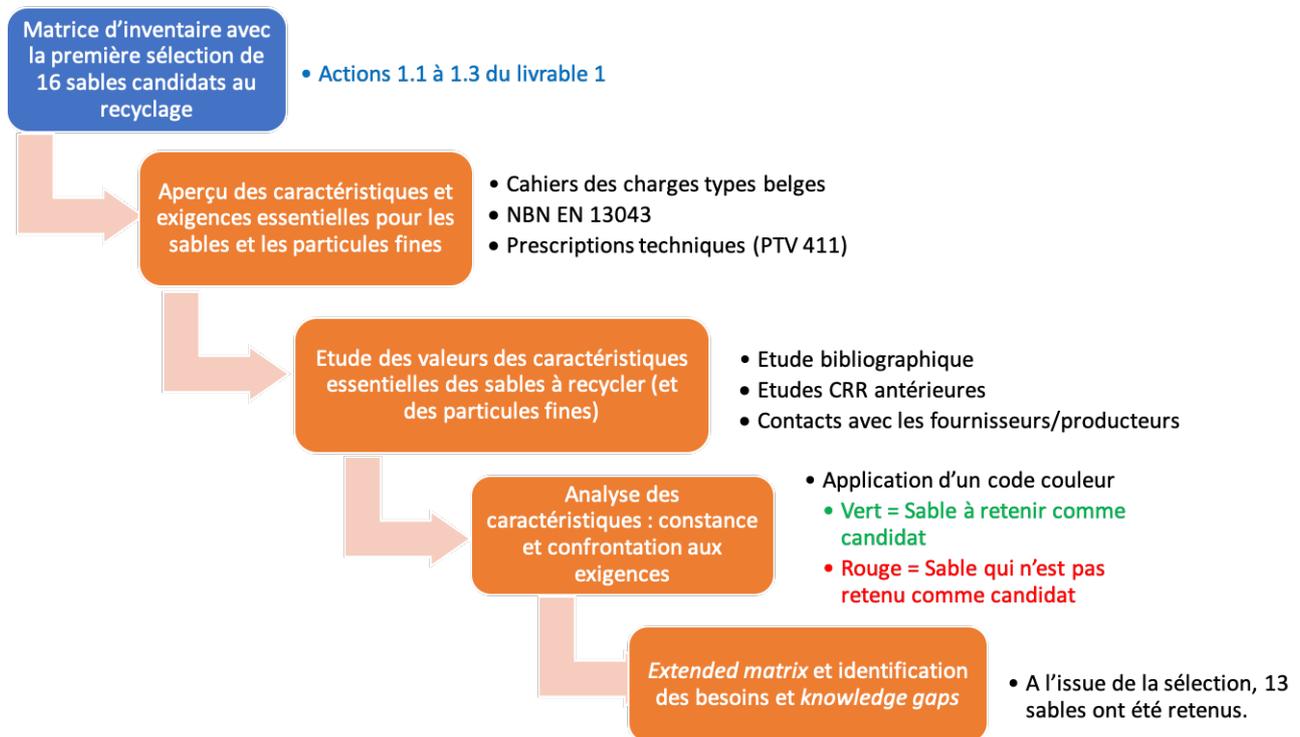


Figure 4 – Approche suivie pour l'établissement de l'*extended matrix* (livrable 2).

La liste des matériaux finalement retenus figure au tableau 2, qui énumère les principales opportunités et les principaux obstacles/risques pour chaque matériau. Par analogie avec le livrable 1, une distinction a également été faite ici entre les sables candidats **vert foncé** (priorité plus élevée pour un examen plus approfondi) et les sables candidats **vert clair** (priorité moins élevée pour un examen plus approfondi).

Type de sable alternatif	Opportunité	Principaux obstacles / risques
Liste vert foncé (= flux de matériaux prioritaires pour une étude plus approfondie)		
Sable de concassage de granulats de béton (de qualité supérieure)	Grandes quantités disponibles	Concurrence de l'industrie du béton (recyclé) et du ciment
Sable de concassage de débris mixtes (béton, maçonnerie, enrobé)	Grandes quantités disponibles	Composition variable; un traitement supplémentaire est nécessaire pour améliorer la qualité
Sable de concassage provenant du laitier d'acier inoxydable EAF *	Bonne expérience avec les granulats grossiers dans l'enrobé (Stinox®)	Concurrence avec les systèmes de carbonatation
Sable de fonderie		Qualité environnementale des sables furaniques; lavage nécessaire (% élevé de particules fines)
Sable provenant de boues de dragage	Grandes quantités disponibles	Teneur élevée en eau
Sable de traitement des résidus de fragmentation des déchets métalliques *	Expériences préalables dans les applications bitumineuses	Un seul fournisseur
Sable provenant de granulats lavés physico-chimiquement	Augmentation potentielle de l'offre pour fournir en grandes quantités (600 000 t/an)	Des investissements importants sont nécessaires pour les installations de lavage
Liste vert clair (= priorité plus faible pour une évaluation plus approfondie)		
Sable de tamisage de débris	Grandes quantités disponibles	Nécessité de criblage à 2 mm et de lavage; composition variable
Mâchefers IOM (sable de tamisage) *	Savoir-faire déjà acquis grâce à la recherche sur l'application dans le béton et l'enrobé	Procédure stricte de contrôle de la qualité (maturation + hygiène environnementale)
Mâchefers TAG (incinération de débris d'enrobé contenant du goudron)	Constitué principalement de gravillons naturels (mastic, sable et granulats)	Traitement uniquement aux Pays-Bas (impact du transport)
Sable de concassage de scories d'aciérie BOF *	Quantités assez importantes disponibles (stocks historiques)	Réduction de la disponibilité à l'avenir; instabilité volumique (gonflement)
Sable de concassage de scories de ferromolybdène *	Expériences positives avec les applications bitumineuses (dans le passé)	Un seul fournisseur; concurrence avec les applications en béton

* déjà mentionné dans l'un des cahiers des charges types belges pour la construction routière.

Tableau 2 - Vue d'ensemble des sables candidats retenus après une sélection approfondie

Livrable 3 - Identification des lacunes en termes de connaissances

Dans un dernier volet de l'étude de faisabilité, l'*extended matrix* du livrable 2 a permis d'identifier une série de lacunes en matière de connaissances pour les sables alternatifs candidats sélectionnés. Ces sables sont énumérés au tableau 2. Il s'agit d'un manque de savoir-faire au niveau:

- des caractéristiques des particules fines: malgré une teneur souvent élevée en particules fines (>10 % pour le sable non lavé), il n'y a pas d'informations sur la qualité de cette fraction, qui est considérée comme un filler dans un enrobé bitumineux. En particulier, les données sur les vides Rigden sont manquantes et la valeur au bleu de méthylène est généralement déterminée sur la fraction de sable (0/2 mm) et pas seulement sur la fraction de filler (valeur MBF);
- de la présence éventuelle d'autres éléments (chaux, sulfate, chlorure, etc.). En effet, la présence de chaux libre (CaO) dans les résidus de ciment, dans le sable de concassage des granulats de béton, dans le laitier ou les mâchefers, peut avoir un effet rigidifiant important du filler dans l'enrobé (impact négatif sur l'ouvrabilité);
- de l'absorption d'eau, qui est souvent élevée (> 5 %) pour de nombreux matériaux; il n'est pas évident de savoir si cela affecte négativement l'absorption éventuellement plus élevée du bitume;
- de la teneur en eau, qui est souvent assez élevée, en particulier pour les sables lavés. Cependant, ce lavage est nécessaire pour réaliser la pureté du sable. La teneur élevée en eau a un impact négatif important sur la consommation d'énergie nécessaire pour sécher le sable, ce qui est indispensable pour une application en enrobé;
- très peu de données sont disponibles sur Los Angeles, Micro-Deval, la valeur PSV pour cartographier la résistance mécanique. Pour obtenir un résultat d'essai fiable, il est nécessaire de disposer d'un calibre grossier des sables alternatifs candidats. L'indisponibilité d'un tel calibre constitue un obstacle supplémentaire.

Conclusions - perspectives

L'étude exploratoire RESANDAS a permis d'obtenir une bonne vue d'ensemble des sables potentiellement candidats au recyclage pour les applications bitumineuses, l'accent étant mis à la fois sur l'offre et la demande. L'étude a également mis en évidence les lacunes et les limites/risques de ces matériaux en ce qui concerne leur possible utilisation dans les applications bitumineuses.

Pour permettre l'application future de ces sables alternatifs candidats, il faut tout d'abord dresser un tableau complet de toutes les caractéristiques requises et, en outre, répondre aux questions concernant leur impact sur les performances des enrobés bitumineux contenant ces sables. Dans ce contexte, les réalités économiques doivent également être prises en compte.

Il est un fait que fournir un sable alternatif de qualité requiert souvent d'importants investissements pour appliquer le traitement aux matières premières, qui sont à sa source (déchets industriels, granulats recyclés, terres excavées, etc.). Cela signifie qu'actuellement, les sables alternatifs ont un coût plus élevé que les sables naturels (qui peuvent être exploités efficacement et à grande échelle).

En outre, la situation peut évoluer de manière économiquement dynamique, tant dans un sens négatif (par l'élimination de flux de matières en raison de l'arrêt de certaines activités industrielles) que dans un sens positif, par de nouveaux investissements dans des techniques nouvelles et plus performantes d'épuration et de retraitement des flux de matériaux.

Remerciements

Ce projet a vu le jour grâce au soutien financier du Bureau de Normalisation (NBN) - antenne normes du CEN TC227 (convention CCN/NBN/PAN2023-33). Les auteurs souhaitent également remercier COPRO pour sa précieuse contribution à cette étude exploratoire RESANDAS.



Bibliographie

Bueche, N., Vanelstraete, A., Thogersen, F., Gaspar, L. & Kalman, B. (2008, August 18-20). High stiffness underlayers with high percentage of re-use as developed in the NR2C-project. In M.N. Partl (Ed.), *Proceedings of the international ISAP symposium on asphalt pavements and environment*, Zürich, Switzerland. International Society for Asphalt Pavements (ISAP).

Bureau de Normalisation (NBN). (2002+2004). *Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation* (NBN EN 13043+AC). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=269321&p40_language_code=fr&p40_detail_id=109114&session=5338963042268

Commission Européenne (CE). (2020, mars 11). *Un nouveau plan d'action pour une économie circulaire: Pour une Europe plus propre et plus compétitive + Annex* (Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions No. COM[2020] 98 final). https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1&format=PDF

Centre de Recherches Routières (CRR), Buildwise, Service Public de Wallonie (SPW), Environnement, Fédération des Producteurs des Granulats Recyclés (FEREDECO). (2023). *Guide technique pour l'utilisation des granulats recyclés en Wallonie* (Version 2.0). Fédération des Producteurs des Granulats recyclés (FEREDECO). <https://www.granulatsrecycles.be/fr/guide-technique-pour-lutilisation-des-granulats-recycles-en-wallonie>

Vansteenkiste, S. (2018, mars 21). *Hoe asfaltgranulaat hoogwaardig toepassen in de toekomst* [Présentation]. Asphalt & bitumen day 2018, Bruxelles. Eurobitume. https://www.vlawebo.be/src/Frontend/Files/userfiles/files/Asphalt_Bitumen_Day_2018_5_Hoe_asfaltgranulaat_hoogwaardig_toepassen_in_de_toekomst_Stefan_Vansteenkiste.pdf