

CARTE DES SURFACES IMPERMÉABLES DE LA  
RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE 2022

# RAPPORT

PARTIE 3 - REVÊTEMENTS PERMÉABLES, TOITURES  
VERTES, TERRAINS DE SPORTS

BRUXELLES ENVIRONNEMENT

Avenue du port 86C/3000  
1000 Bruxelles



bruxelles  
environnement  
leefmilieu  
brussel  
.brussels 

WEO 

2023

## Document :

Client :	Bruxelles Environnement
Auteur(s) :	Charlotte Wirion (WEO), Rowan Steele (WEO)
Approbation :	Imeshi Weerasinghe (WEO)
Statut :	Finale v3.0 (Partie 3)
Date :	14 juillet 2023

## Table des Matières :

Document :	2
Table des Matières :	2
1 Introduction	3
2 Terrains de sport	4
2.1 Contexte	4
2.2 Classification actuelle	4
2.3 Proposition d'une classification améliorée des terrains de sports synthétiques	6
3 Les Revêtements Perméables	9
3.1 Contexte	9
3.2 Classification actuelle	11
3.3 Proposition d'une classification améliorée des revêtements perméables	12
4 Toitures vertes	16
4.1 Contexte	16
4.2 Classification actuelle	16
4.3 Proposition d'une classification améliorée des toitures vertes	17
5 Conclusions	19
Références	20

## 1 Introduction

Bruxelles Environnement a chargé WEO d'étudier le potentiel des données de télédétection pour classifier les surfaces du sol dans des catégories avec une perméabilité intermédiaire entre imperméable (asphalte, béton, etc.) et perméable (végétation).

Trois catégories ont été identifiées comme difficiles à classifier et comme ayant un impact significatif sur le ruissellement potentiel lors de l'étude 'Carte des Surfaces Imperméables de la Région Bruxelles-Capitale' réalisée par WEO en 2022.

Le premier type étant les terrains de sport, qui peuvent être perméables s'ils sont naturels, mais imperméables (avec drainage) s'ils sont faits de matériaux synthétiques. Le deuxième type étant les chaussées perméables, que le modèle existant classifie comme imperméables mais qui peuvent être perméables ou semi-perméables. Enfin, les toitures vertes ont aussi été retenues pour être classifiées séparément compte tenu de leur potentiel de réduction et de retardement du ruissellement par rapport aux toits standards.

L'objectif de cette étude de littérature était d'identifier les méthodologies qui pourraient être utilisées pour différencier les différentes classes pour chacun de ces trois cas et de commenter le degré de confiance dans l'obtention d'une bonne précision qui devrait être attendue.

## 2 Terrains de sport

### 2.1 Contexte

Les terrains de sport en gazon synthétique existent de plus en plus en Belgique, avec environ 280 installés déjà en 2014 (European Synthetic Turf Council, 2014) et d'autres gazons synthétiques installés dans les jardins privés.

Les objectifs de ce volet de l'étude sont de :

1. Comprendre si le modèle classifie correctement les terrains de sport dans son état actuel ou si des améliorations du modèle sont nécessaires pour différencier le gazon réel du gazon artificiel.
2. Proposer une méthodologie pour améliorer la classification des gazons synthétiques.

#### L'effet du gazon synthétique sur le ruissellement

Le gazon synthétique lui-même est très perméable – généralement plus perméable que le gazon naturel. Cependant, selon l'installation, le ruissellement vers les égouts peut être significativement plus élevé et plus rapide qu'avec le gazon naturel. Le gazon synthétique peut être installé sur une surface solide telle que du béton ou sur une base de pierre concassée. En général, ces sous-couches seront connectées aux systèmes d'évacuation des eaux pluviales. Des études britanniques et américaines sur le taux de ruissellement du gazon synthétique et naturel ont toutes les deux conclu à des volumes de ruissellement significativement plus élevés du gazon artificiel (Simpson et al, 2021 ; Chang et al., 2021).

Pour la tâche de modélisation de l'imperméabilité, le résultat souhaité est que le gazon synthétique soit classifié comme imperméable et que le gazon naturel soit classifié comme perméable.

### 2.2 Classification actuelle

Dix terrains de sport ont été passés en revue en région bruxelloise pour évaluer les performances du modèle. En général, le modèle classait correctement le gazon naturel comme perméable, mais classait également à tort le gazon synthétique comme perméable.

Tableau 1: Classification actuelle des terrains de sport

Terrain de Sport	Coordonnées <sup>1</sup>	Vérité	Modèle	Classement
Parc de Cinquanteenaire Sports Field	151613, 170244	Perméable	Perméable	Correcte
Terrain de sport - Terdelt	151637, 172958	Perméable	Perméable	Correcte
Stade Fallon	155368, 170209	Perméable	Perméable*	Correcte*
Stade de Foot Woluwe St Lambert	155873, 170530	Perméable	Perméable	Correcte
Terrain de Foot Secondaire - Stade Everois RC	152285, 174504	Perméable	Perméable	Correcte
Stade de Crossing Schaarbeek	151029, 172883	Imperméable	Perméable*	Incorrecte
Terrain de foot, Evere White Star	152771, 173125	Imperméable	Perméable	Incorrecte
Terrain de Hockey 1 Evere White Star	152895, 173157	Imperméable	Perméable	Incorrecte
Terrain de Hockey 2 Evere White Star	152757, 173262	Imperméable	Perméable	Incorrecte
Terrain de Foot, FC Kosova Schaarbeek	151714, 172068	Imperméable	Perméable	Incorrecte

\* Indique qu'il y a eu un résultat mélangé de plus de 5 %. La majorité est répertoriée.

Il convient de noter qu'un examen plus approfondi des courts de tennis a montré que le modèle d'hiver classait généralement les courts de tennis couverts pour l'hiver comme imperméables, tandis que les courts de tennis en terre battue ou en herbe non couverts étaient classés comme perméables.



Figure 1: A gauche : Court de tennis non couvert en terre battue classé perméable (Tennis Terdelt). Centre : Court de tennis non couvert en gazon classé perméable (Brussels Lawn Tennis Club). A droite : Terrain de tennis couvert classé imperméable (Royal Tennis Club Lambermont).

<sup>1</sup> Belgian Lambert 72 (m)

### 2.3 Proposition d'une classification améliorée des terrains de sports synthétiques

Les terrains de sports avec gazons naturels et artificiels se différencient entre autres par leur différence en contrainte thermique. Les études sont généralement d'accord que les gazons artificiels ont des températures de surfaces considérablement plus élevées les jours ensoleillés. Mantas et Xian (2021), ont utilisés des images satellitaires pour comparer les températures des terrains de sports avec gazon naturel ou artificiel et ont trouvé des températures de surfaces pour les gazons artificiels considérablement plus hautes ; ce qui peut donc être utilisé pour classier les terrains de sports en artificiels et naturels. En plus, la réponse des terrains de sports naturels et artificiels est différente dans les domaines spectraux du rouge à l'infrarouge (Figure 2).

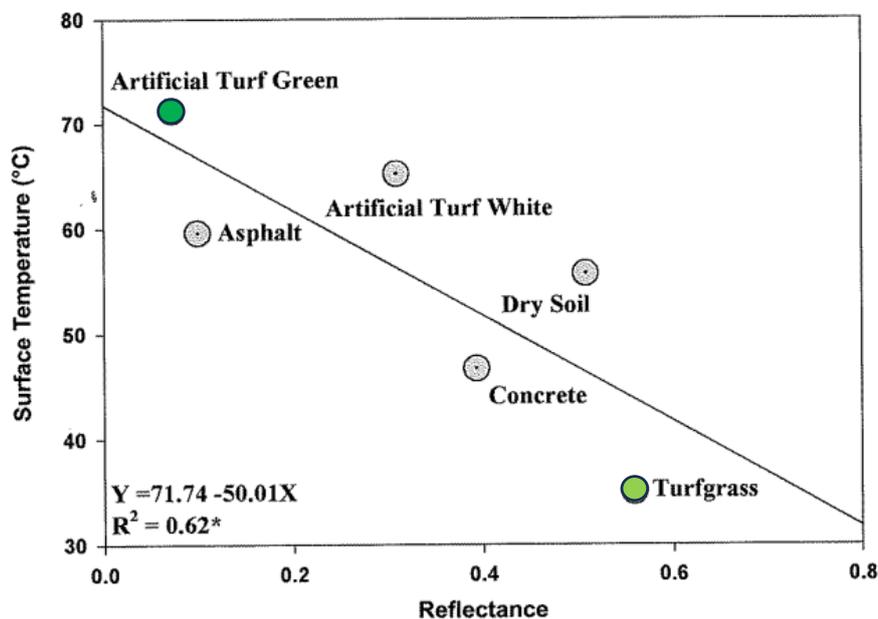


Figure 2: Température de surface comme fonction de la réflectance spectrale dans le domaine du proche infrarouge (Devitt et al., 2008)

Les différences entre les terrains sont claires dans l'orthophoto infrarouge, comme indiqué ci-dessous pour deux cas à Bruxelles.



Figure 3: Terrain de foot, Evere White Star (gauche : synthétique, droite : naturel) – image Ortho2021PirEo (Urbis)

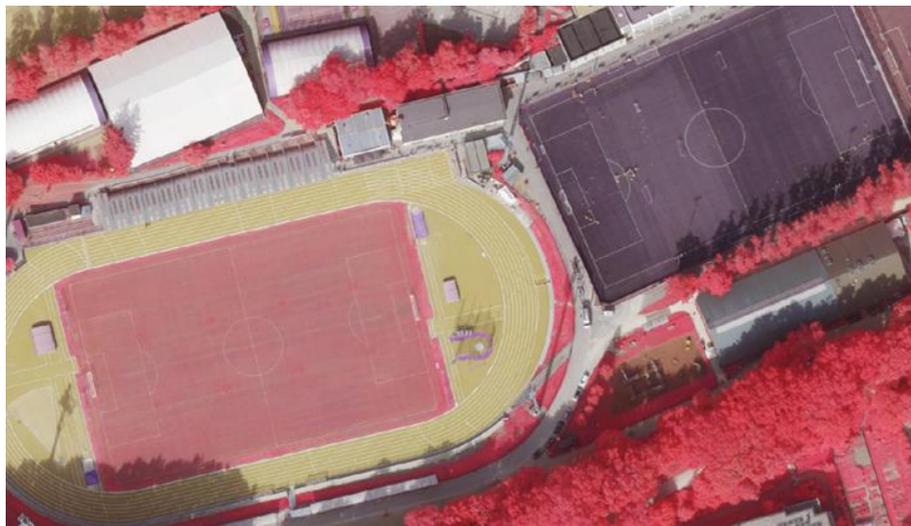


Figure 4 : Stade Fallon (gauche : naturel, droite : synthétique) – image Ortho2021PirEo (Urbis)

En conséquence, WEO propose la classification des terrains de sports avec les bandes dans le domaine du rouge et infrarouge de soit l'image satellitaire Sentinel-2 soit l'Orthophoto proche infra-rouge d'Urbis, selon la fréquence et le délai requis.

En cas de besoin, WEO propose d'ajouter aux données infrarouges des données thermiques pour améliorer la classification des terrains difficiles à catégoriser avec seulement l'infrarouge de l'orthophoto par exemple s'il y a une zone d'ombrage trop importante. Pour ceci, les données thermiques de Sentinel-3 seront co-alignées avec Sentinel-2 pour ainsi pouvoir augmenter la netteté des images avec une approche d'apprentissage profond.

La méthodologie, incluant les deux approches, est présentée dans la Figure 5.

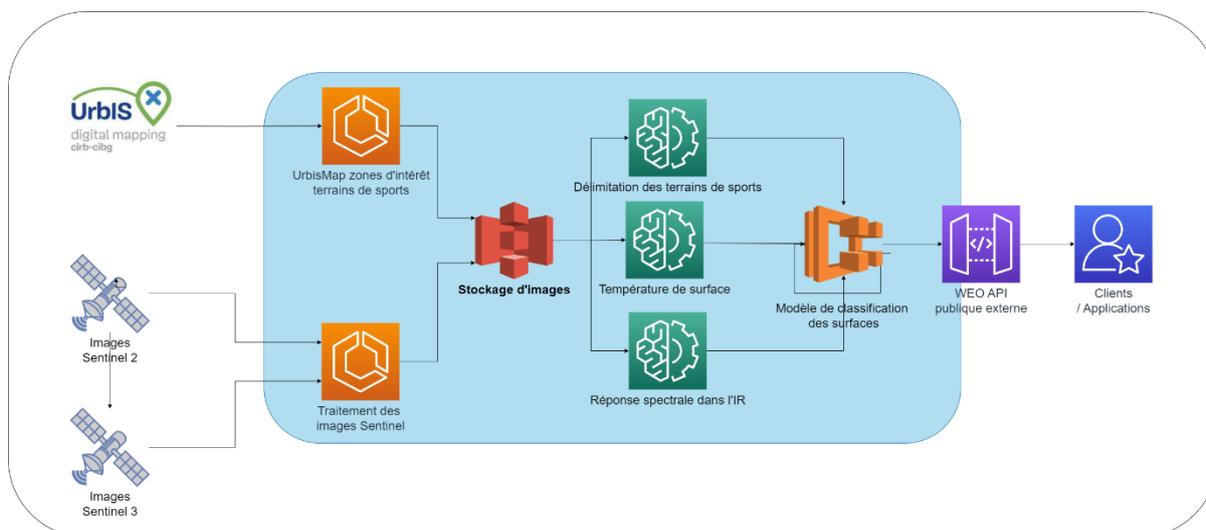


Figure 5: Méthodologies possibles pour l'identification des terrains de sports avec gazons artificiels en utilisant les données open source

### 3 Les Revêtements Perméables

#### 3.1 Contexte

Il existe plusieurs revêtements qui ont une perméabilité supérieure au béton ou dallage traditionnel. Les revêtements les plus adaptés sont choisis en fonction de leur utilisation. Pour les faibles charges, les revêtements en gravier sont souvent favorisés, parce qu'ils peuvent permettre un développement plus important de végétation. Pour les sollicitations plus importantes, par exemples les parkings ou les voies de circulation, on peut utiliser les dallages ou les bétons enrobés perméables.

Selon le guide bâtiment durable de Bruxelles Environnement, il existe plusieurs types de revêtement plus perméable.

Table 1: Types de Revêtements plus perméables (source : guidebatimentdurable.brussels)

	<p><b>Le gravier</b></p> <p>Les revêtements en graviers plus perméables sont en cailloux de pierre naturelle ou en gravier (porphyre, basalte, etc).</p> <p>Certains revêtements en gravier qui ne sont pas chimiquement neutres (calcaire, dolomie) ont tendance à devenir imperméables (Bruxelles Environnement, 2019)</p>
<p>Gravier Enherbé</p>	<p><b>Le gravier enherbé</b></p> <p>Le gravier implanté avec les plantes herbacées.</p>
	<p><b>Les pavés à larges joints</b></p> <p>Les pierres naturelles ou les pavés classiques peuvent permettre le passage d'eau si les joints sont relativement larges (2 à 3,5cm). Souvent les joints sont remplis avec du gravier fin.</p>



© MabelAmber / pixabay.com

**Les pavés béton perméables (joints élargis)**

Les pavés bétons ont une porosité qui permet d’infiltrer les eaux sur toute leur surface.

Selon Bruxelles Mobilité (2015), le pavage poreux utilisé pour les voiries doit avoir un facteur de perméabilité supérieur à  $5,4 \cdot 10^{-5}$  m/s qui correspond à un mélange de sable/argile. Il peut y avoir de la végétation entre les joints.



Plante & Cité (2021) Étude Revêtements Perméables ISBN : 978-2-38339-002-2

**Revêtements liés perméables**

Les bétons drainants ou asphaltes poreux sont des revêtements dits liés car constitués de granulats tenus entre eux par un liant (hydraulique ou hydrocarbonés). Le caractère drainant ou poreux tient à la présence d’une structure poreuse. La perméabilité de ces matériaux est très élevée de l’ordre de  $10^{-3}$  m/s à  $10^{-2}$  m/s (Plante et Cité 2021). Encore peu répandus dans le contexte bruxellois, on en trouve toutefois actuellement pour des cheminements piétons (parc) ou des pistes cyclables.



© Ifritsche / pixabay.com

**Les dalles béton avec gazon ou gravier**

Les dalles bétons sont remplies avec du gazon ou du gravier de 35 à 65% de la surface.



© Bernard Boccara

**Dalles alvéolées**

Pour former une nappe alvéolée que l'on remplit de gravier ou de terre, on peut utiliser les dalles alvéolées en polyéthylène recyclé.

Ce type de revêtement peut supporter aussi la croissance de l'herbe dans les cellules si la fréquentation de trafic est faible.



© analogicus / pixabay.com

**Mulch, copeaux de bois**

Le bois haché ou les écorces de pin peuvent être utilisés comme revêtement pour des chemins de jardins

**3.2 Classification actuelle**

Une analyse des revêtements perméables à Bruxelles a été réalisée pour trois exemples. Pour les dalles alvéolées et les pavés à large joints, le modèle a classifié les surfaces imperméables. Le gravier à Rouge-Cloître était classifié perméable dans le modèle Sentinel-2 combiné et imperméable dans le modèle hiver.



Figure 6: Dalles alvéolées devant l'ambassade des États-Unis à Bruxelles



Figure 7: «Academie voor Beeldende Kunsten » Place de la Vaillance, 17 Anderlecht



Figure 8: Revêtement en gravier meuble, Rouge Cloître, Auderghem

### 3.3 Proposition d'une classification améliorée des revêtements perméables

#### La différenciation des surfaces minérales (gravier, asphalte, béton, revêtement poreux)

Des satellites avec des caméras hyperspectrales, nous autorisent à observer la terre avec beaucoup plus de détail que l'autorisent les senseurs multispectraux comme Sentinel-2. Surtout dans la complexité des matériaux urbains cette large gamme de fréquences spectrales nous autorisent à mieux les différencier. La planification de plusieurs satellites équipés de caméras hyperspectrales dans les années à venir promet l'utilisation de données hyperspectrales pour la classification des revêtements au milieu urbain (Tableau 2).

La différenciation entre le gravier et l'asphalte ou le béton avec les données hyperspectrales est confirmée par plusieurs auteurs en littérature scientifique (Schenming et al., 2022 ; Hashemi et al., 2014). Hashemi et al. (2014) ont trouvé une précision de 92,6% avec une combinaison de lidar et données hyperspectrales pour 11 classes assez similaires (par exemple gravier, béton, asphalte). Une autre étude de recherche a conclu qu'on peut différencier une chaussée poreuse de couleur foncée d'un asphalte en utilisant un spectroradiomètre en terrain. Ils trouvent que dans la gamme spectrale

de 300 à 900nm, il existe une distinction significative entre l'asphalte et les matériaux poreux, mais pas entre les différents types d'asphalte eux-mêmes ni entre les matériaux poreux eux-mêmes (Mori et al., 2008 ; Figure 9). Ce qui signifie qu'en utilisant la gamme spectrale du rouge à l'infrarouge des images satellitaires hyperspectrales et même potentiellement multispectrales, une distinction entre les pavés perméables et imperméables serait possible.

Tableau 2: Satellites hyperspectrales en orbite ou date de lancement planifiés pour 2023.

Hyperspectral satellite	Date de lancement	Résolution spatiale	Accès aux données
PRISMA	2019	30 m	Ouvert pour les projets de recherche.
EnMAP	2022	30 m	Ouvert pour les projets de recherche
HySpec	Futur (~2023)	5 m	En partenariat
HyperSat	Futur (~2023)	6 m	Commerciale
PIXXEL	Futur (~2023)	5 m	Commerciale

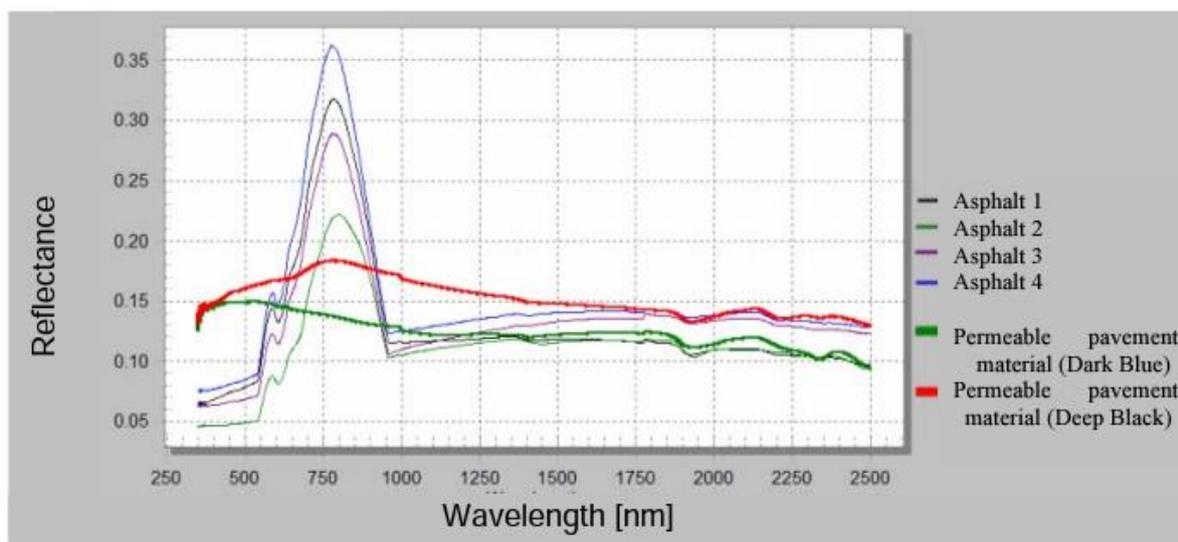


Figure 9: Réponse spectrale de différents types de pavés (Mori et al., 2008)

Pour entraîner des modèles d'apprentissage profond avec les images hyperspectrales, il faut des données. Des données existantes d'apprentissage profond pour cette approche incluent :

1. **La base de données de Pavia** : 103 bandes spectrales, 610 x 340 pixels, gamme spectrale 0.43-0.86 um, résolution spatiale 1.3m, catégories intéressantes : gravier, asphalte, briques, sol, ombrages, bitume, arbres, gazon. (<https://paperswithcode.com/dataset/pavia-university>)
2. **La base de données de Houston** : 144 bandes spectrales, 340 x 1905 pixels, gamme spectrale 0.35-1.05 um, résolution spatiale 2.5m, catégories intéressantes : gazon artificiel, piste, court de tennis, parking imperméable, parking perméable, rails, rues, gazon naturel (en bon et mauvais état). (<https://paperswithcode.com/dataset/houston>)

Les limites de la création d'un modèle pour la différenciation précise des surfaces minérales perméables comprennent :

1. La disponibilité des données hyperspectrales. Des satellites commerciaux avec une résolution d'environ 5 m sont prévus pour un lancement imminent, mais le moment précis où les données seront disponibles n'est pas encore connu. Les conditions commerciales d'accès à ces données ne sont pas non plus encore connues. Les données avec la résolution spatiale réduite à 30m, sont déjà disponibles pour une utilisation dans un contexte de projet de recherche ou développement ainsi que pour les entreprises commerciales comme WEO. Il faudra donc ajouter une approche pour augmenter la netteté de ces images sans réduire la qualité spectrale nécessaire pour la différenciation des matériaux en question.
2. La différenciation des voies étroites (inférieure à 3m) continuera d'être difficile, comme l'a montré la phase 1 de cette étude.
3. Les données d'entraînement disponibles pour ce type de matériaux et imagerie spatiale reste, à ce moment ci, encore limitées.

Le différenciation des revêtements minéraux avec les données hyperspectrales semble être possible selon la littérature, mais les techniques requises sont de pointe et dépendront de la disponibilité de données tierces. Nous proposons donc une étude de recherche pour confirmer le potentiel à grande échelle, en investiguant le potentiel des images satellitaires hyperspectrales et/ou multispectrales pour l'identification de différents types de matériaux semi-perméables comme le gravier, les parkings perméables, les briques, les rails, les pistes, et les gazons artificiels sur la base de la méthodologie indiquée dans la Figure 10 ci-dessous.

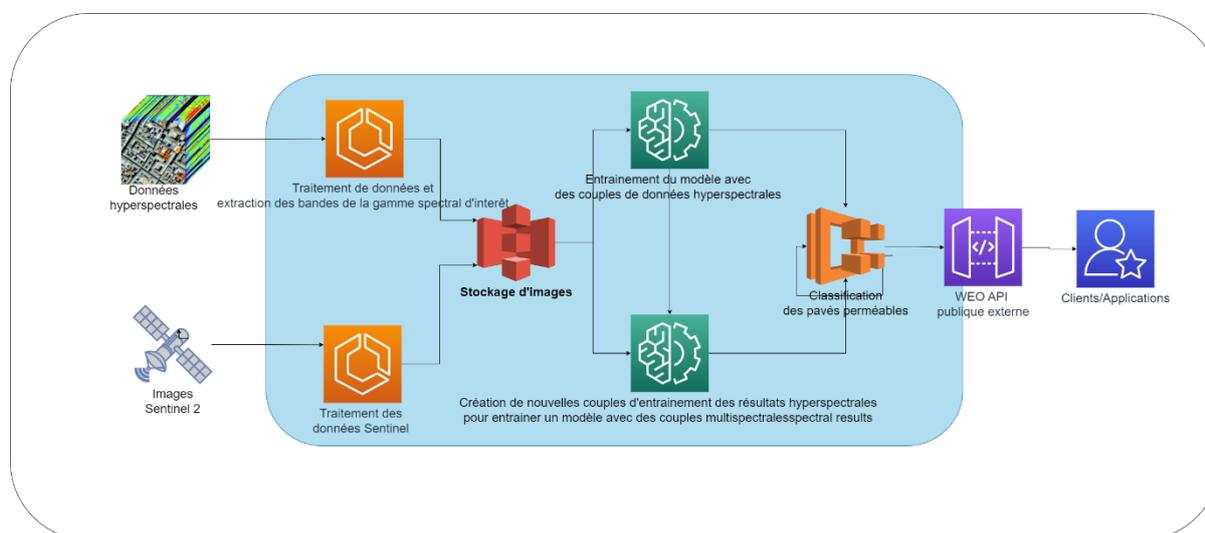


Figure 10: Méthode pour la classification des pavés perméables en utilisant des images hyperspectrales ou multispectrales



## 4 Toitures vertes

### 4.1 Contexte

Les toitures vertes ont plusieurs avantages – y inclus l’augmentation de la durée du toit, le renforcement de la biodiversité, la filtration biologique des eaux de pluie et l’amélioration du microclimat. Même si les toitures vertes peuvent atténuer et réduire les volumes de ruissellement, leur impact dépend fortement de la profondeur du sol utilisé et de l’intensité et de la durée des précipitations.

Les toitures vertes intensives ont un impact plus important sur le ruissellement, mais aussi un coût supérieur aux toitures extensives.

Dans la Région de Bruxelles-Capitale il existe une prime régionale pour l’installation d’une toiture verte<sup>2</sup> ainsi que les primes communales (par exemple dans la ville de Bruxelles<sup>3</sup>). Alors, il existe probablement des données sur l’emplacement des toitures vertes dans certaines communes. Néanmoins, une carte des toitures vertes basée sur les données satellitaires à l’avantage d’être facile à mettre à jour, peut montrer l’évolution des toitures vertes depuis plusieurs années et couvre toutes les 19 communes de la région.

### 4.2 Classification actuelle

Actuellement, le modèle classe des toitures vertes comme perméables et d’autres, comme imperméables. Les toitures vertes petites, extensives et résidentielles sont majoritairement classifiées comme imperméables (Figure 11). Mais les toitures vertes plus grandes et avec plus de végétation, comme le jardin « Peas and Love » sur le toit du magasin « Caméléon » sont classifiées perméables.



Figure 11: Toiture verte résidentielle extensive à Bruxelles – classifiée imperméable

<sup>2</sup> <https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/e5-toiture-toiture-vegetalisee-ou-stockante-en-eau>

<sup>3</sup> <https://www.bruxelles.be/prime-toiture-verte>



Figure 12: La toiture verte «Peas and Love » à Woluwe Saint-Lambert (Source : sillonbelge.be)

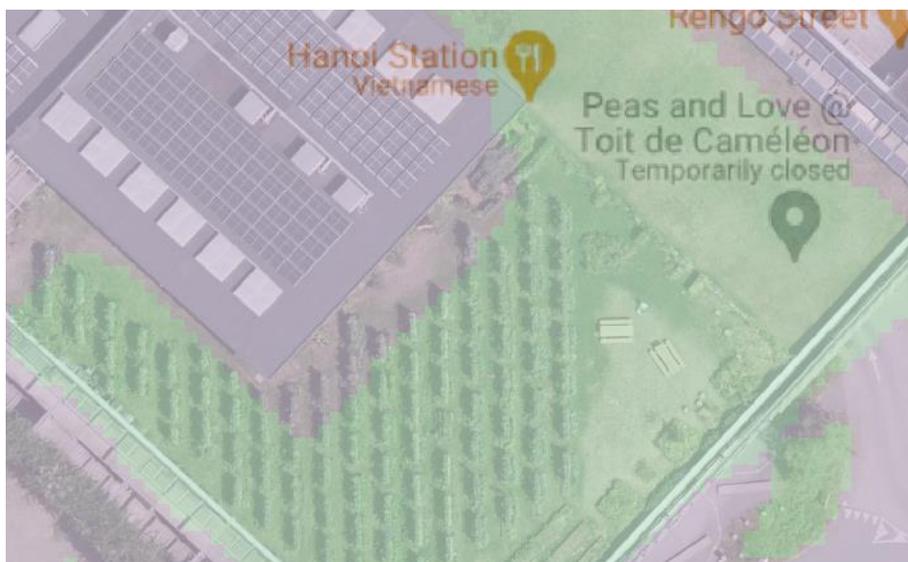


Figure 13: La toiture verte extensive 'Peas and Love' est classifiée « perméable »

### 4.3 Proposition d'une classification améliorée des toitures vertes

WEO a démontré avec succès une technique pour cartographier les toitures vertes dans une ville en utilisant une combinaison d'orthophotos, de données satellites Sentinel-2 et d'informations Lidar Figure 14. Figure 15 visualise le résultat obtenu avec cette approche qui a été développée pendant un projet de recherche et développement avec la Ville de Luxembourg et peut être appliquée ici à la région bruxelloise. L'évaluation du résultat a été faite directement par le client qui a la connaissance du terrain. A cause d'une limitation de données existantes et vérifiées, WEO ne propose pas l'approche d'un modèle d'apprentissage profond. La méthodologie proposée (Figure 14) utilise une carte existante des bâtiments pour identifier tout d'abord les toitures. Puis, la présence de végétation est confirmée avec des images Sentinel-2 hivernales et estivales (augmentées à une résolution de 1m

avec une orthophoto) et finalement les arbres surplombant les bâtiments sont exclus à l'aide des données Lidar (en considérant que la pente des toitures est différente de la pente des arbres).

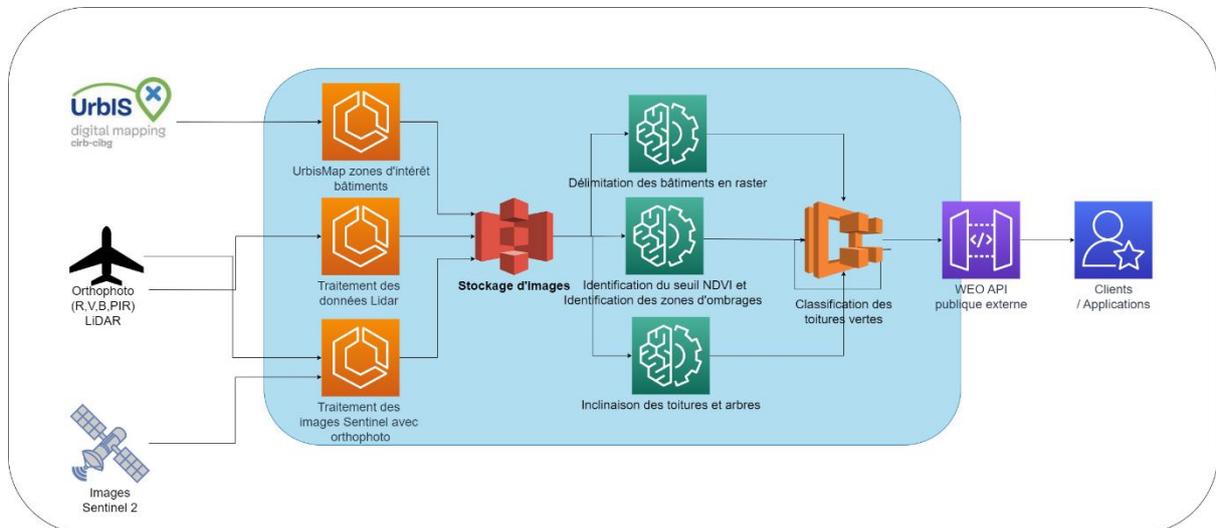


Figure 14: Méthodologie pour l'identification des toitures vertes



Figure 15: Toitures vertes identifiées avec l'approche proposée ci-dessus (Ville de Luxembourg)

## 5 Conclusions

Les revêtements nouveaux, y inclus les terrains de sports avec le gazon synthétique, le pavé perméable et les toitures vertes présentent de la complexité pour un modèle qui est principalement conçu et entraîné pour différencier les surfaces végétales naturelles et artificielles (bâtiments, béton et asphalte).

Pour cette troisième partie de l'étude sur l'imperméabilité de la Région de Bruxelles Capitale, l'objectif était l'identification des surfaces difficiles à catégoriser – les terrains de sports, les revêtements perméables et les toitures vertes - et la proposition d'une approche pour mieux classifier ces surfaces. WEO a analysé la performance du modèle actuel et propose une approche basée sur l'expertise de WEO et des publications scientifiques pour mieux identifier ces trois types de surfaces.

WEO a conclu que :

- Une carte pour différencier les terrains de sports naturels et synthétiques est possible à haute précision en utilisant les données Sentinel-2 et/ou Sentinel-3 parce que les matériaux ont une signature assez différente dans les bandes spectrales infrarouges et thermiques.
- La différenciation de la majorité des revêtements plus perméables (gravier et les surfaces mixtes végétation/chaussée) devrait être possible en utilisant les données hyperspectrales selon plusieurs études. Les principaux défis pour compléter une carte différenciant ces types sont la disponibilité de données hyperspectrales et la résolution de ces données - en particulier pour les voies étroites. WEO propose de réaliser une étude de recherche pour étudier le potentiel des images hyperspectrales et/ou multispectrales avec un modèle d'apprentissage spécifiquement entraîné pour ces types de revêtements en utilisant des bases de données existantes.
- Les toitures vertes peuvent être identifiées avec grande confiance en utilisant une combinaison de Lidar, Sentinel-2 et l'orthophoto.

## Références

Bruxelles Environnement. (2019). Guide bâtiment durable Bruxelles : Revêtements perméables. <https://www.guidebatimentdurable.brussels/revetements-permeables>

Bruxelles Mobilité. (2015). Cahier des Charges Type relatif aux Voiries en Région de Bruxelles-Capitale <https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/2022-01/cahier%20des%20charges-type%202015.pdf>

Chang B, Wherley B, Aitkenhead-Peterson JA, McInnes KJ. (2021). Effects of urban residential landscape composition on surface runoff generation. *Sci Total Environ.* 2021 Aug 20;783:146977. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146977. Epub 2021 Apr 8. PMID: 33866174.

Devitt, Young, Baghzouz and Bird (2007). Surface temperature, heat loading and spectral reflectance of artificial turfgrass. *Journal of Turfgrass and Sports Surface Science*, Vol. 83.

European Synthetic Turf Council. (2014). Synthetic Football pitches in Belgium <https://www.estc.info/synthetic-football-pitches-in-belgium/>

Hashemi Beni, L., McArdle, S., & Khayer, Y. (2014). An integrated method for mapping impervious and pervious areas in urban environments using hyperspectral and lidar data. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 87-91.

Mantas, V. M. & Xian, G. (2021). Land Surface Temperature Differences Between Natural and Artificial Turf Sports Fields as Estimated from Satellite: Examples from the United States and Europe," 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, pp. 1777-1780, doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554145.

Mori, M., Iwata, T., Minami, Y., Kato, S., & Akamatsu, Y. (2008). Spectral analysis of building materials used in Japan. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37, 49-54.

Shenming, Q., Xiang, L., & Zhihua, G. (2022). A new hyperspectral image classification method based on spatial-spectral features. *Scientific Reports*, 12(1), 1541.

Simpson, Thomas & Francis, Robert. (2021). Artificial lawns exhibit increased runoff and decreased water retention compared to living lawns following controlled rainfall experiments. *Urban Forestry & Urban Greening*. 63. 127232. 10.1016/j.ufug.2021.127232.