

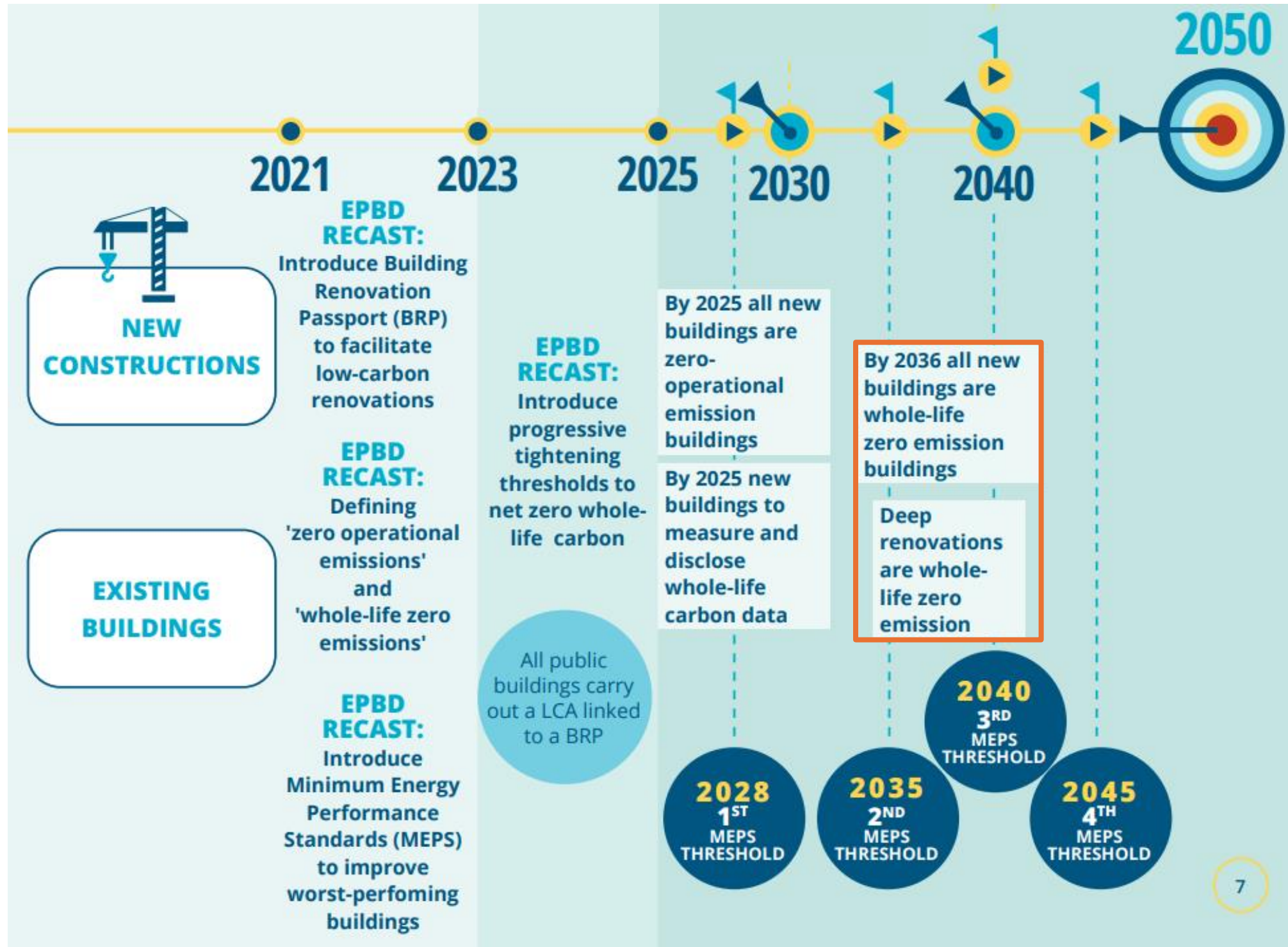
PROJET URMIBALI

Liège Créative

05/03/2026

CONTEXTE

Contexte : Ambitions européennes pour le secteur de la construction



Feuille de route pour des bâtiments et des constructions résistants au climat à l'horizon 2050 (2022)
Source : BPIE.

Objectifs européens en matière d'efficacité énergétique, à l'horizon 2028 :

01. Bâtiments 100% électriques

02. Bâtiments à faible émission de carbone

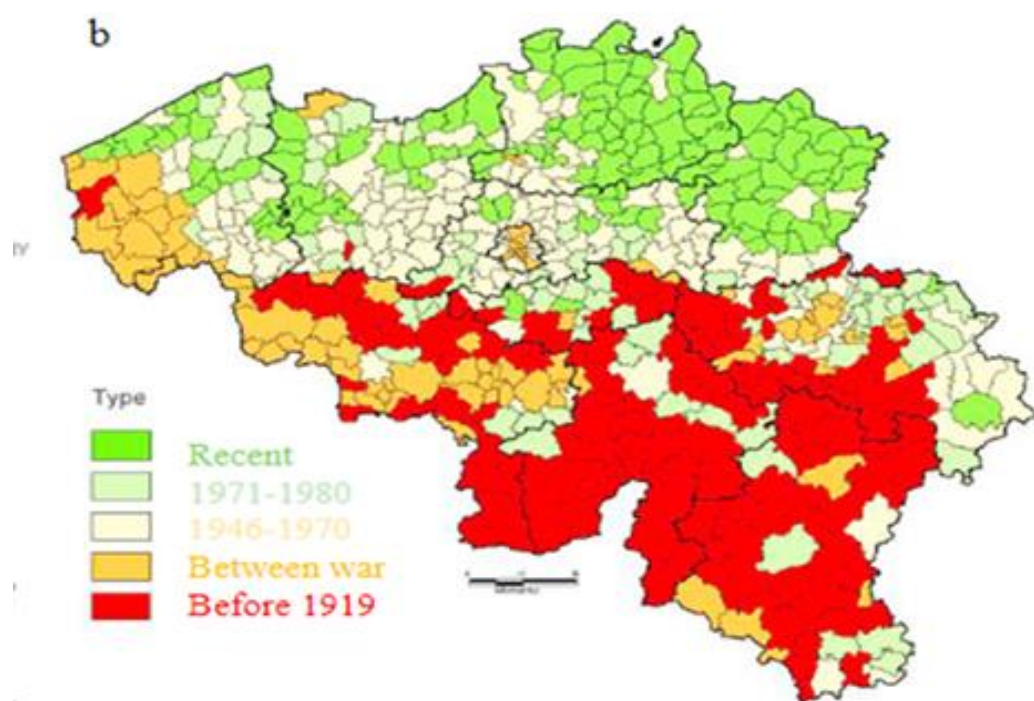
03. Décarbonisation du chauffage et de la climatisation

04. Produits de construction à faible émission de carbone

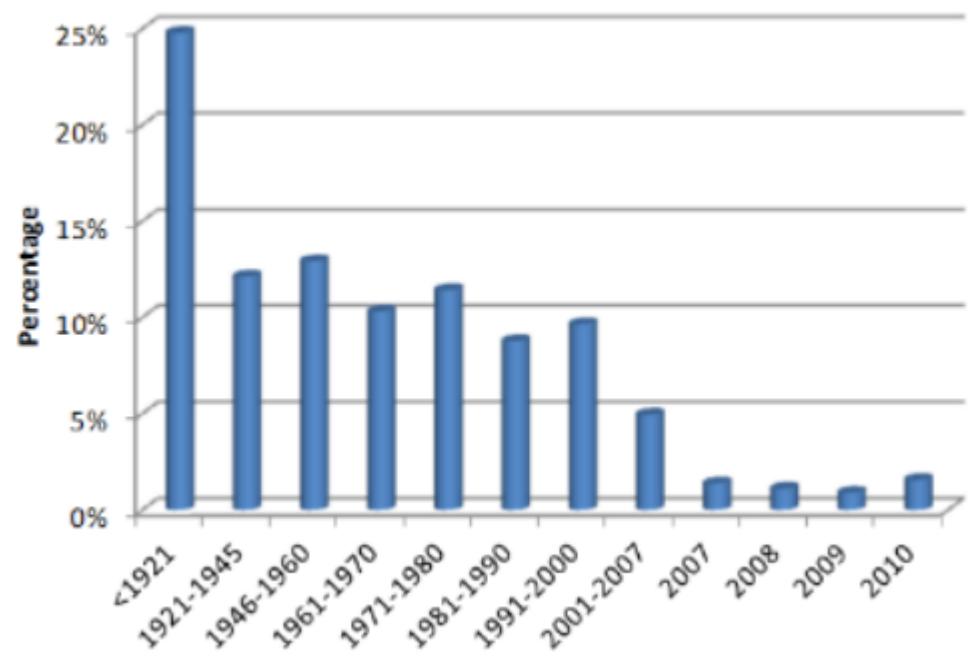


Usage obligatoire de matériaux biosourcés et/ou de matériaux de réemploi

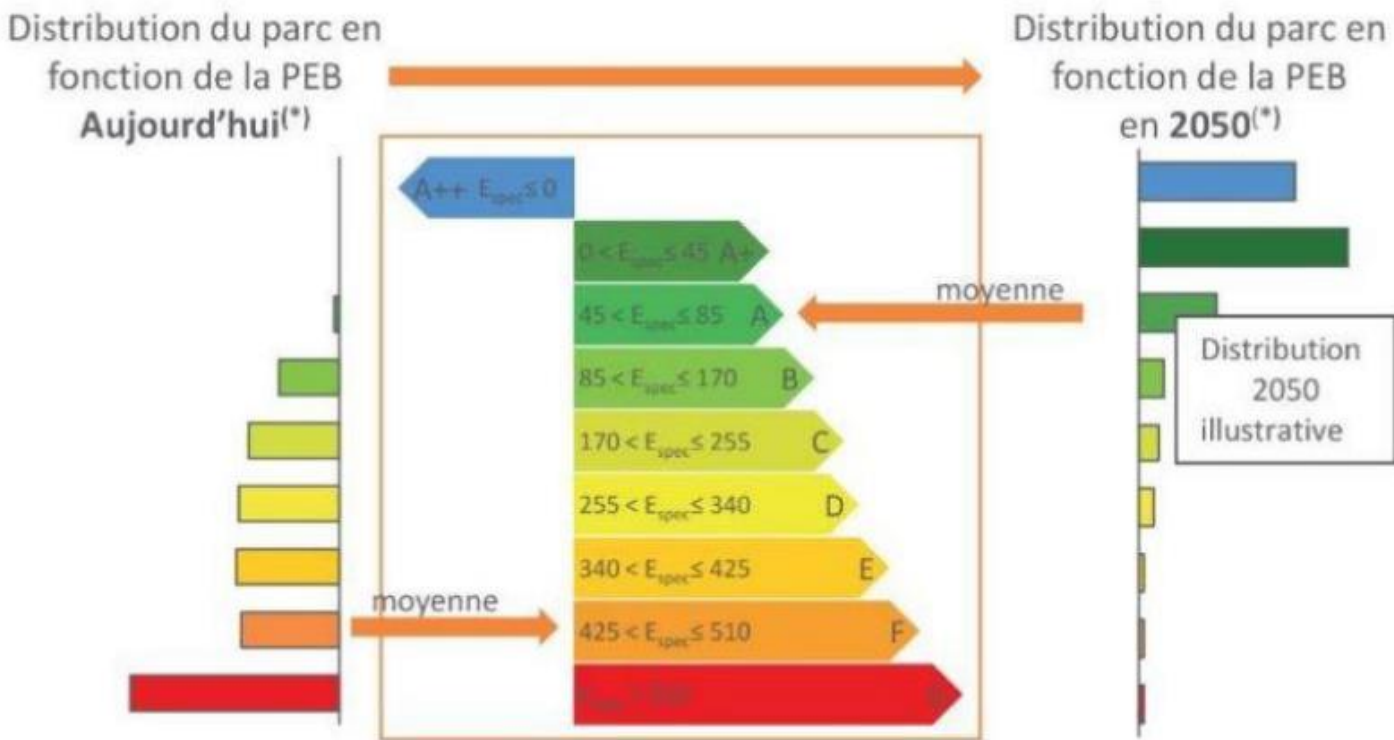
Contexte : Ambitions wallonnes pour le secteur de la construction



Répartition géographique du bâti en Belgique, par année de construction
Source: Géographie KULeuven & UCL. Analyse & cartographie : INS - ESE, Belgium



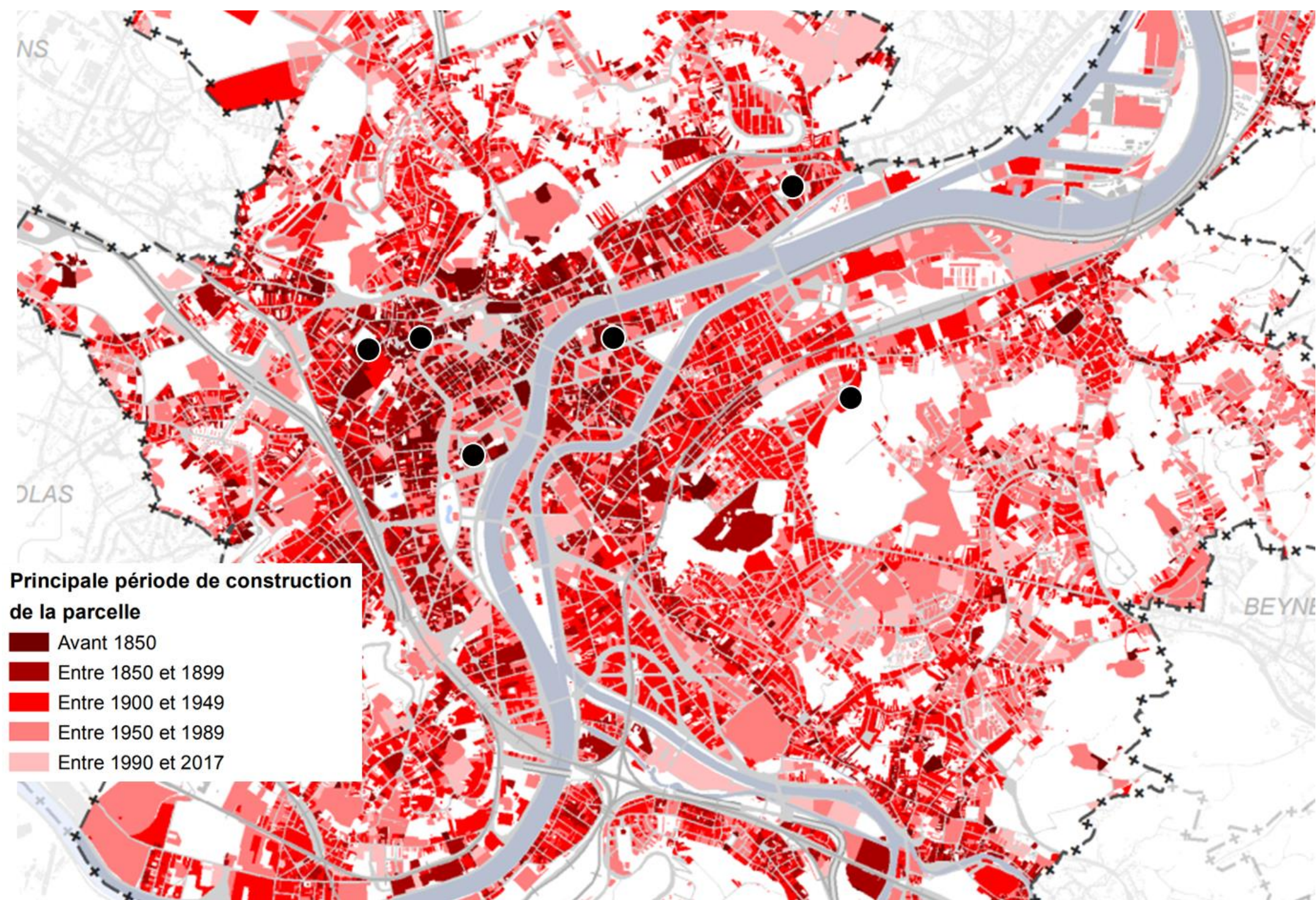
Répartition numérique du parc bâti wallon, par année de construction
Source: <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/gw-201112-strategie-renovation-2020-rapport-complet-final.pdf?ID=60498>



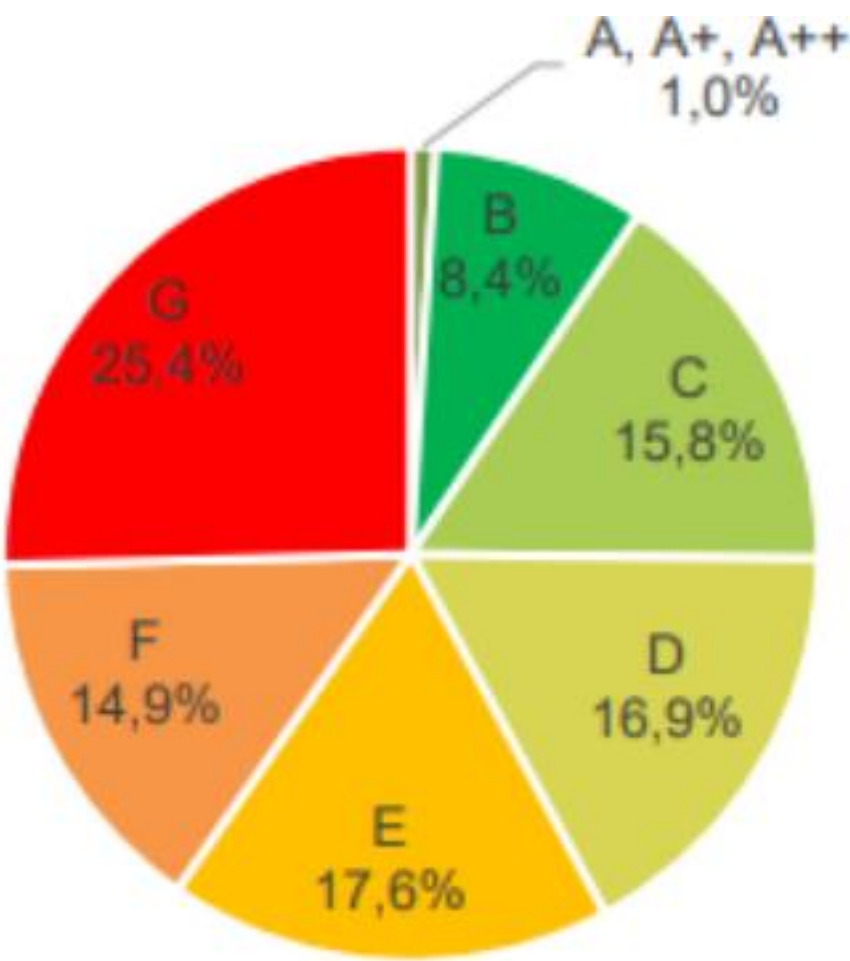
(*) Englobe les performances de l'enveloppe, des systèmes et la production SER

Objectif long terme pour la performance énergétique des bâtiments.
Source : SPW - DGO4 - Direction des Bâtiments Durables, Avril 2017, Stratégie wallonne de rénovation énergétique à long terme du bâtiment

Contexte : Le parc bâti liégeois



Age du bâti de la ville de Liège (2017)
Source : Ville de Liège - SPF AGDP 2015, Cellule Cartographie - HB/MD Ville de Liège - Département de l'Urbanisme

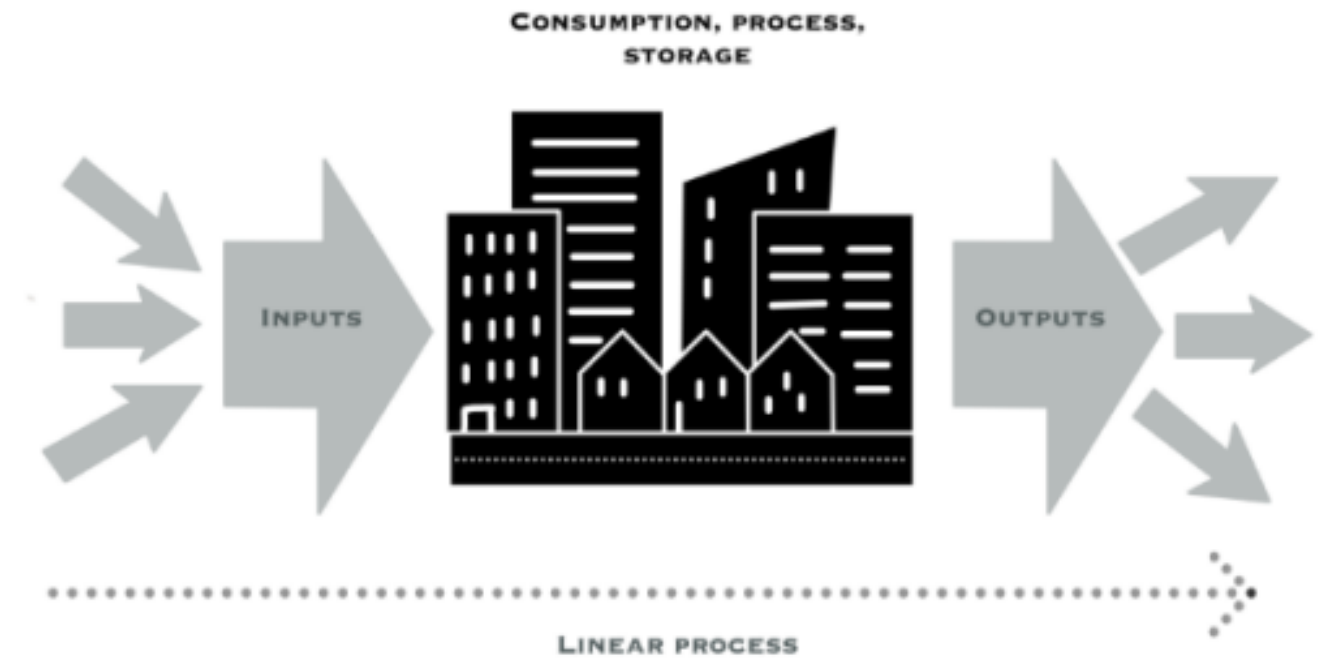


Proportion des différents labels énergétiques pour la province de Liège en 2018
Source : ANFRIE, MAJCHER, & KRYVOBOKOV (2019)

Contexte : Inscrire les réhabilitations dans une approche d'*Urban mining*

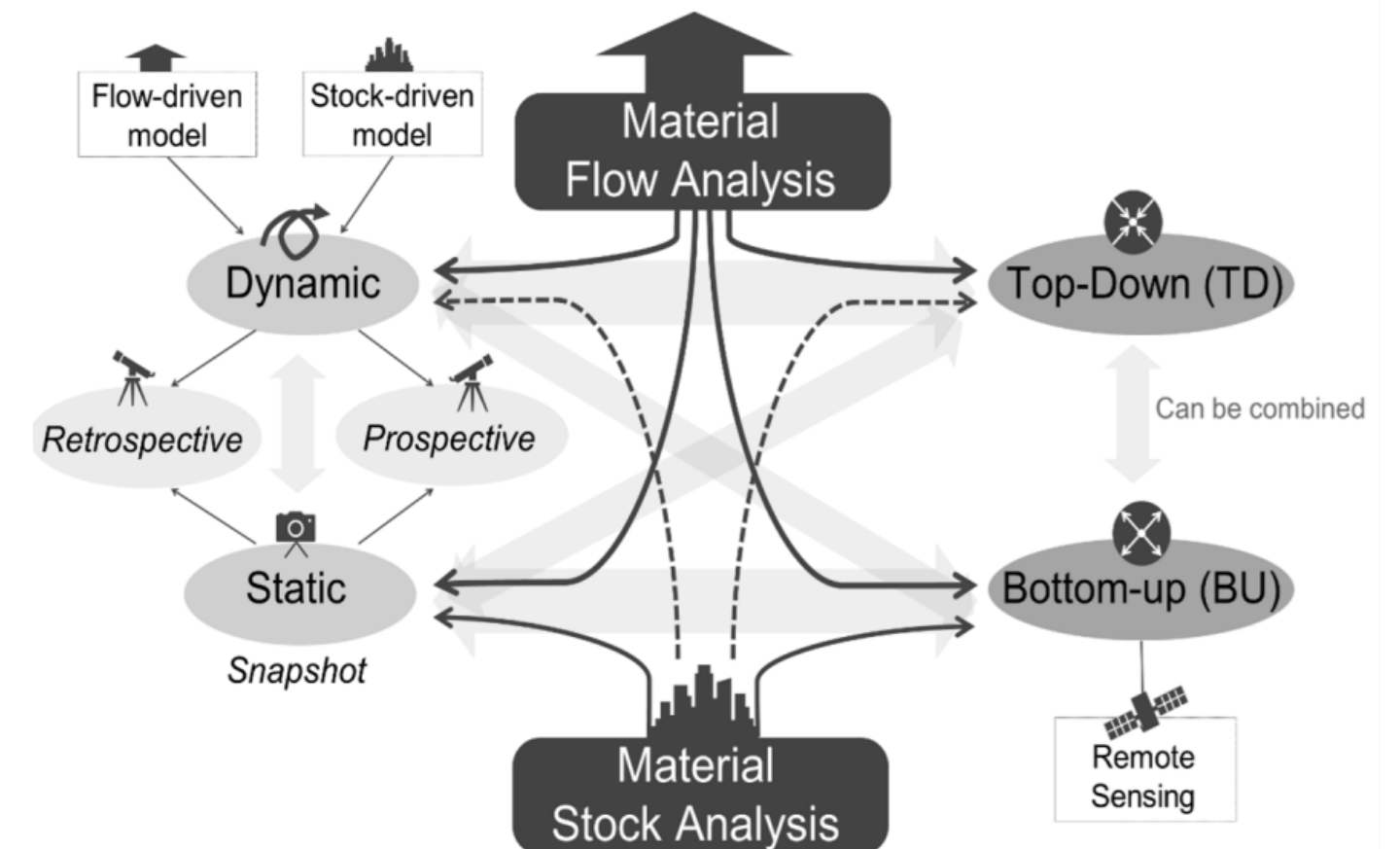
Objectifs **Urban Mining** :

- 01.** Eviter que des ressources potentielles ne soient éliminées sous forme de déchets;
- 02.** Réduire la pression sur les ressources naturelles en prolongeant le cycle de vie des matériaux déjà extraits;
- 03.** Stimuler le développement d'activités économiques locales liées à l'exploitation de la « mine urbaine ».



Métabolisme urbain

Source : Gobbo, E. (2021). Understanding Urban Stocks (No. UCL-Université Catholique de Louvain).



Source : Gobbo, E. (2021). Understanding Urban Stocks (No. UCL-Université Catholique de Louvain).

OBJECTIFS ET ETAPES MÉTHODOLOGIQUES

Objectifs du projet

1

Développement d'une méthode
d'acquisition rapide de données fines



Permet d'**inventorier** et **quantifier** le gisement de matériaux de construction composant le parc **bâti ancien liégeois**, y compris leur assemblage et la réversibilité de ceux-ci.

2

Production d'une comptabilité
théorique



Basée sur plusieurs scénarios, des différentes fractions de déchet produites lors de démolitions ou **réhabilitations** et l'identification des filières de valorisation, existantes ou à créer, à proximité de la ville de Liège.

Définitions

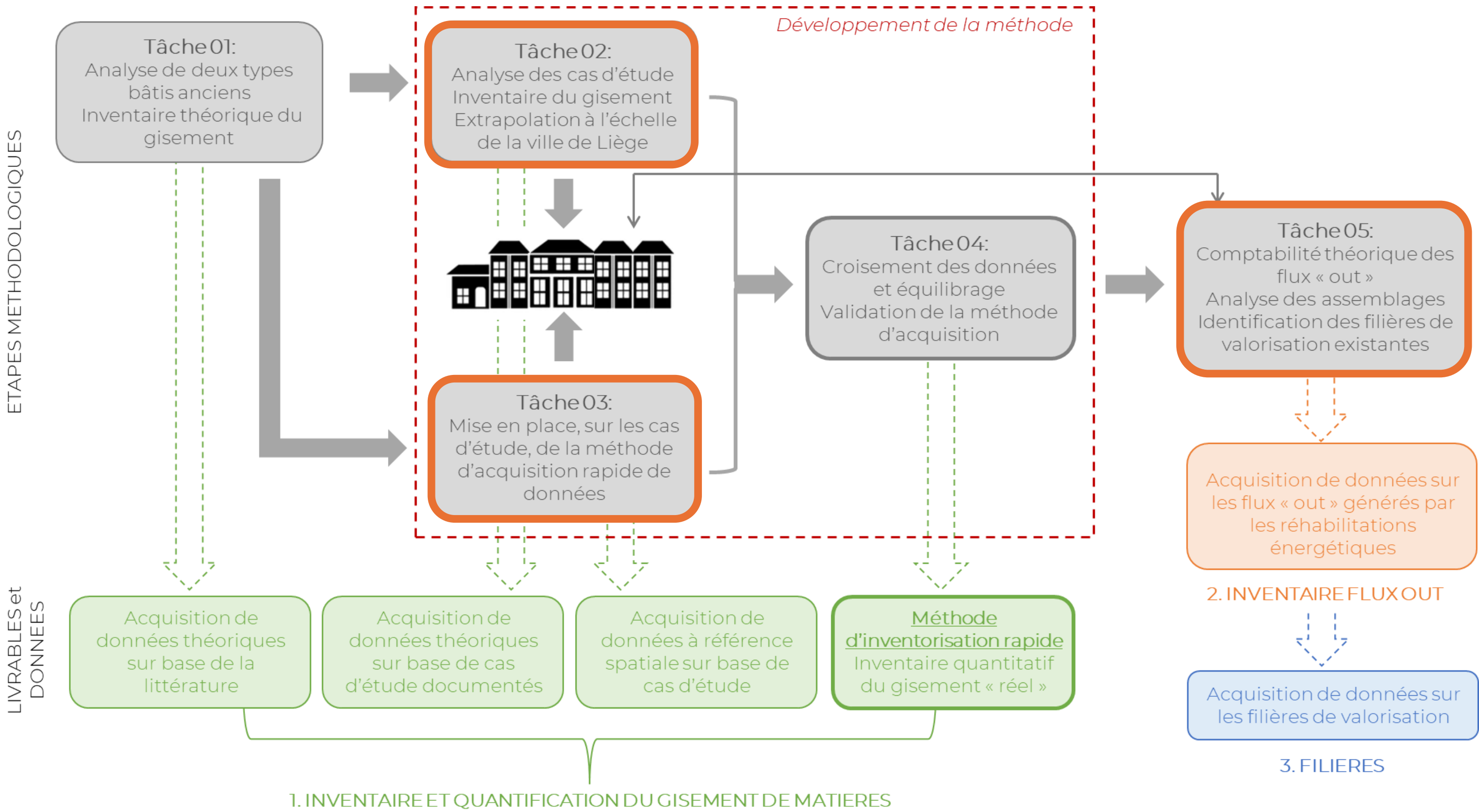
Inventorier = fournir des données qualitatives (nature, assemblage, état de dégradation...) sur les matériaux d'origine en présence

Quantifier = fournir des données quantitatives et estimatives sur les matériaux en présence et les flux générés par les opérations de réhabilitation, tant en masse qu'en volume

Bâti ancien liégeois = parc résidentiel construit avant 1919. Celui-ci représente environ 30% du parc wallon et 53% du parc liégeois

Réhabilitation = toute opération d'amélioration énergétique visant à atteindre les exigences wallonnes

Etapes méthodologiques



Cas d'études



Cas 01

Deux maisons classées, propriété de la Région Wallonne, présentant de nombreux vestiges des **XIII^e, XIV^e et XVI^e s.** : façades en moellons de grès houiller, calcaire de Meuse et tuffeau, charpente du XIV^e s. et en intérieur, de nombreux pans de bois et enduits peints du XIV^e au XIX^e s.



Cas 02

Maison forte classée du **XVI^e s.** Appartenant à un propriétaire privé, c'est un bâtiment « 4 façades » non restauré mais assez authentique, en pierre et grès houiller.



Cas 03

Bâtisse classée appartenant à un propriétaire privé. Construite en pan-de-bois en 1509, elle a subi plusieurs agrandissements et modifications (avec des modes constructifs différents) entre le **XVII^e et le XIX^e s.**

Cas d'études



Cas 04

Bâtiment implanté sur le site Fonck, en briques et pierres calcaires édifié au **XVIII^e s.**, remanié au **XIX^e s.** Ce bâtiment, bien qu'à vocation militaire présente un caractère spécifiquement mosan et est constitué des matériaux et systèmes constructifs représentatifs du bâti résidentiel des XVIII^e et XIX^e s.



Cas 05

Maison bourgeoise construite en **1895**, modifiée légèrement en **1922**. Elle constitue un exemple représentatif du bâti résidentiel mitoyen de la seconde moitié du XIX^e s. et du début du XX^e s.



Cas 06

Propriété du Logis Social de Liège, est un bâtiment construit en **1898**. Bien qu'à vocation militaire, ce bâtiment a subi très peu de transformations et est constitué des matériaux et systèmes constructifs représentatifs de l'art de bâtir durant la deuxième moitié du XIX^e s.

TÂCHE 02 : ANALYSE DU GISEMENT DE MATIÈRES EXISTANT

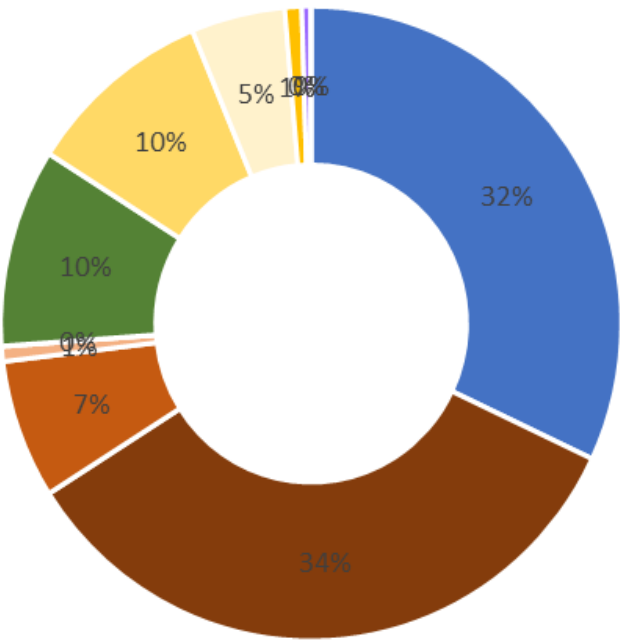
Tâche 02 : Analyse du gisement matières existant

Cas 01 : Place Emile Dupont Ensemble du bâtiment

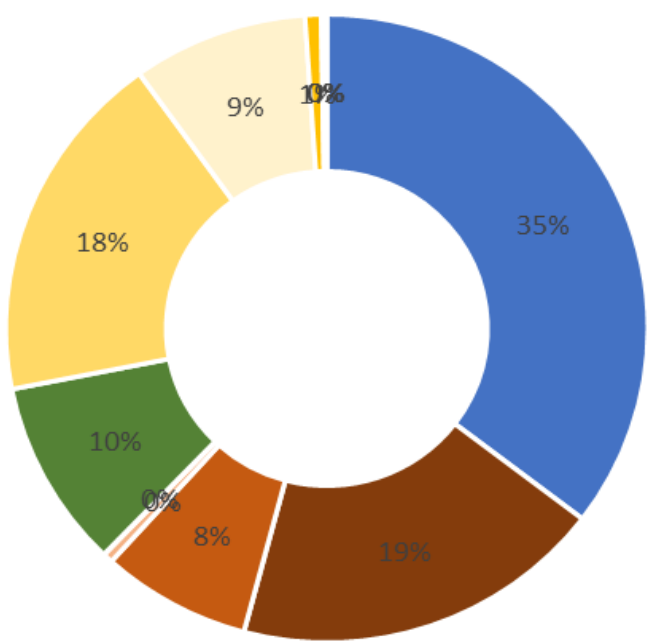


Type de matières	Fraction	Masse totale (kg)	Volume total (kg)
Brique terre cuite	Terre cuite	307063,60	227,45
Pierre de Vinalmont - calcaire de Meuse	Pierre naturelle	293531,47	108,96
Tuffeau	Pierre naturelle	67935,62	48,53
Grès houiller	Pierre naturelle	7297,20	3,24
Pierre bleue	Pierre naturelle	220,23	0,08
Mortier/enduit/plafonnage de chaux	Mortier	93775,14	60,19
Bois structurel	Bois	93488,75	116,86
Bois non-structurel	Bois	46878,36	56,83
Torchis	Organique, naturel	8456,72	5,29
Ardoises fibro-ciment	Amiante	4466,34	1,60
Membrane EPDM	Matières plastiques	177,12	0,14

Répartition des masses par nature de matériau (kg) pour l'ensemble des parois



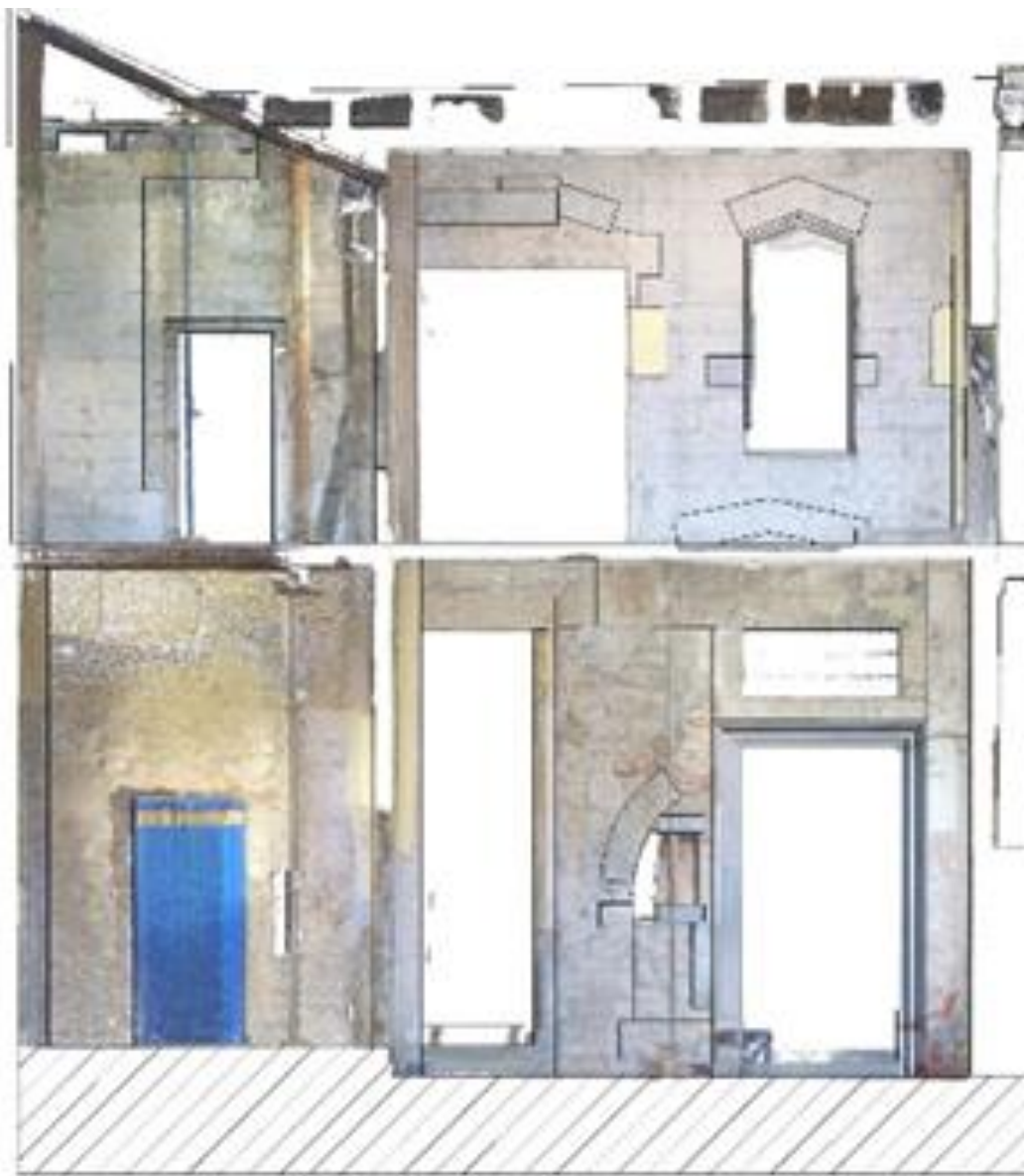
Répartition des volumes par nature de matériau (m³) pour l'ensemble des parois



- Brique terre cuite
- Pierre de Vinalmont - calcaire de Meuse
- Tuffeau
- Grès houiller
- Pierre bleue
- Mortier/enduit/plafonnage de chaux
- Bois structurel
- Bois non-structurel
- Torchis
- Ardoises fibro-ciment
- Membrane EPDM

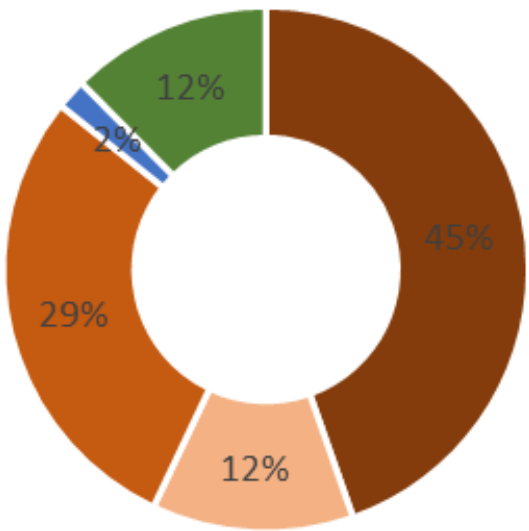
Tâche 02 : Analyse du gisement matières existant

Cas 01 : Place Emile Dupont Paroi spécifique (façade intérieure)

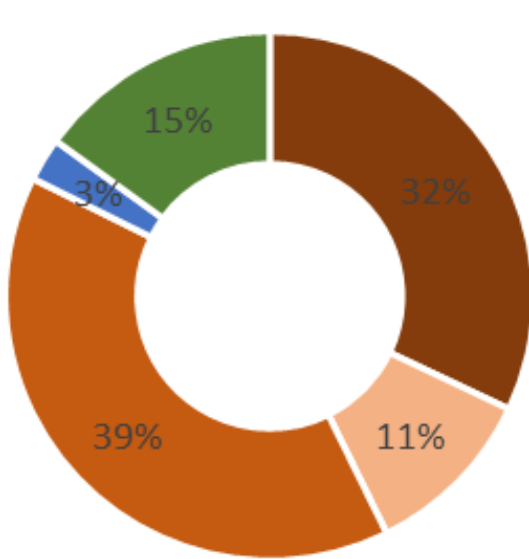


Matériaux	Masse totale (kg)	Volume total (kg)
Pierre de Vinalmont - calcaire de Meuse	26205,66	9,73
Grès houiller	7297,20	3,24
Tuffeau	16840,88	12,03
Brique terre cuite	1094,58	0,81
Mortier de chaux	7288,32	4,56

Répartition des masses totales par nature de matériaux dans la façade intérieure (kg)



Répartition des volumes totaux par nature de matériaux dans la façade intérieure (m³)



- Pierre de Vinalmont - calcaire de Meuse
- Grès houiller
- Tuffeau
- Brique terre cuite
- Mortier de chaux

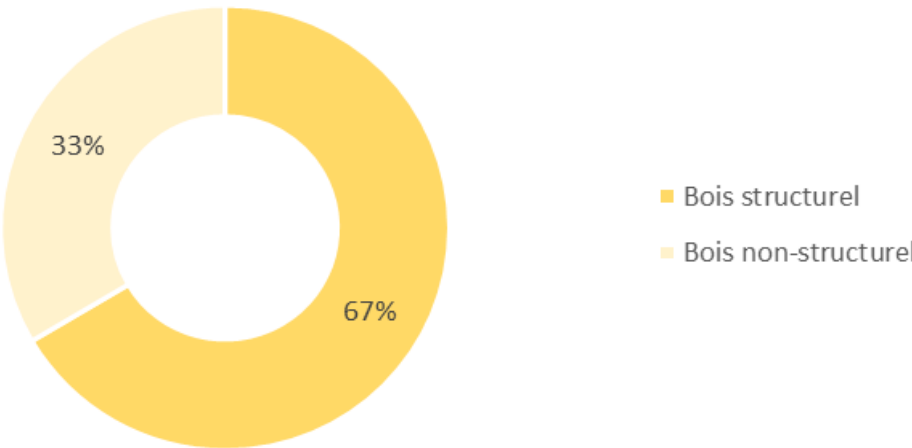
Tâche 02 : Analyse du gisement matières existant

Cas 01 : Place Emile Dupont Bois et pierres

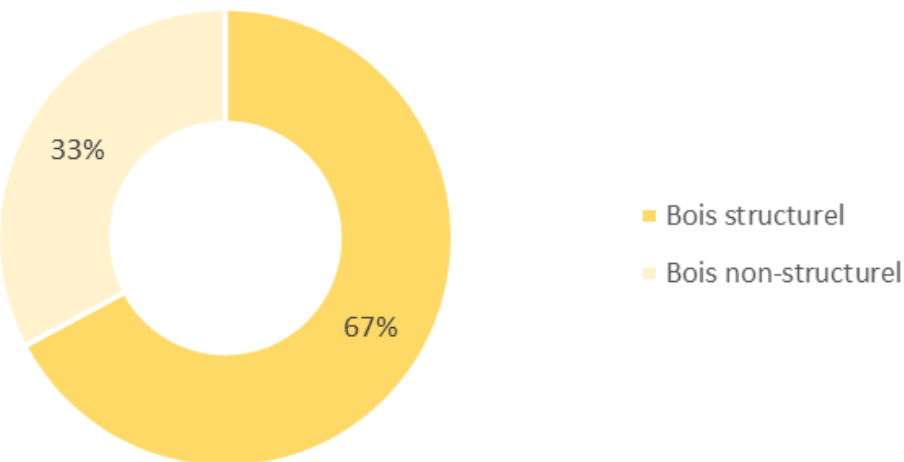


Bois	Masse totale (kg)	Volume total (kg)
Bois structurel	93488,75	116,86
Bois non-structurel	47054,18	57,05

Répartition des masses totales par fonction de bois (kg)

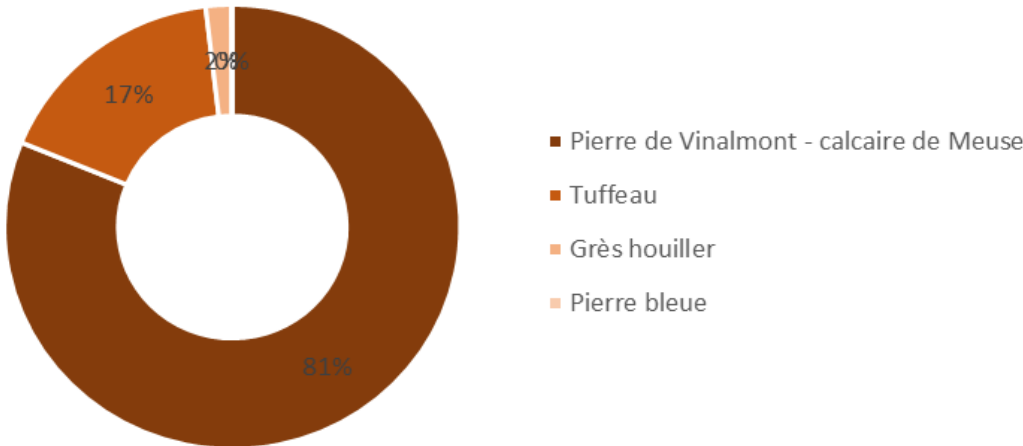


Répartition des volumes totaux par fonction de bois (m³)

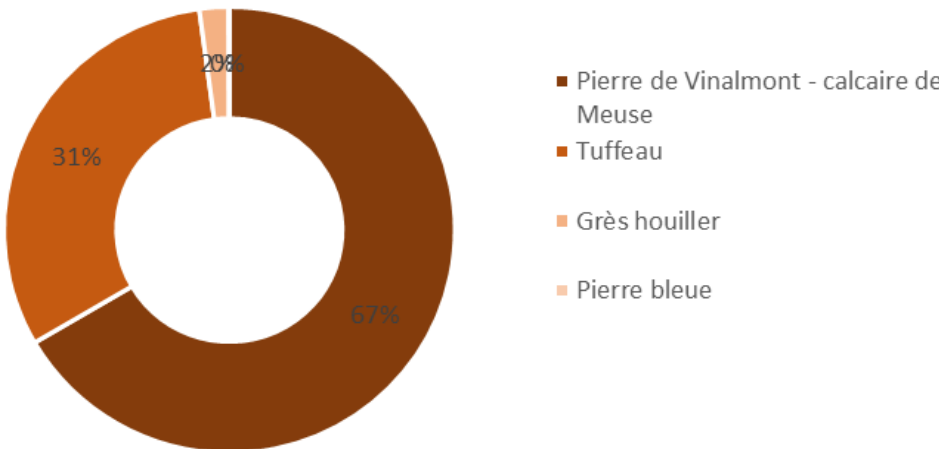


Pierres	Masse totale (kg)	Volume total (kg)
Pierre de Vinalmont - calcaire de Meuse	293699,98	91,33
Tuffeau	67935,62	48,53
Grès houiller	7297,20	3,24
Pierre bleue	220,23	0,08

Répartition des masses totales par nature de pierres (kg)



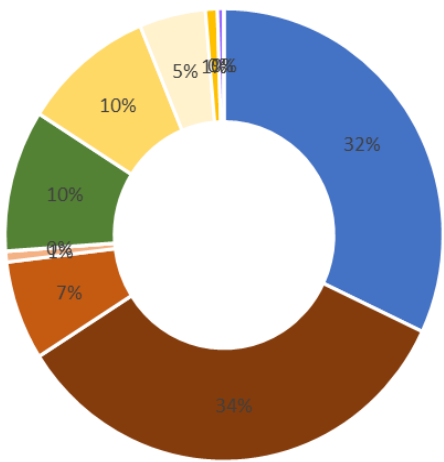
Répartition des volumes totaux par nature de pierres (m³)



Tâche 02 : Analyse du gisement matières existant



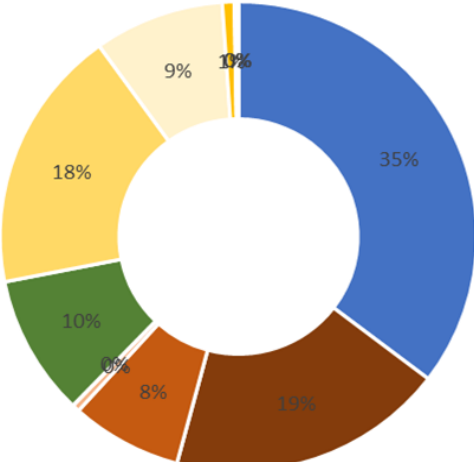
Cas 01 – classé
13/14^e siècle
Place Emile-Dupont 9



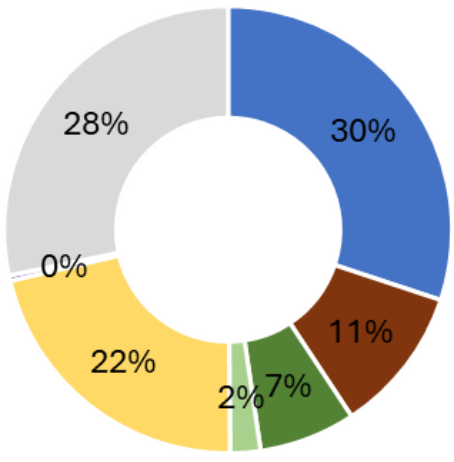
Cas 01



Cas 02 - classé
16^e siècle
Rue Saint-Léonard 535



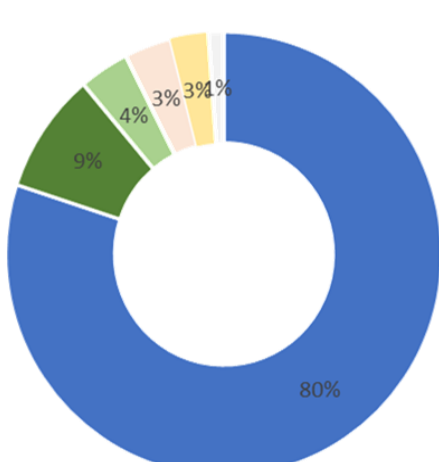
Cas 03 - classé
16^e siècle
rue Mont St Martin, 54



Cas 03



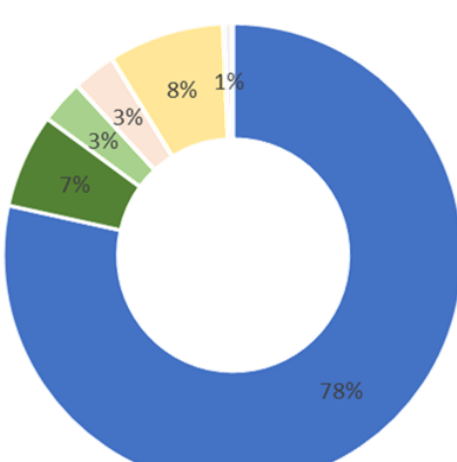
Cas 04
17 / 18^e siècle
Blvd de la Constitution



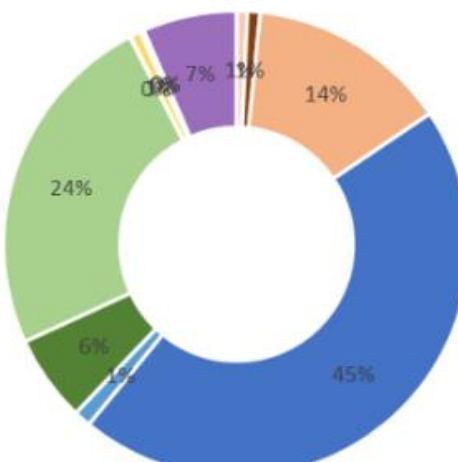
Cas 05



Cas 05
19^e siècle
Rue Saint-Laurent 53



Cas 06
19^e siècle
Rue Trou Louette



Cas 06

Bois structurel Bois non-structurel Isolation Etanchéité Enduit à la chaux Plâtre Enduit à l'argile Brique terre cuite Mortier de chaux Tuiles de terre cuite Revêtement de sol Ciment Fenêtres/baies

TÂCHE 03 : DÉVELOPPEMENT DE LA MÉTHODE NUMÉRIQUE

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique

Étapes

- ① Méthode numérique proposée
- ② Acquisition des données pour l'entraînement de l'IA
- ③ Traitement des images pour l'entraînement de l'IA
- ④ Entraînement de l'IA pour la détection des matériaux
- ⑤ Prédictions de l'IA (matérialité) et calcul des surfaces
- ⑥ Vérification des prédictions et des surfaces

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - ①

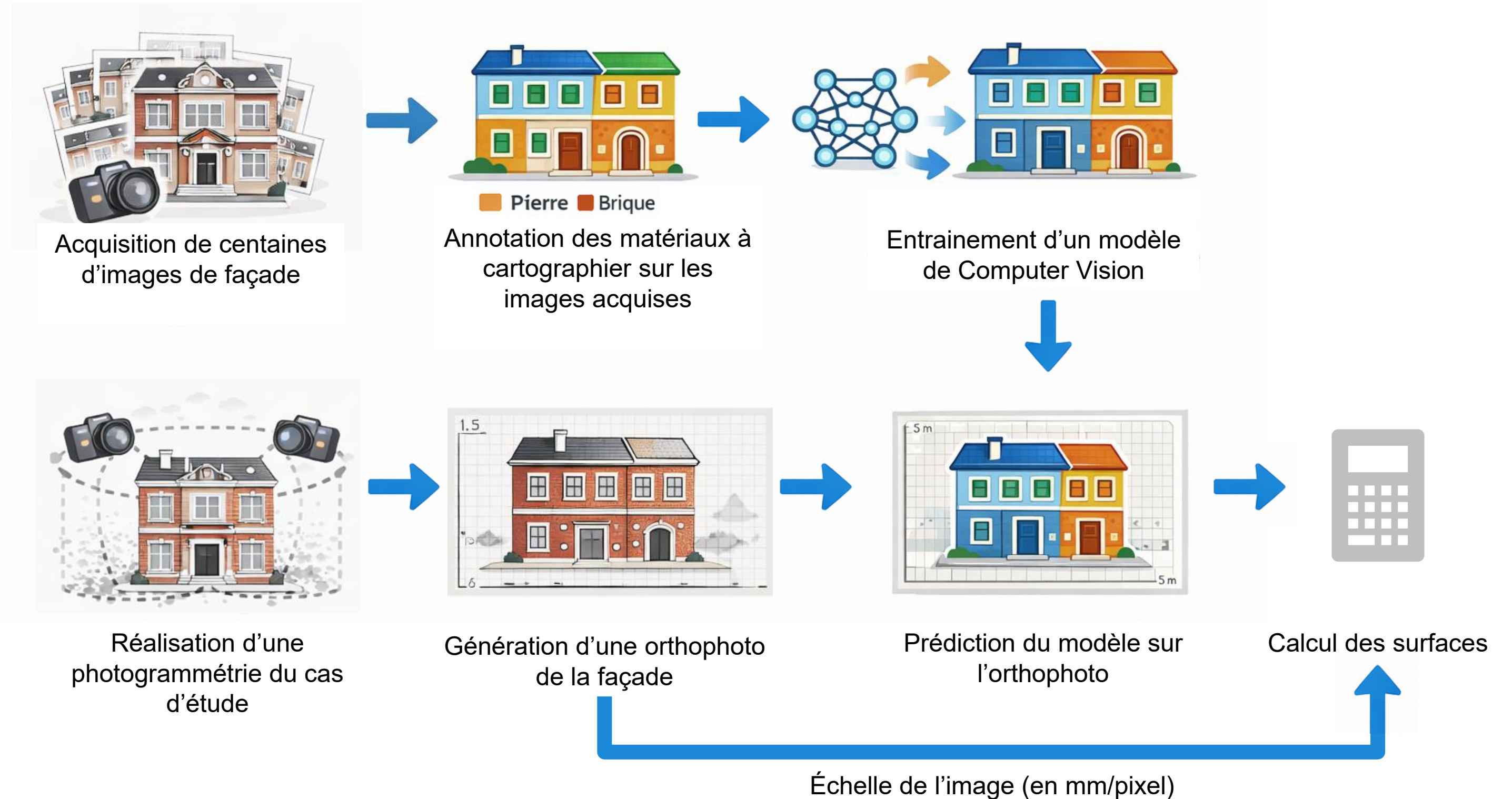
Calcul automatisé des surfaces de matériaux sur une façade du bâti liégeois

Utilisation du **Computer Vision** pour

- Entraîner un modèle d'IA à reconnaître des matériaux
- Utiliser ce modèle pour précisément cartographier ces matériaux sur une façade

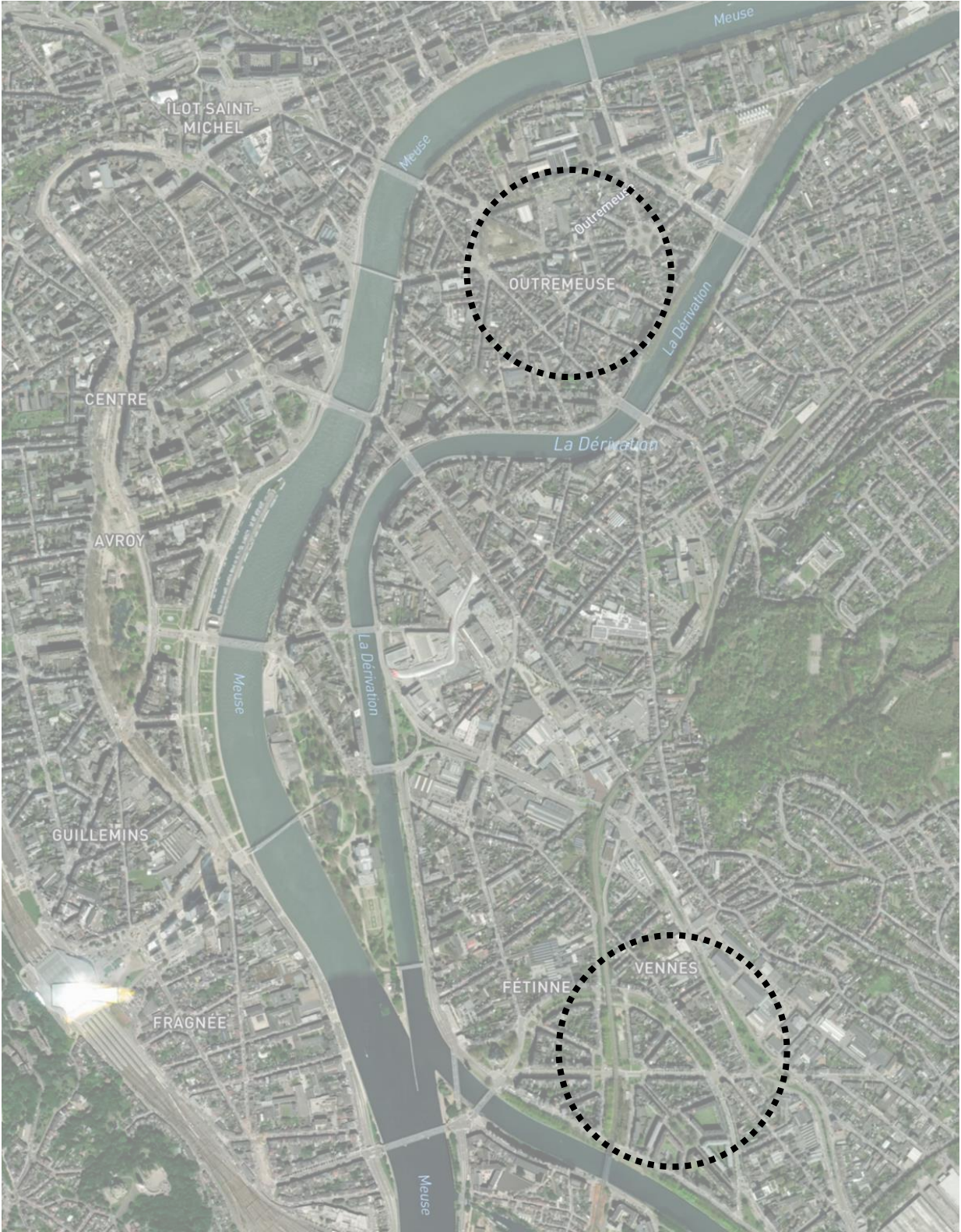
et de la **photogrammétrie** pour

- Créer des modèles 3D des cas d'étude
- Générer des orthophotos, images corrigées géométriquement pour supprimer les déformations dues à la perspective



Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - ②

Zone géographique des images d'entrainement



Typologie relevée (maison bourgeoise)



Outil utilisé



Nikon Z6

454 images de
6048x4032px

Paramètres :

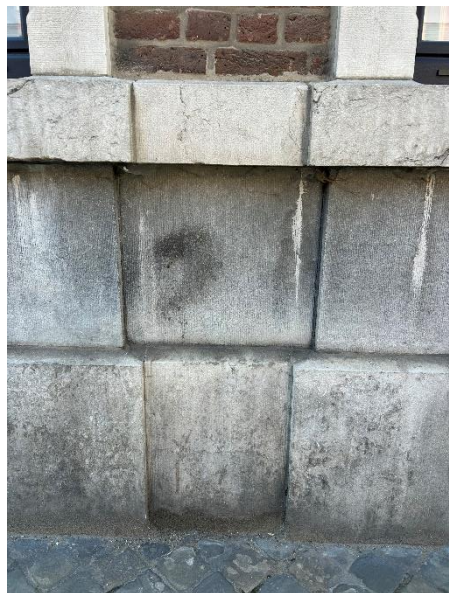
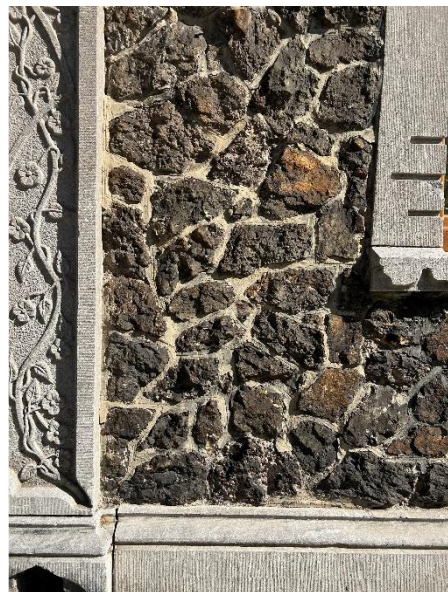
ISO 400
Distance focale 24mm
Ouverture F/8
Temps d'exposition 1/100

Photos réalisées



Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - ③ ④

Différentes classes de matériaux



- Brique 
- Pierre 
- Moellon 
- Baie - Porte 
- Bois 
- Non pertinent 

Brique

Pierre taillée

Moellon

Annotation via  roboflow



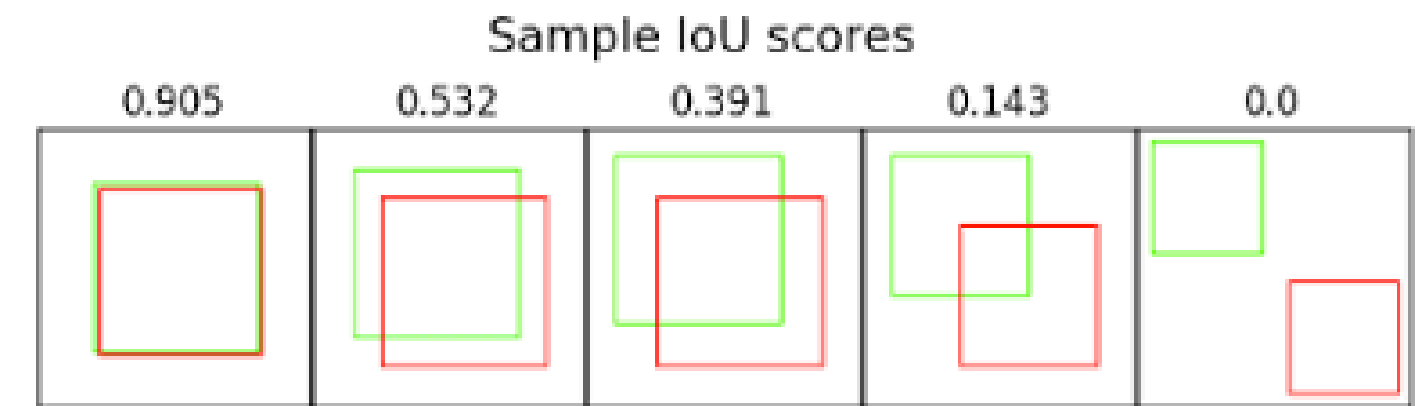
Annotation pour la segmentation sémantique

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - ③ ④

Paramètres de l'entraînement et type de modèle

- **426** sur 454 images sélectionnées et annotées
 - Divisées en set d'entraînement/validation de **346/80**
 - Réduites de 6048px à 640px
- Augmentation du set d'entraînement à **1038** images (346 augmenté de 3x)
 - Retournement horizontal
 - Variation de la luminosité (entre -15% et +15%)
 - Variation teinte des couleurs (entre -15° et +15°)
- Entraînement du modèle **DeepLabV3+**, avec pour base ResNet50V2, capable de segmentation sémantique
- Utilisation de la plateforme **Google Colab**, qui permet des calculs à distance sur des serveurs puissants

Résultats de l'entraînement : score d'Intersection over Union (IoU)



IoU moyen sans arrière-plan : 0.761

IoU moyen avec arrière-plan : 0.789

IoU par classe :

Baie vitrée-Porte : 0.867

Bois : 0.660

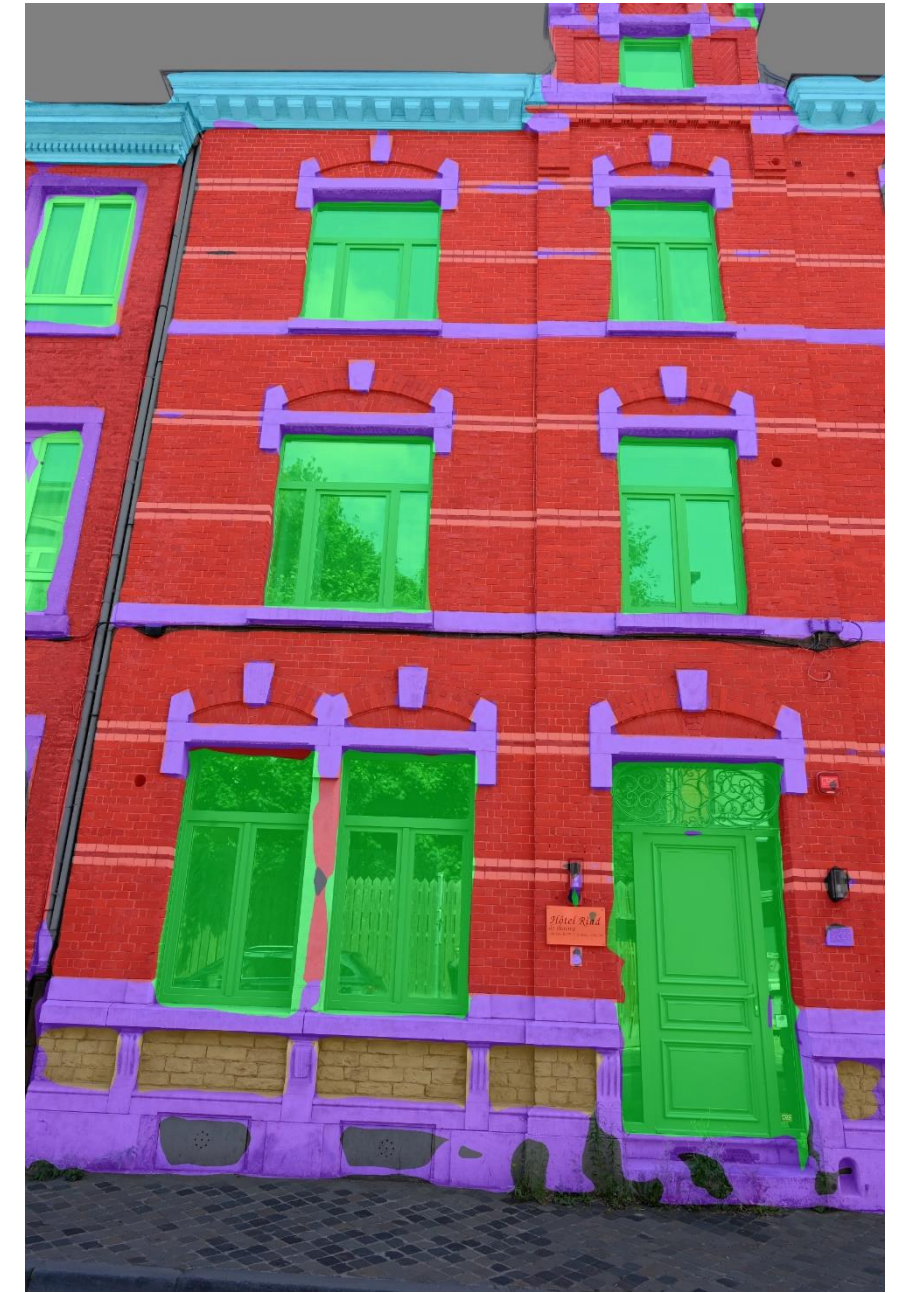
Brique : 0.860

Moellon : 0.684

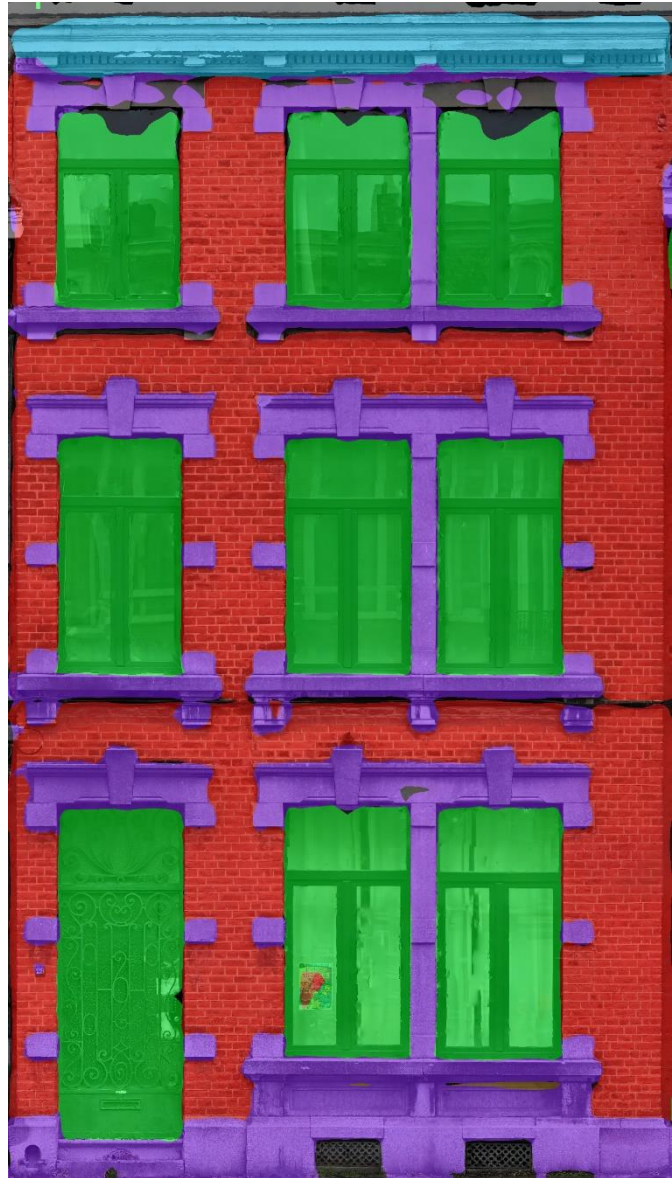
Pierre : 0.732

Arrière-plan : 0.933

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - ③ ④

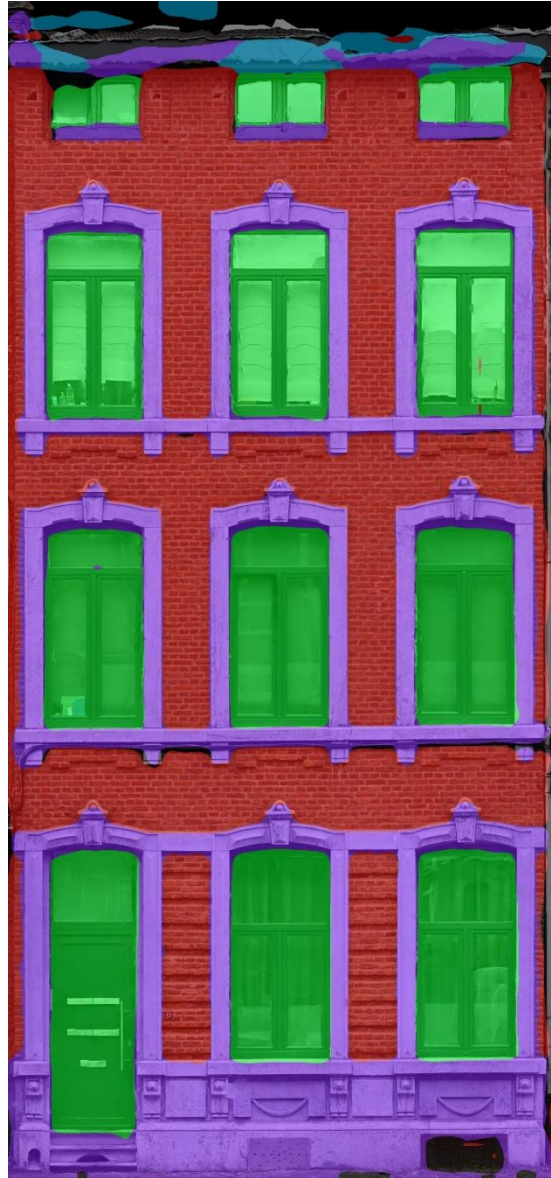


Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - 5 6



Façade 1

	Total	Baies	Bois	Brique	Moellon	Pierre
Façade 7 (n°29)	63	22,6	3,38	21,47	0	15,25
Façade 7 (n°29) IA	61,18	21,31	3,01	21,27	0	15,5
Différence en %	3%	6%	11%	1%	/	-2%

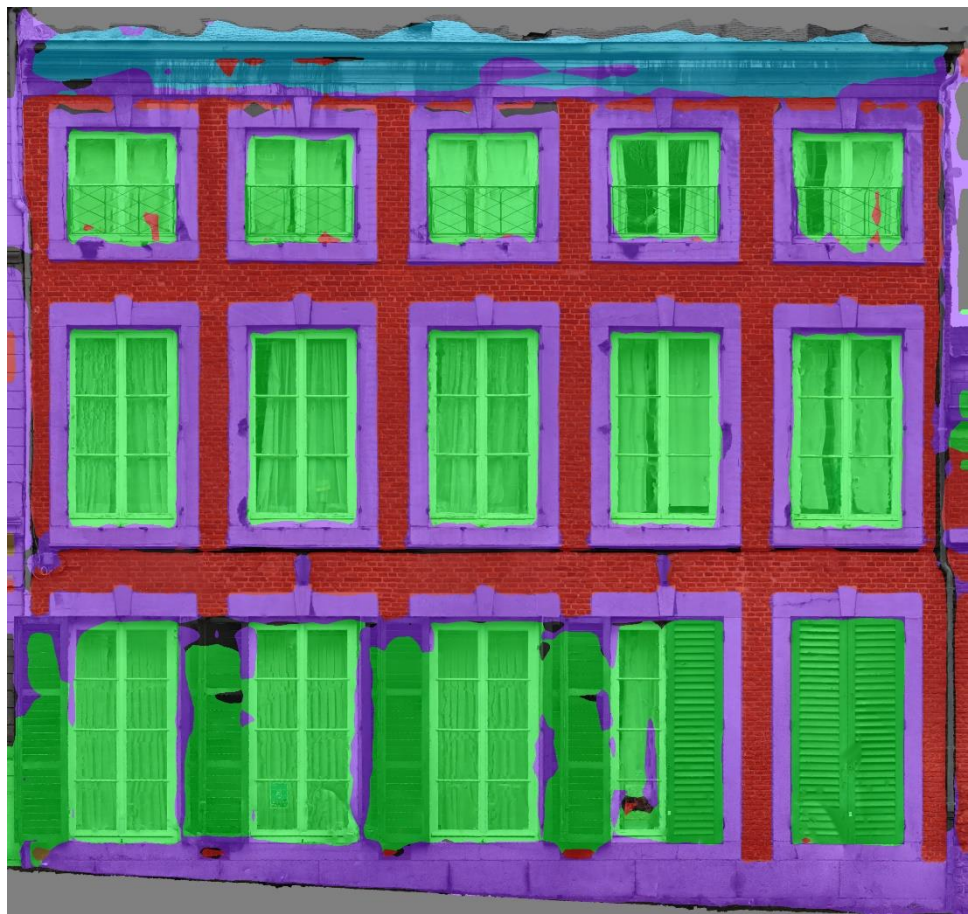


Façade 3

	Total	Baies	Bois	Brique	Moellon	Pierre
Façade 5 (n°13)	78,07	27,37	0	25,18	0	24,89
Façade 5 (n°13) IA	80,35	25,26	1,24	26,58	0	27,26
Différence en %	-3%	8%	/	-6%	/	-10%

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - 5 6

Cas 03 : Mont-Saint-Martin



Façade Mont-Saint-Martin

	Total	Baies	Bois	Brique	Moellon	Pierre
Façade	106,79	40,15	0,00	27,23	0,00	39,41
Façade IA	110,3	44,61	6,15	22,44	0	37,05
Différence en %	-3%	-11%	100%	18%	/	6%

Cas 05 : Saint Laurent



Façade Saint Laurent

	Total	Baies	Bois	Brique	Moellon	Pierre
Façade	105,14	25,12	4,79	39,97	0,00	34,63
Façade IA	103,59	27,76	4,54	35,46	0,03	35,8
Différence en %	1%	-11%	-6%	11%	/	-3%

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique - 5 6

Cas 02 : Saint Léonard



Façade Saint Léonard

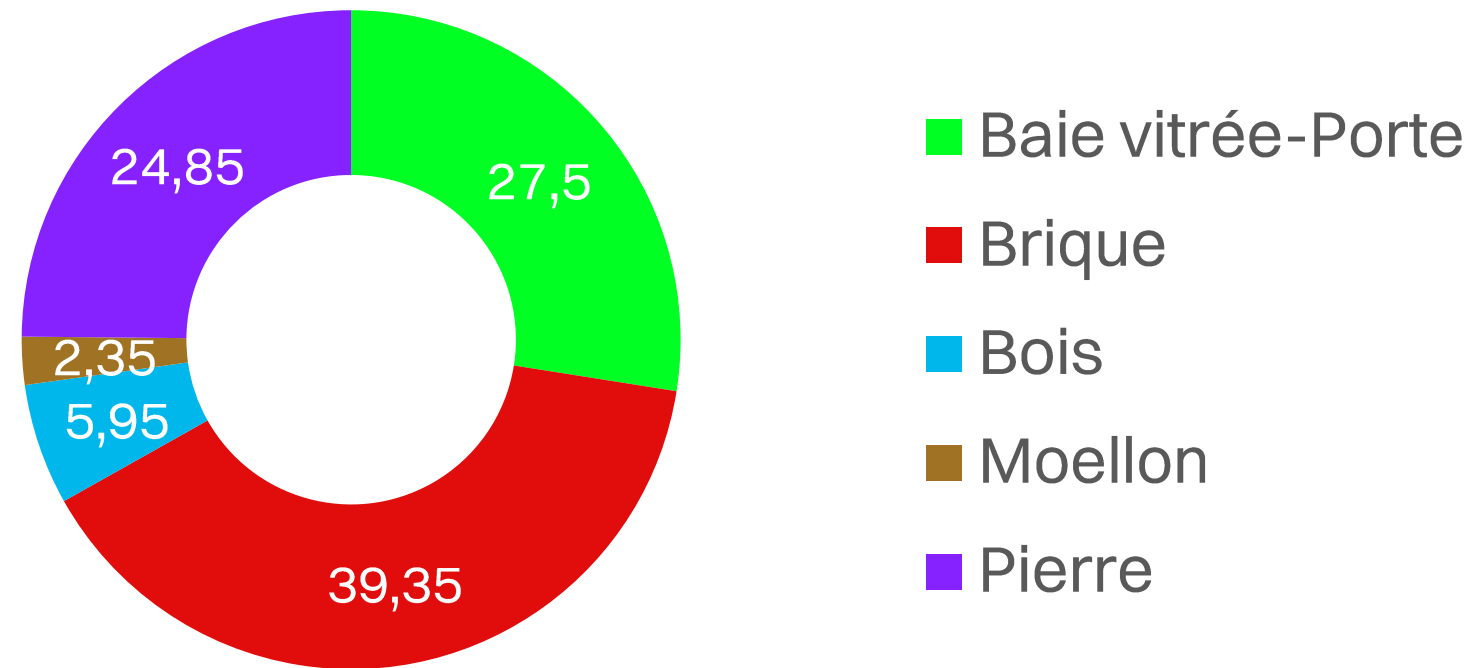
	Total	Baies	Bois	Brique	Moellon	Pierre
Façade	131,44	16,40	0,00	86,75	0,00	28,29
Façade IA	136,83	16,76	0,54	90,06	5,98	23,48
Différence en %	-4%	-2%	100%	-4%	100%	17%

Tâche 03 : Développement de la méthode numérique – perspective d'amélioration

Améliorer la qualité des données

- Modifier les incohérences d'annotation
 - Etendre le jeu de données, principalement pour les classes sous identifiées comme les moellons et bois
- Améliorer les performances du modèle

Répartition des classes dans le dataset (en %)



TÂCHE 05 : SCÉNARIOS DE RÉHABILITATION ET ANALYSE DES FLUX SORTANTS

Tâche 05 : Scénarios de réhabilitation

	Scénario 1 (léger)	Scénario 2 (intermédiaire)	Scénario 3 (lourd)
Façade avant	/	/	Enlèvement des finitions intérieures Isolation intérieure et nouvelles finitions
Façade arrière	Enlèvement des finitions extérieures Isolation extérieure et nouvelles finitions	Enlèvement des finitions extérieures Agrandissement des baies (30 %) Isolation extérieure et nouvelles finitions	Démolition complète de la façade arrière et nouvelle façade avec ossature et finitions en bois
Toiture	Enlèvement de la couverture du toit (réutilisée) Enlèvement du lattage en bois Isolation entre les chevrons avec pare-vapeur, lattage, membrane pare-pluie et finitions intérieures	Enlèvement de la couverture du toit et du lattage en bois Enlèvement de la structure en bois (30 %) Isolation entre les chevrons avec pare-vapeur, membrane pare-pluie et finitions intérieures Nouvelle couverture et lattage	Enlèvement de la couverture du toit et du lattage en bois Enlèvement de la structure en bois (50 %) Isolation extérieure entre la charpente en bois, membrane pare-pluie et finitions intérieures Nouvelle couverture et lattage
Fenêtres	Remplacement des châssis existants par des châssis en bois à double vitrage haute performance	Remplacement des châssis existants par des châssis en bois à double vitrage haute performance	Remplacement des châssis existants par des châssis en bois à double vitrage haute performance
Dalle (sur cave)	/	/	Enlèvement des revêtements de sol, du mortier de nivellement et de l'isolant rigide, puis pose d'un nouveau panneau de chape sèche.

Tâche 05 : Scénarios de réhabilitation

Cas 03 : Mont-Saint-Martin (bien classé)

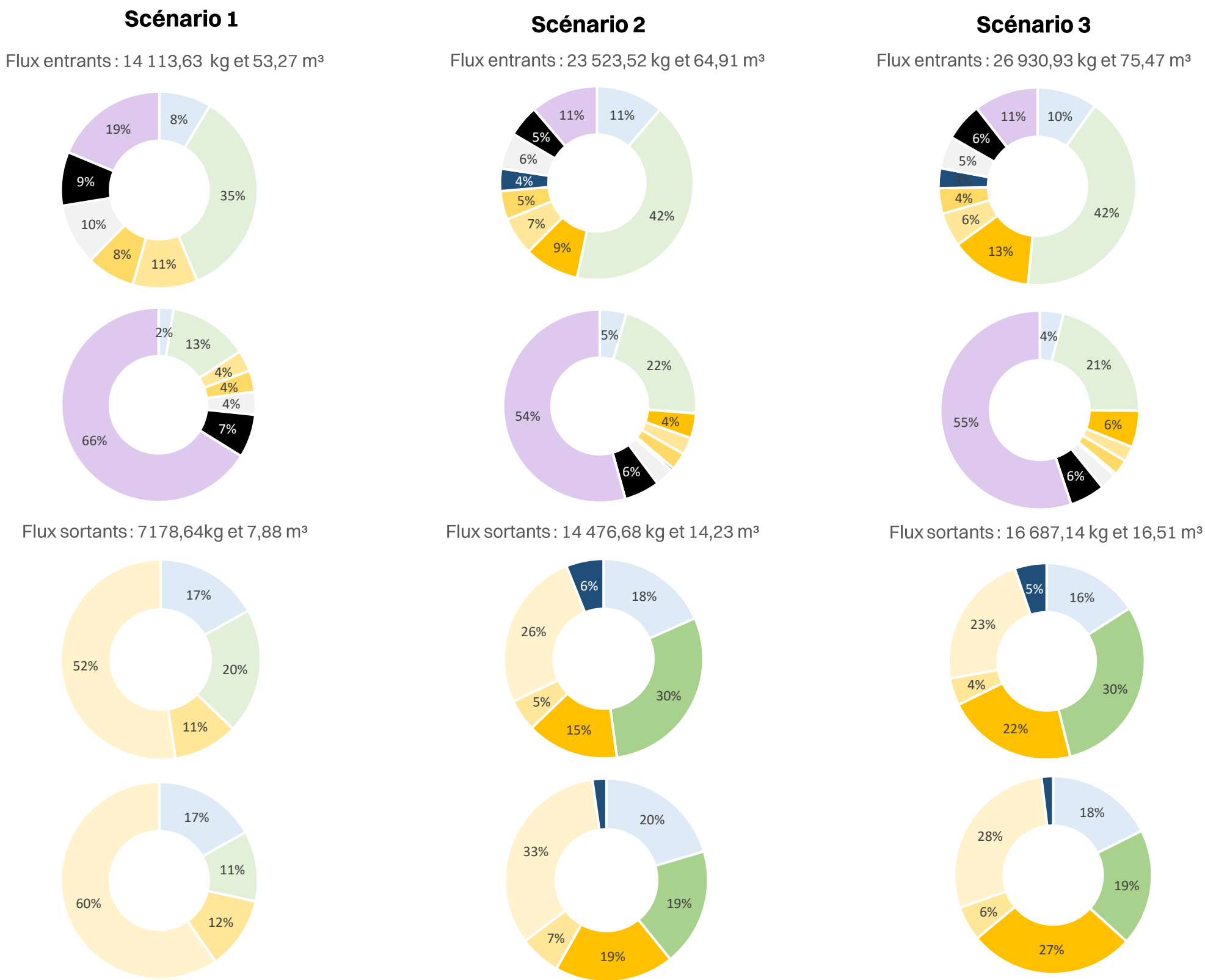


Cas 05 : Saint-Laurent

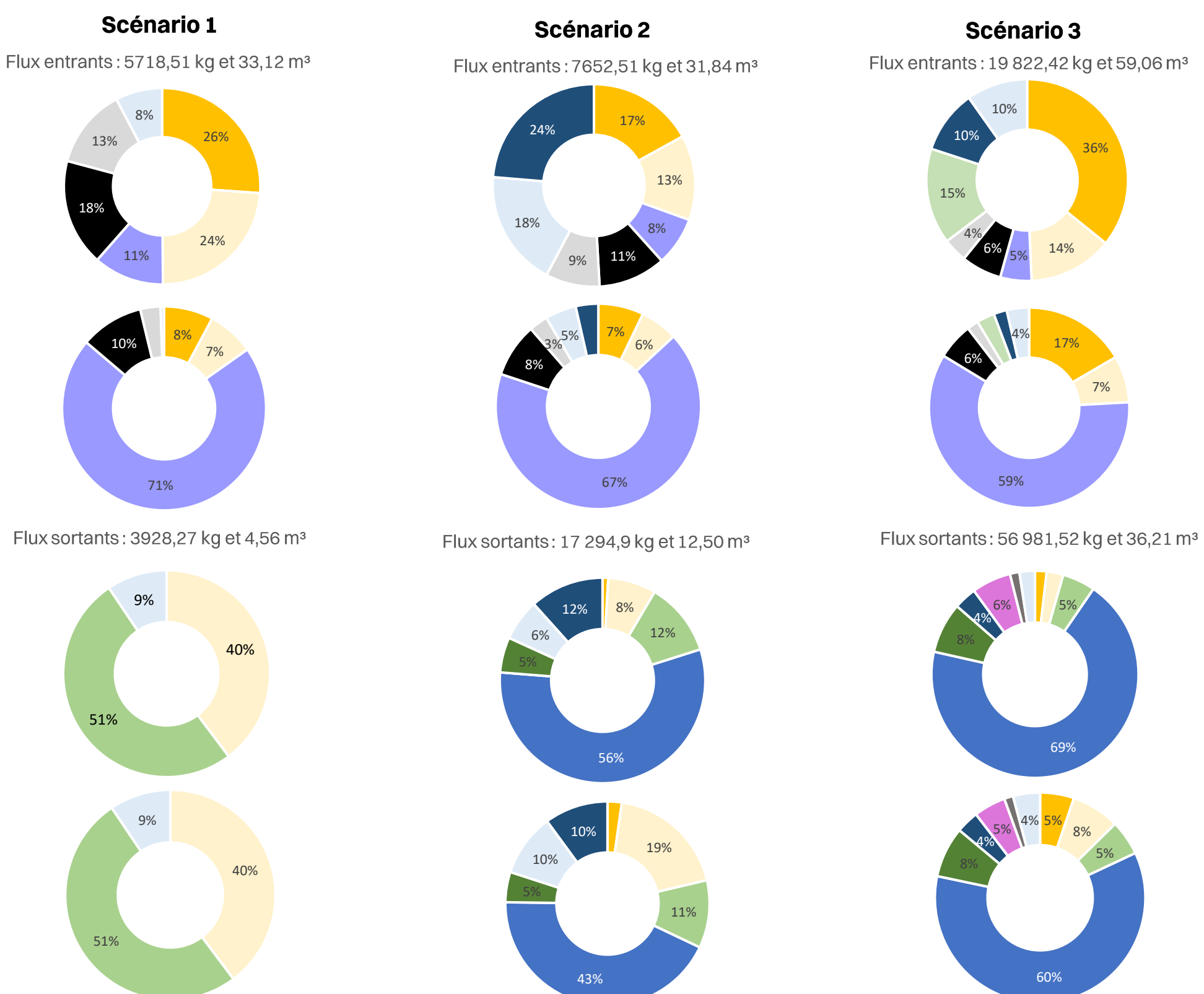


Tâche 05 : Scénarios de réhabilitation

Cas 03 : Mont-Saint-Martin (bien classé)



Cas 05 : Saint-Laurent

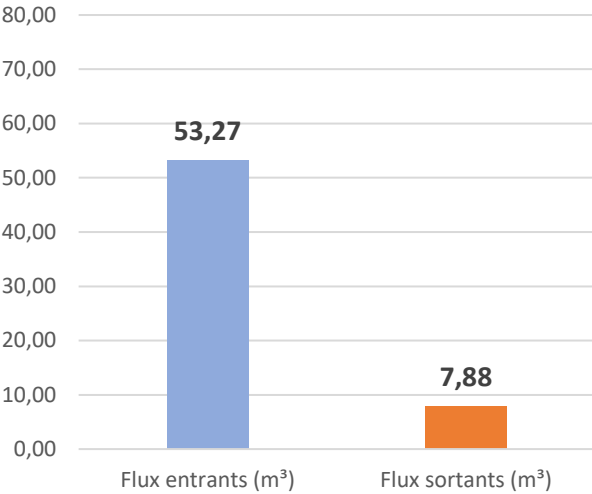


Bois structurel Bois non-structurel Isolation Etanchéité Enduit à la chaux Plâtre Enduit à l'argile Brique terre cuite Mortier de chaux Tuiles de terre cuite Revêtement de sol Ciment Fenêtres/baies

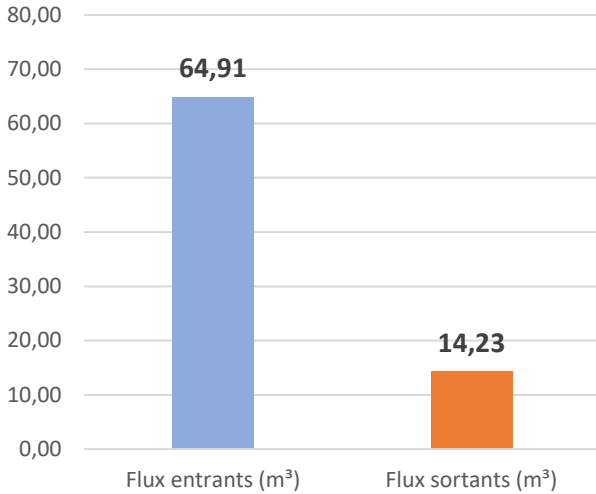
Tâche 05 : Scénarios de réhabilitation

Cas 03 : Mont-Saint-Martin (bien classé)

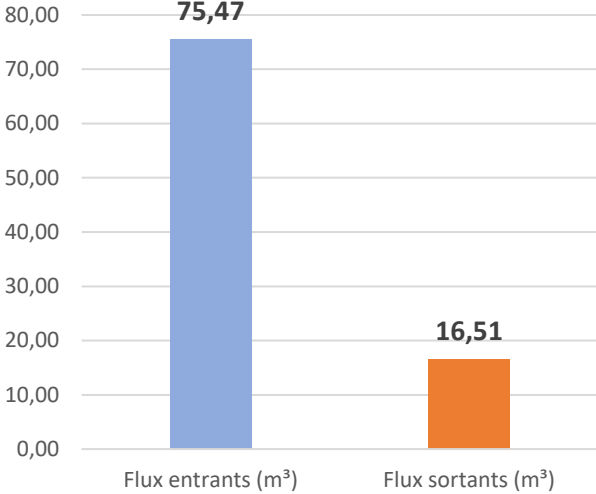
Scénario 1



Scénario 2



Scénario 3



Conteneur 10 m³



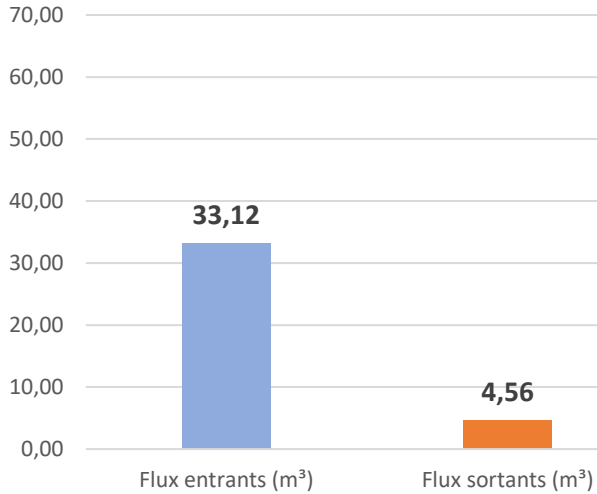
Conteneur 15 m³



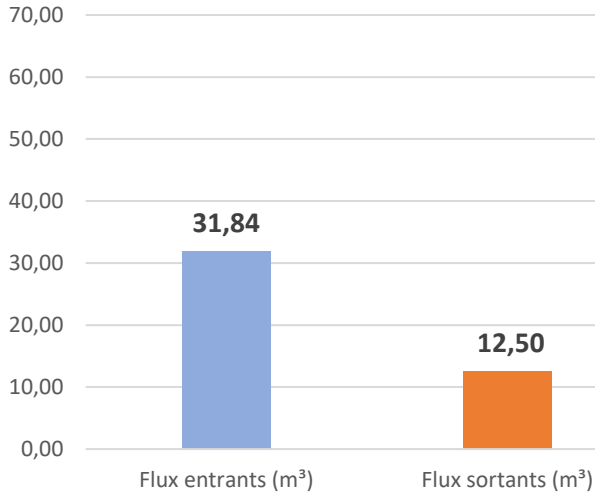
Conteneur 30 m³

Cas 05 : Saint-Laurent

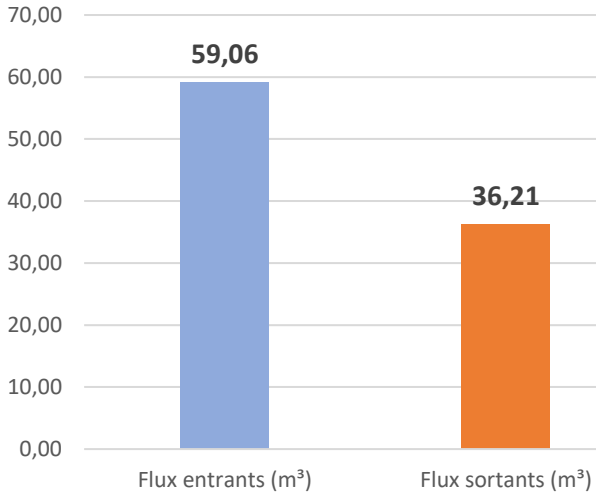
Scénario 1



Scénario 2



Scénario 3



Conteneur 10 m³



Conteneur 15 m³



Conteneur 30 m³



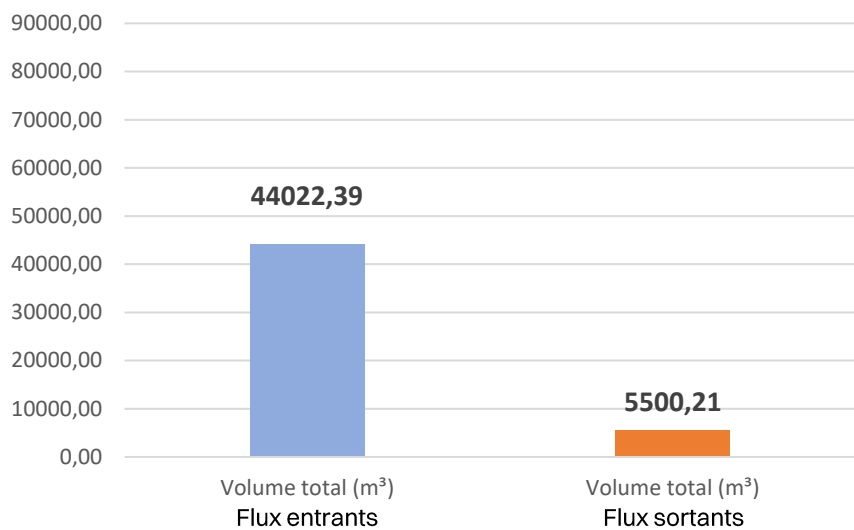
Conteneur 10 m³

Tâche 05 : Scénarios de réhabilitation - extrapolation

Cas 05 : Saint-Laurent
1347 maisons similaires identifiées à Liège



Scénario 1

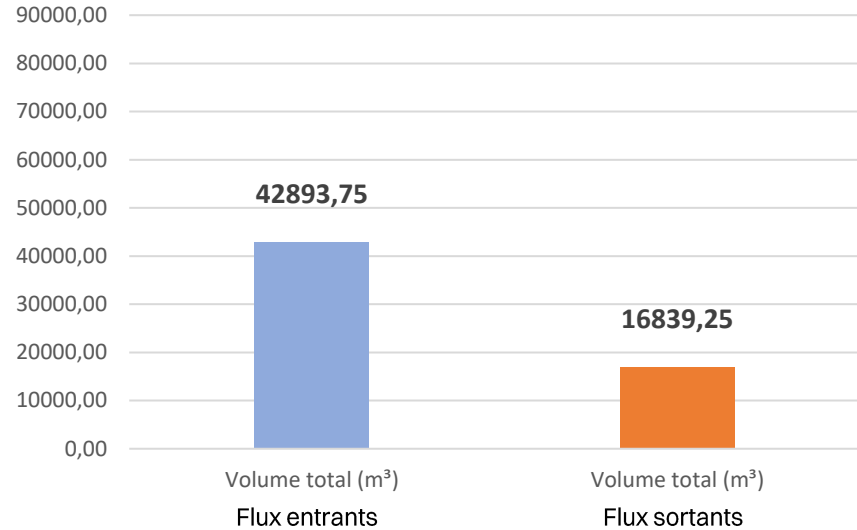


183
X



Conteneur 30 m³

Scénario 2

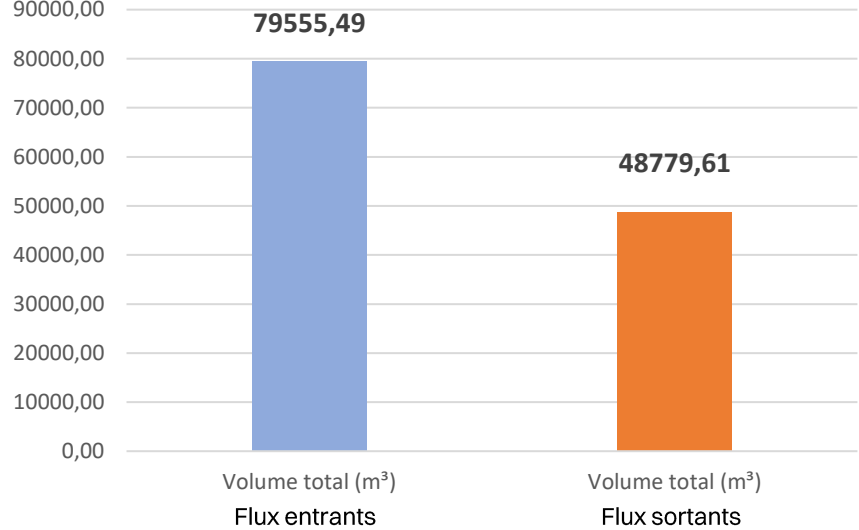


561
X



Conteneur 30 m³

Scénario 3



1625
X



Conteneur 30 m³

CONCLUSION

Conclusion

Cas 05 : Saint Laurent



Façade Saint Laurent

	Total	Baies	Bois	Brique	Moellon	Pierre
Façade	105,14	25,12	4,79	39,97	0,00	34,63
Façade IA	103,59	27,76	4,54	35,46	0,03	35,8
Différence en %	1%	-11%	-6%	11%	/	-3%

Objectifs Urban Mining :

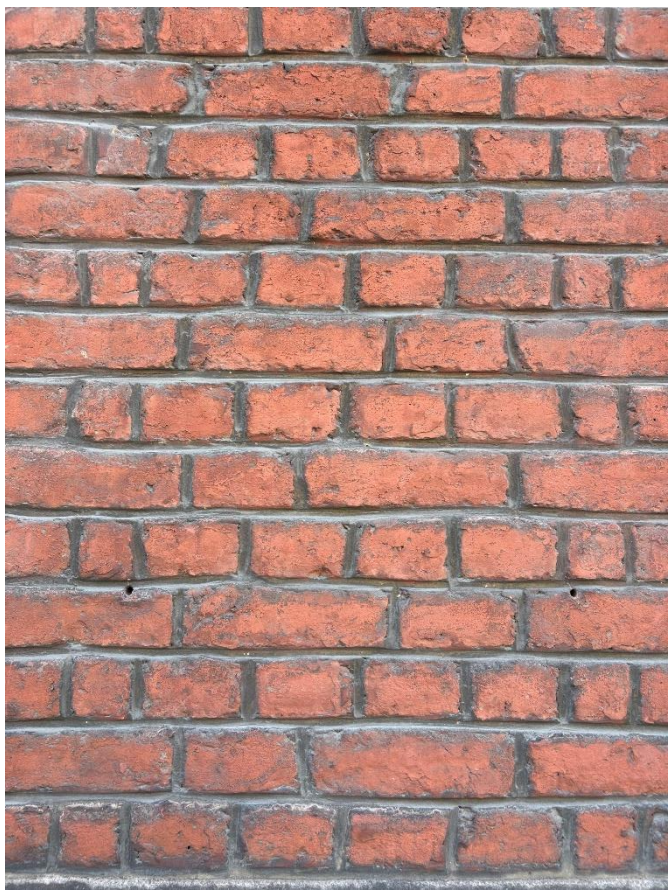
- 01. Eviter que des ressources potentielles ne soient éliminées sous forme de déchets;
- 02. Réduire la pression sur les ressources naturelles en prolongeant le cycle de vie des matériaux déjà extraits;
- 03. Stimuler le développement d'activités économiques locales liées à l'exploitation de la « mine urbaine ».



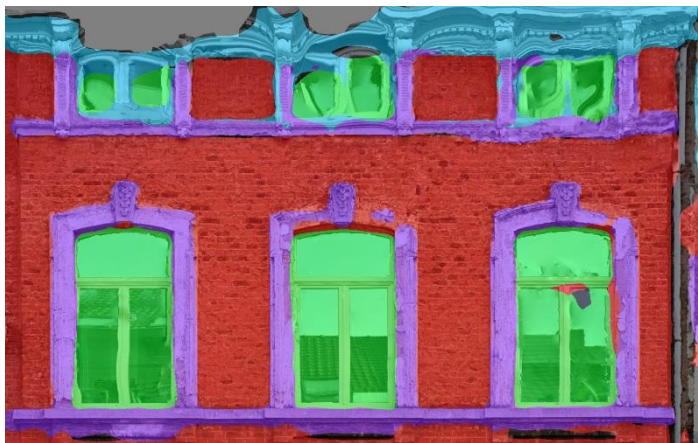
Inventorier et quantifier le gisement de matériaux du parc bâti ancien liégeois afin, à travers des scénarios de réhabilitation et l'analyse des déchets générés, **d'identifier les filières de valorisation** existantes ou à développer et **d'optimiser la chaîne logistique** de gestion des ressources et déchets à l'échelle urbaine.

Perspective

Différencier briques/pierres et mortier

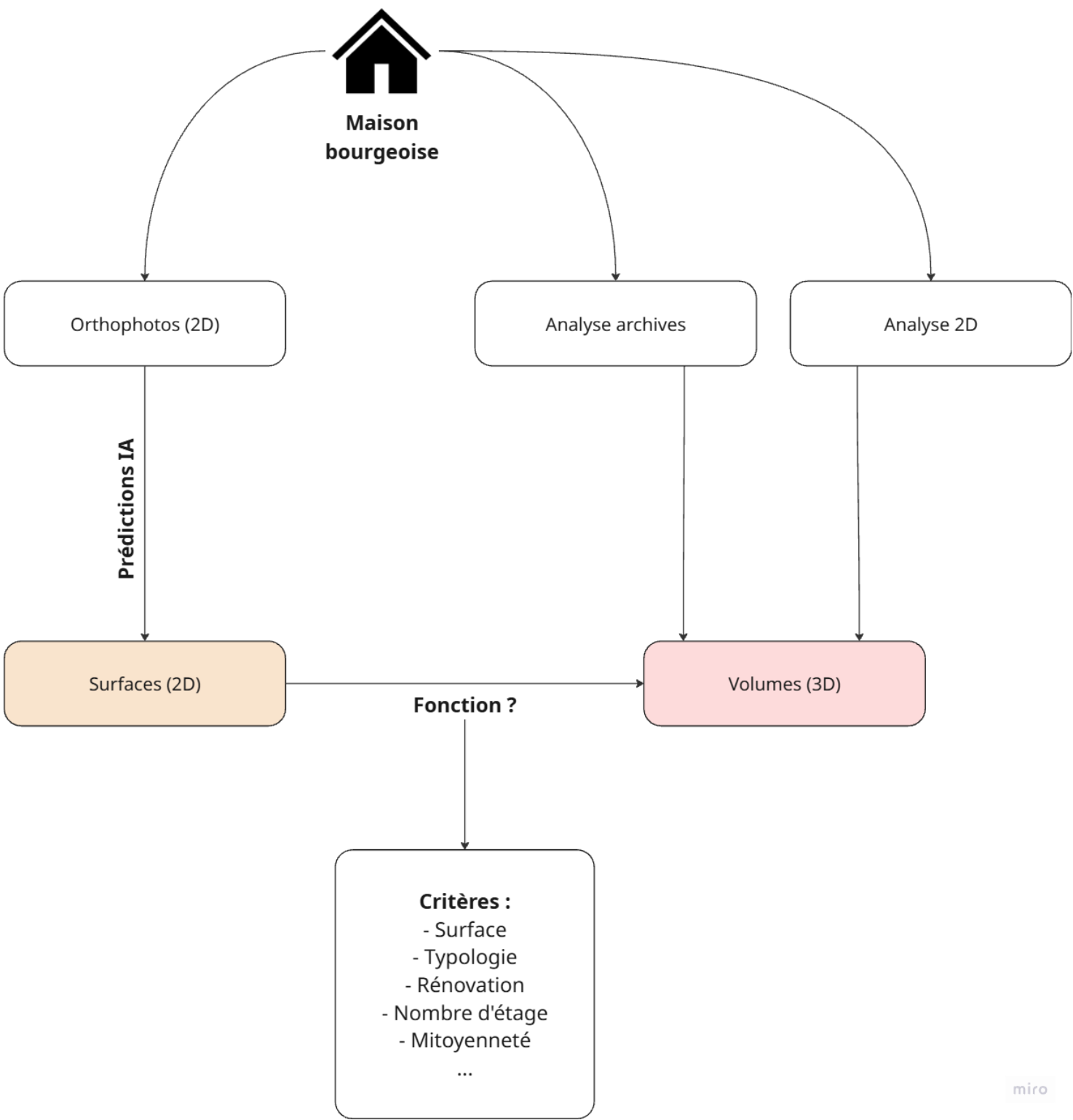


Prédictions par étage



Façade Saint Laurent

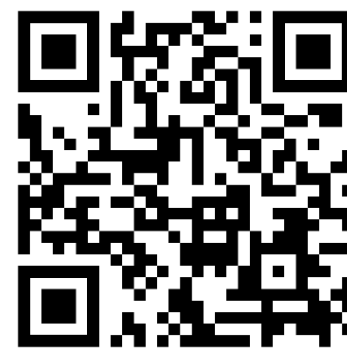
Passer des surfaces aux volumes



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

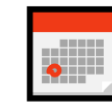
S. Trachte / P. Hallot / P. Sosnowska / O. Noël / S. Boutet /
A. Schreurs / A. Romboux

sophie.trachte@uliege.be, p.hallot@uliege.be, ophelie.noel@uliege.be et simon.boutet@uliege.be



Lien vers article

SAVE THE DATE



12/06/2026

Séminaire du projet URMIBALI. Urban mining et documentation numérique : développement d'une nouvelle méthode pour le réemploi des matériaux constituant le bâti traditionnel à Liège

