



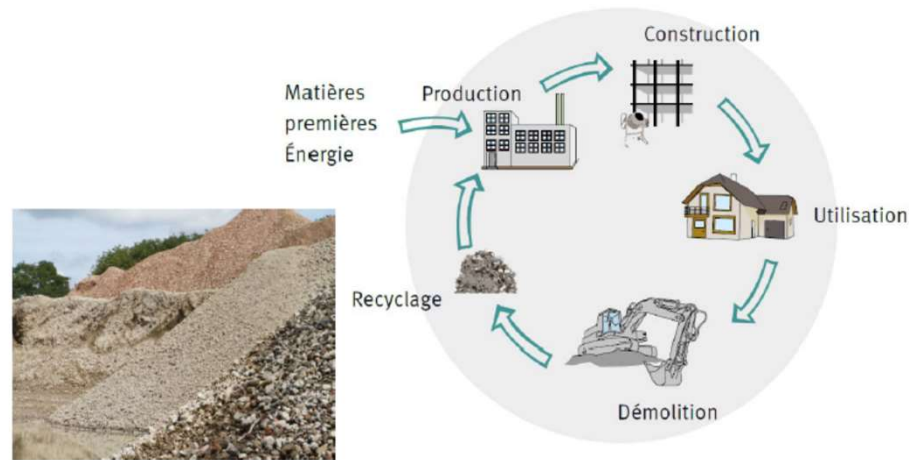
# Matériaux recyclés au service de la construction

EXEMPLE DE L'ABRI DU POT'INGÉ

Julien HUBERT et Luc COURARD  
Université de Liège

### Pourquoi recycle-t-on les déchets de construction?

- ▶ Le secteur de la construction **consomme** énormément de ressources....
  - Ciment : 180 millions de tonnes chaque année en Europe (4 milliards à l'échelle mondiale)
  - Granulats : 3 milliards de tonnes pour l'EU28 (UEPG, 2018)
  - Béton: 10 milliards de tonnes à l'échelle mondiale
- ▶ ... et **produit** de grandes quantités de **déchets**!
  - Construction est responsable de 30 à 40% des déchets produits dans le monde
  - 374 millions de tonnes de déchets de construction et de démolition pour l'EU28 en 2018
  - Production de ciment: 5 à 8% des émissions globales de  $CO_2$



**CONTEXTE GLOBAL****QU'EST-CE QU'UN GRANULAT RECYCLÉ?**

- ▶ **Définition**
- ▶ **Production et cadre normatif**

**MURS EN BÉTON DAMÉ****TOITURE VÉGÉTALISÉE**

## QU'EST-CE QU'UN GRANULAT RECYCLÉ?

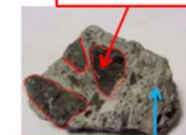
**Définition**

- ▶ Granulat obtenu par traitement mécanique d'une matière inorganique inerte précédemment utilisée dans la construction. En général, cette matière provient de la **déconstruction des bâtiments** et d'**ouvrages de génie civil**.

**Le but est donc de transformer ces déchets...**



**Granulat naturel**



**Pâte de ciment adhérente**

## QU'EST-CE QU'UN GRANULAT RECYCLÉ?

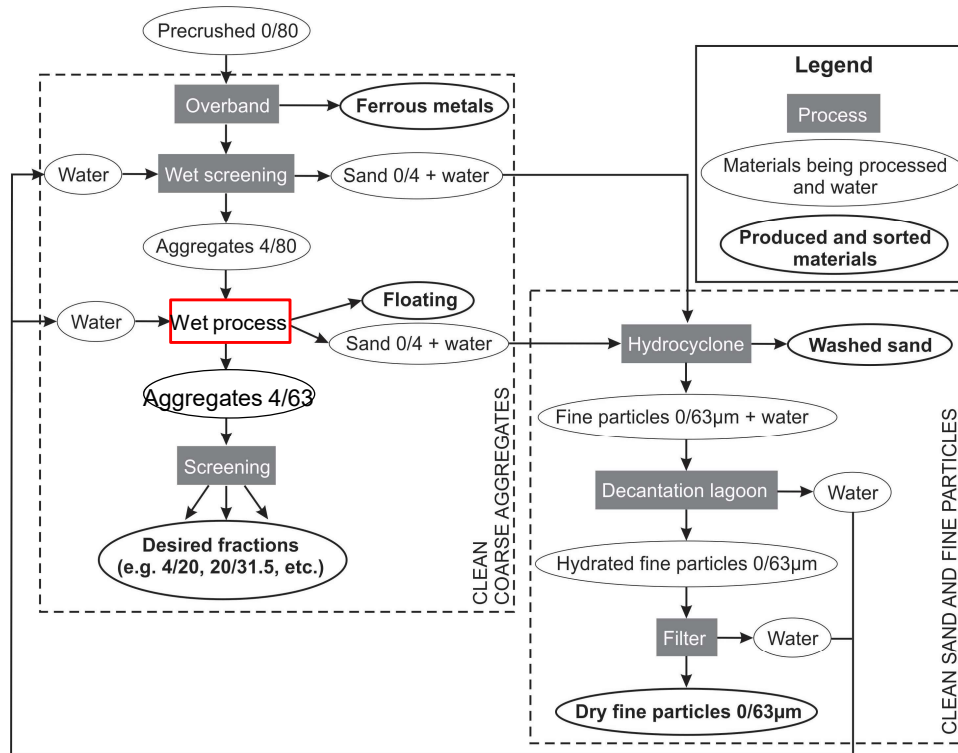
**Définition**

- ▶ Granulat obtenu par traitement mécanique d'une matière inorganique inerte précédemment utilisée dans la construction. En général, cette matière provient de la **déconstruction des bâtiments** et d'**ouvrages de génie civil**.

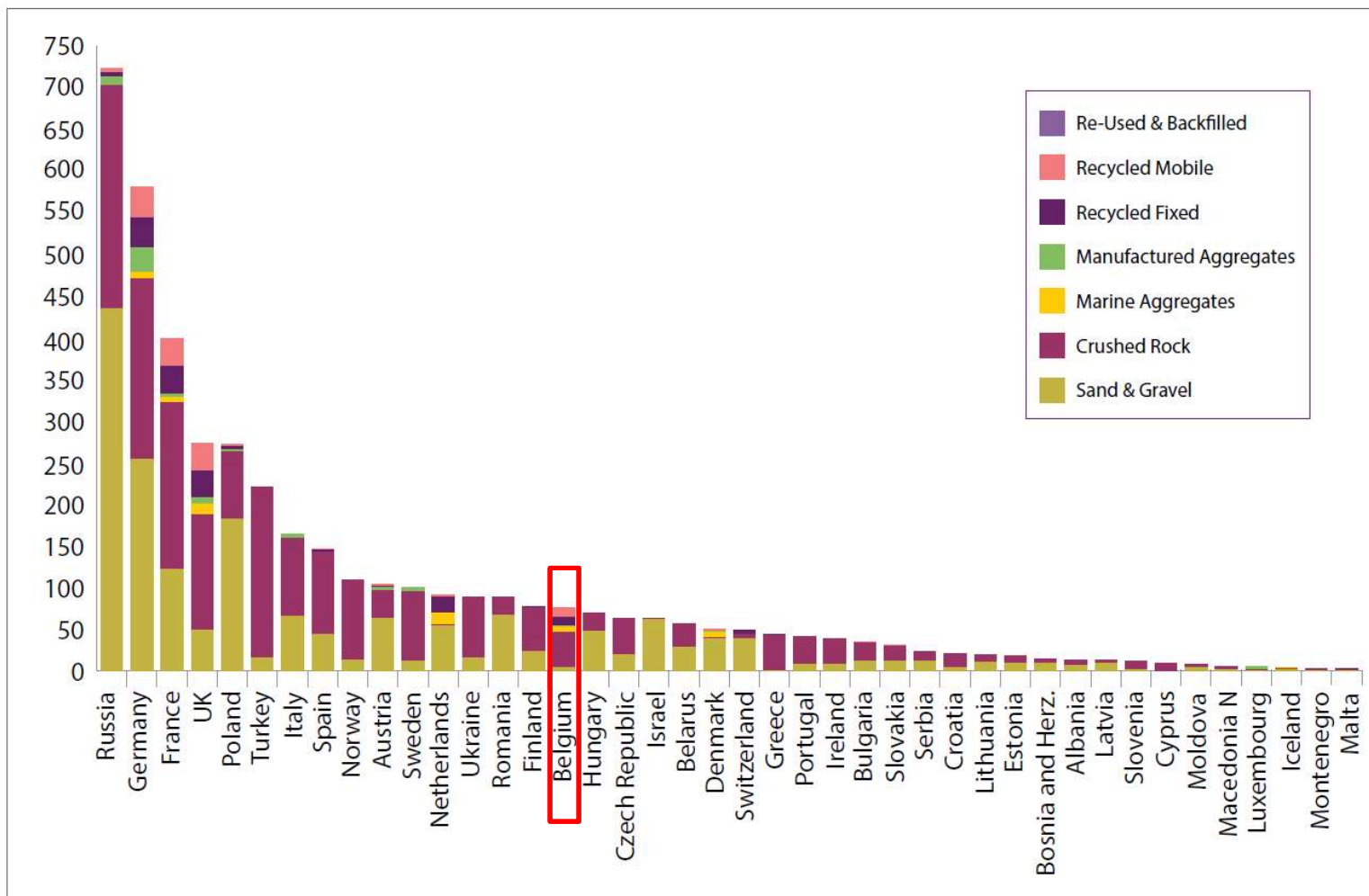
**... en ressources secondaires**

6 PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

Pour ce faire les déchets de construction et de démolition passent par une série d'étapes dans des centres de tri et de recyclage :



PRODUCTION DE GRANULATS EN EUROPE



Production de granulats en Europe en 2019 par pays et par type en million de tonnes (UEPG, 2021)

**Dépendant des déchets traités, on peut différencier deux types de granulats recyclés :**

Type A : granulats de béton



Type B : granulats mixtes



Type de granulats	Classes d'environnement selon la NBN B 15-001						
	E0	EI	EE1	EE2	EE3,EA1	ES1, ES2,ES3	EE4, ES4, EA2, EA3
Béton armé							
Type A+	-	30%	30%	20%	20%	0%	0%
Type B+	-	20%	0%	0%	0%	0%	0%
Béton non armé							
Type A+	50%	50%	50%	20%	20%	20%	0%
Type B+	20%	20%	20%	0%	0%	0%	0%

**CONTEXTE GLOBAL**

QU'EST-CE QU'UN GRANULAT RECYCLÉ?

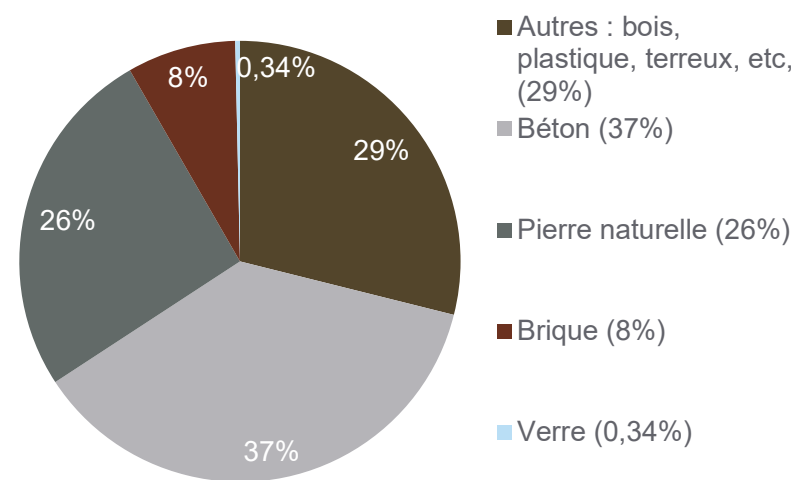
**MURS EN BÉTON DAMÉ**

- ▶ **Objectif, design et caractérisation**
- ▶ **Réalisation du Pot'ingé**

TOITURE VÉGÉTALISÉE

## Développer un matériau de maçonnerie avec le plus faible impact écologique possible

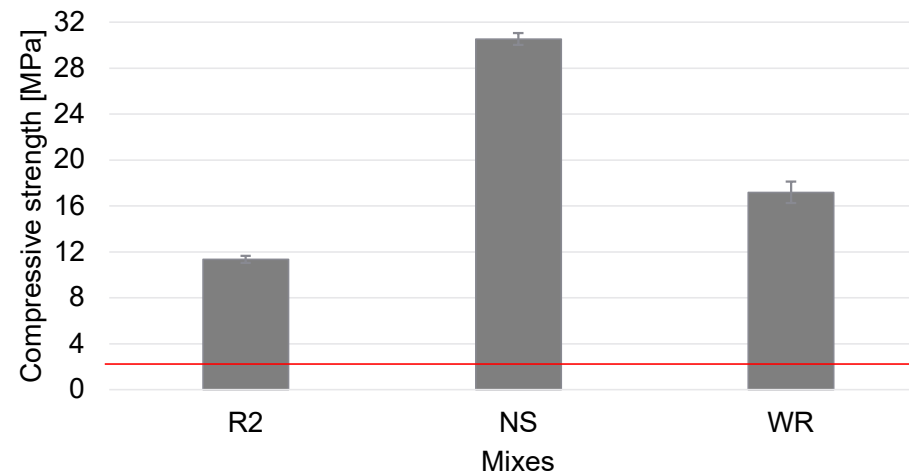
- ▶ Substitution des granulats naturels ➡ Utilisation de granulats recyclés  
Valorisation de fraction aujourd'hui non exploitée :  **fines de pré-scalpage**



- ▶ Etude de l'influence du type de granulats : granulats naturels, granulats recyclés lavés et fines de pré-scalpage

## Développer un matériau de maçonnerie avec le plus faible impact écologique possible

- ▶ Substitution des granulats naturels → Utilisation de granulats recyclés  
Valorisation de fraction aujourd'hui non exploitée :  **fines de pré-scalpage**
- ▶ Etude de l'influence du type de granulats : sables naturels (NS), granulats recyclés lavés (WR) et fine de pré-scalpage (R2)



**R2**  
15% ciment  
10% eau  
75% fines de pré-scalpage

Utiliser des fines de pré-scalpage impacte très clairement la résistance du matériau mais permet néanmoins de réaliser des éléments de maçonnerie satisfaisants

## Développer un matériau de maçonnerie avec le plus faible impact écologique possible

- ▶ Substitution des granulats naturels → Utilisation de granulats recyclés  
Valorisation de fraction aujourd'hui non utilisée : fine de pré-scalpage
  - ▶ Limiter l'utilisation de ciment
  - ▶ Limiter la consommation d'eau
- } → Technique du pisé

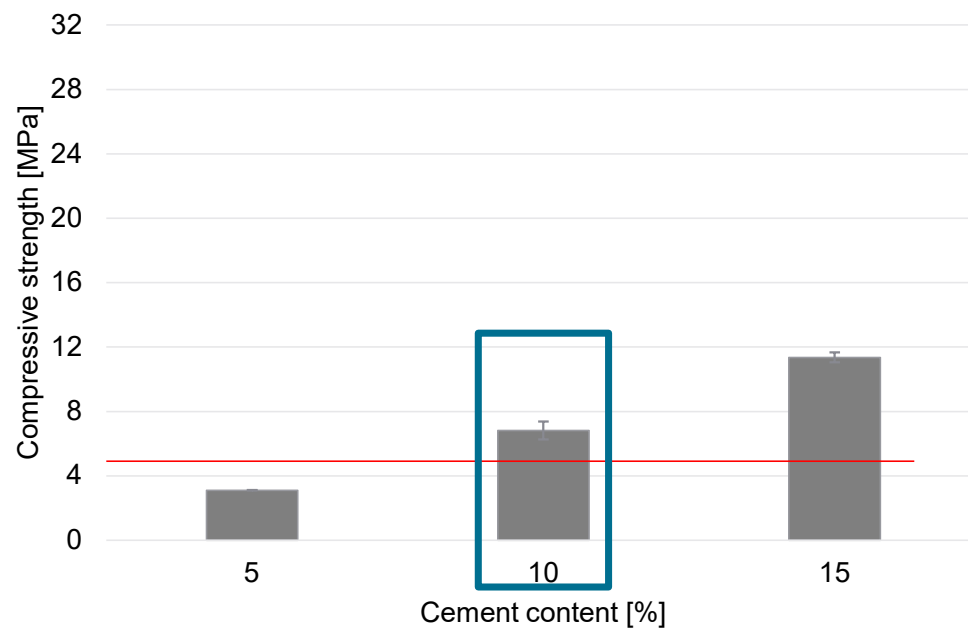
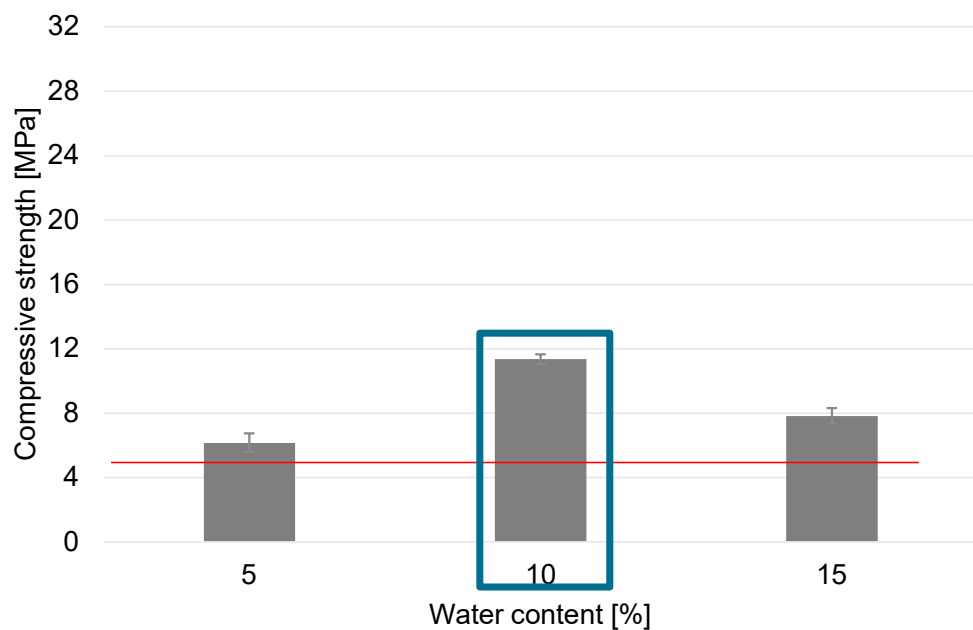


### Recherche d'un optimum de la teneur en ciment et en eau (pourcentage massique) :

- ▶ Influence de la teneur en eau : 5%, 10%, 15%
- ▶ Influence de la teneur en ciment : 5%, 10%, 15%

## RÉSULTATS DES CARACTÉRISATIONS

Développer un matériau de maçonnerie avec le plus faible impact écologique possible :



Notre mix final est donc (en masse) : 80% de fines de pré-scalpage, 10% d'eau et 10% de ciment

## RÉALISATION DE L'ABRI DU POT'INGÉ



RÉALISATION DE L'ABRI DU POT'INGÉ



CONTEXTE GLOBAL

QU'EST-CE QU'UN GRANULAT RECYCLÉ?

MURS EN BÉTON DAMÉ

**TOITURE VÉGÉTALISÉE**

- ▶ **Objectif, design et caractérisation**
- ▶ **Réalisation du Pot'ingé**

T. extensive



© C. Froment

T. semi-intensive



© C. Froment

T. intensive



© Zinco

10 cm

30 cm

1m

30 – 100 kg/m<sup>2</sup>

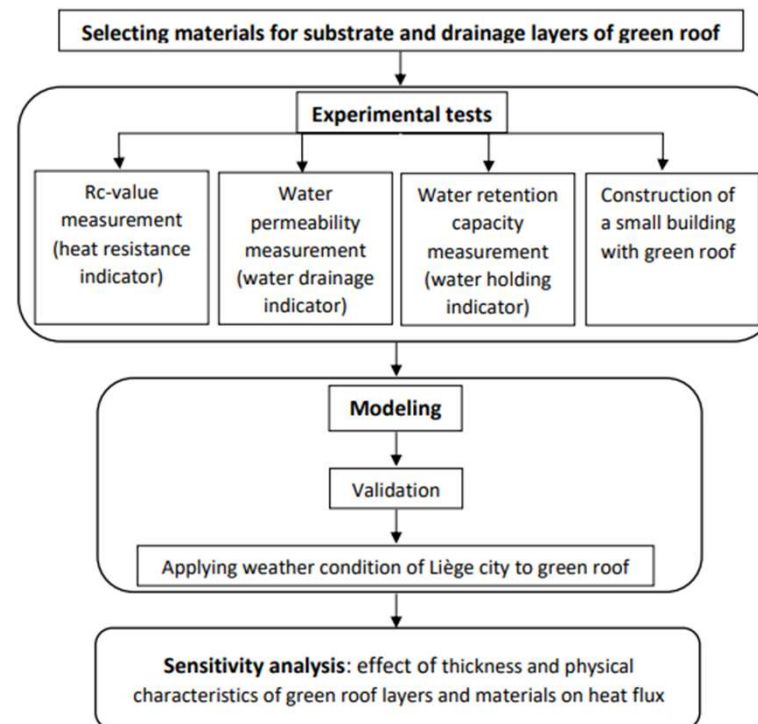
100 – 400 kg/m<sup>2</sup>

> 400 kg/m<sup>2</sup>



## Développer un substrat et une couche drainante pour les toitures végétalisées à base de matériaux recyclés

- ▶ Rôle d'isolant thermique ➡ Etude la résistivité thermique
- ▶ Rôle de percolation de l'eau ➡ Etude de la perméabilité à l'eau
- ▶ Rôle de végétalisation de la toiture ➡ Etude de la capacité de rétention d'eau



CRITÈRE DE SELECTION

Selection Criteria				Lightweight	High porosity	Commercial production	Recycled material	Artificial material
Materials	Substrate layer	Control	SC <sup>1</sup> _Wet & SC_Dry	-	-	✓	-	-
		Proposed	SP <sup>2</sup> _Wet & SP_Dry	✓	✓	✓	✓	-
	Drainage layer	Control	NCA <sup>3</sup>	-	-	✓	-	-
		Proposed	RCA <sup>4</sup>	✓	✓	✓	✓	-
			IMSWA <sup>5</sup>	✓	✓	✓	✓	-
			LECA <sup>6</sup>	✓	✓	✓	-	✓

<sup>1</sup>SC: Substrate **without** coarse recycled materials (Control Substrate)

<sup>2</sup>SP: Substrate **with** coarse recycled materials (Proposed Substrate)

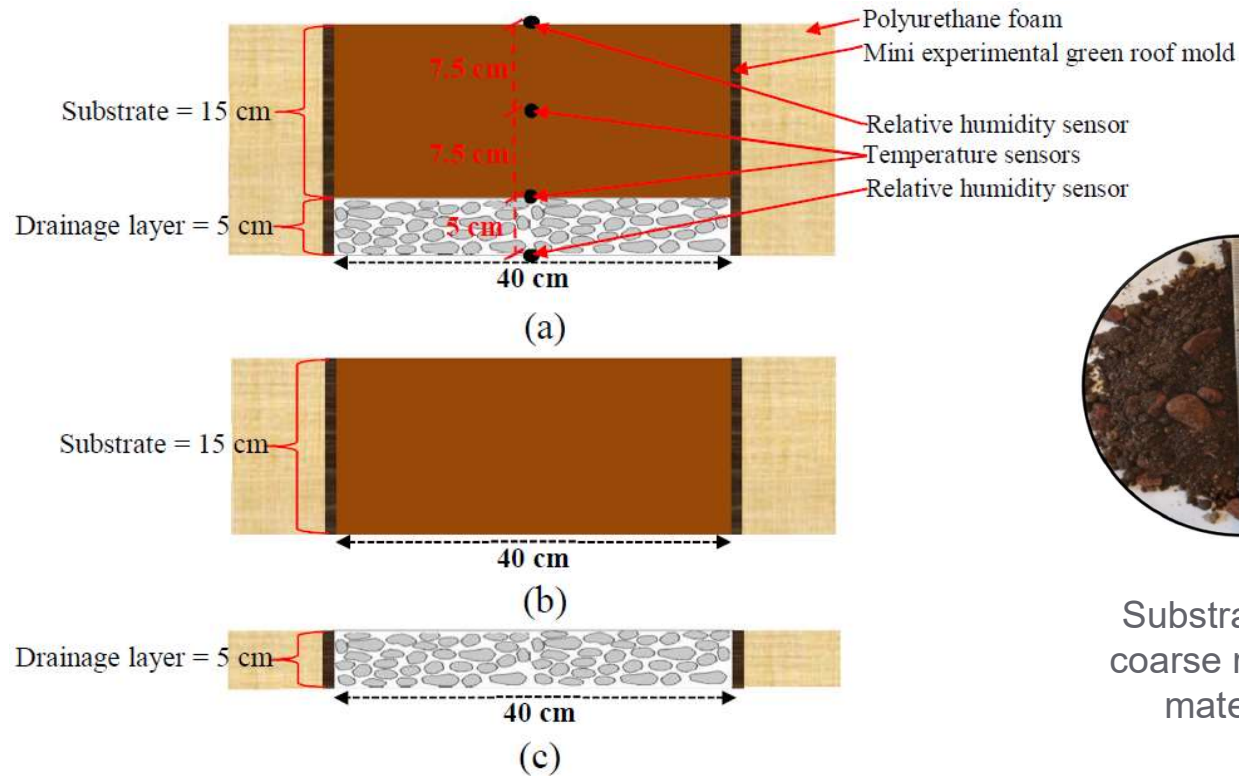
<sup>3</sup>NCA: Natural Coarse Aggregate (Control Coarse Aggregate)

<sup>4</sup>RCA: Recycled Coarse Aggregate

<sup>5</sup>IMSWA: Incinerated Municipal Solid Waste Aggregate

<sup>6</sup>LECA: Lightweight Expanded Clay Aggregate

EVALUATION DE LA RÉSISTIVITÉ THERMIQUE



Cross sectional schemes of 20-cm green roof layers: 15-cm substrate and 5-cm drainage layers (a); 15-cm substrate layer (b); 5-cm drainage layer (c).

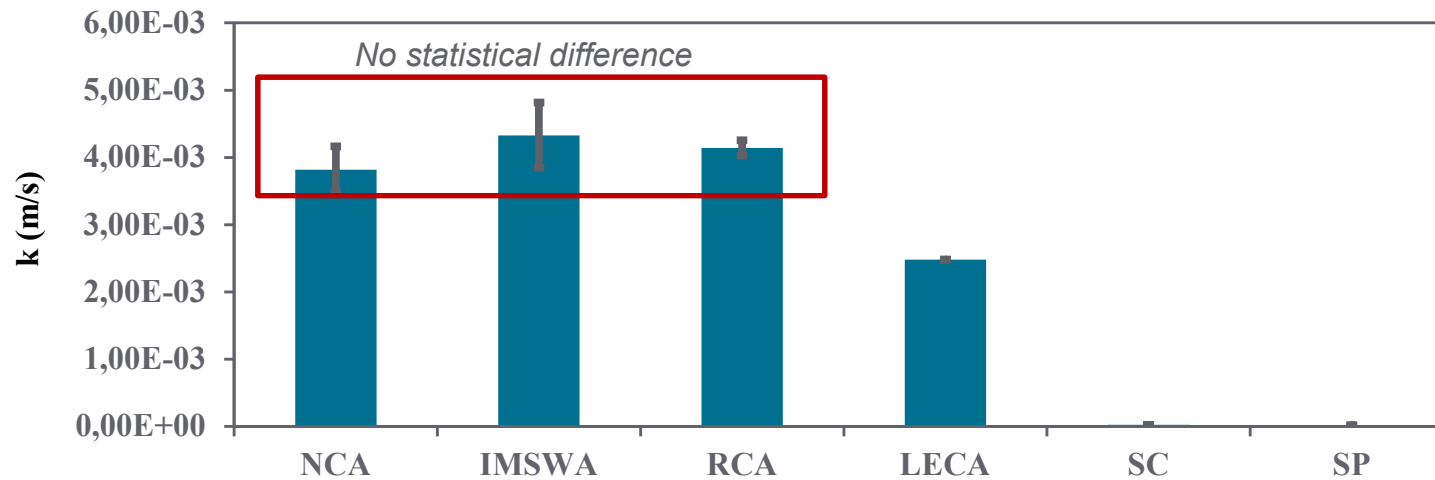
## EVALUATION DE LA RÉSISTIVITÉ THERMIQUE

	Specimens ID	Test duration (h)	Convergence duration (h)	Thermal conductivity (W/m·K)	Rc-value (m <sup>2</sup> K/W)
drainage	NCA5	101	76	0.114	0.44
	RCA5	101	76	0.110	0.45
	IMSWA5	101	76	0.115	0.43
	LECA5	101	76	0.067	<b>0.73</b>
substrate	SC15_Wet	122	73	0.310	0.48
	SC15_Dry	140	116	0.150	1
	SP15_Wet	122	73	0.320	0.46
	SP15_Dry	165	75	0.160	0.94
	NCA5-SC15_Wet	166	118	0.270	0.75
	NCA5-SC15_Dry	165	120	0.142	<b>1.38</b>
	RCA5-SP15_Wet	166	118	0.280	0.72
	RCA5-SP15_Dry	166	120	0.151	<b>1.31</b>
	IMSWA5-SP15_Wet	168	120	0.270	0.74
	IMSWA5-SP15_Dry	168	120	0.160	1.26
	LECA5-SP15_Wet	168	120	0.192	1.04
	LECA5-SP15_Dry	168	120	0.147	1.36

- For drainage layer (Rc): NCA ≈ IMSWA ≈ RCA < LECA
- For substrate layer (Rc) : SC ≈ SP et SC\_Wet < SC\_Dry

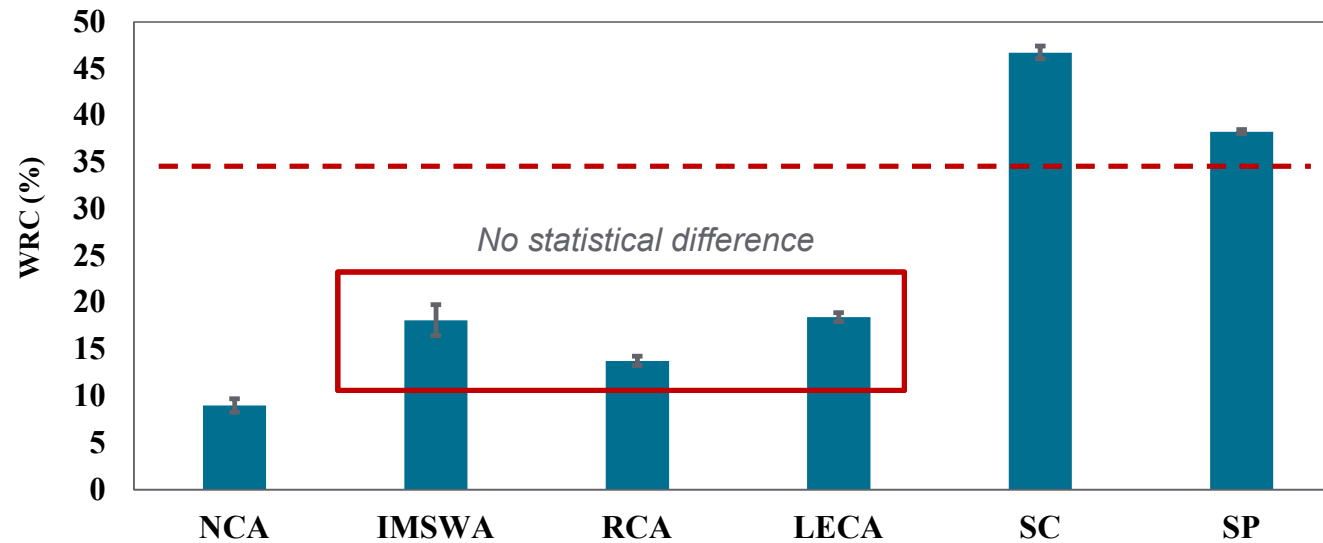
**Water permeability** range for green roof substrate layer given by German FLL guidelines

=>  $10^{-5} - 1.17 \times 10^{-3}$  m/s



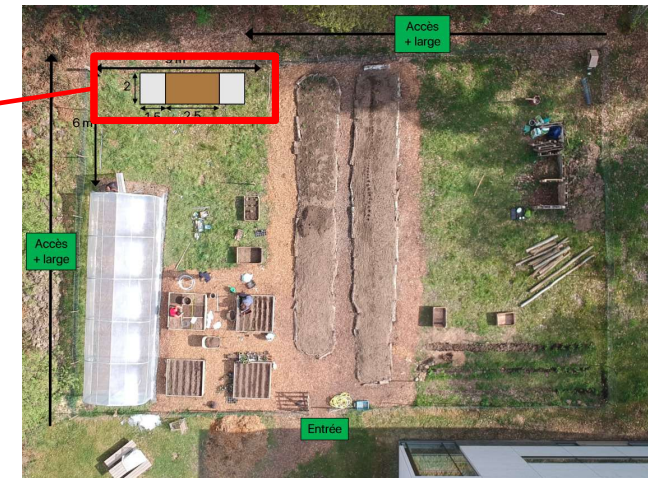
- ▶ SC =>  $2.6 \times 10^{-5}$  m/s ✓
- ▶ SP =>  $1.7 \times 10^{-5}$  m/s ✓

**Water retention** range for green roof substrate layer given by German FLL guidelines => 35% - 65%



- ▶ SC => 46.73% ✓
- ▶ SP => 38.27% ✓

Collaboration avec le Pot'ingé: réalisation de la toiture de l'abri d'un potager sur le campus du Sart-Tilman



Collaboration avec le Pot'ingé: réalisation de la toiture de l'abri d'un potager sur le campus du Sart-Tilman



**Luc Courard**

Professeur  
Université de Liège

☎ + 32 4 366 93 50

✉ [luc.courard@uliege.be](mailto:luc.courard@uliege.be)

**Julien Hubert**

Dr. Ingénieur de recherche  
Université de Liège

☎ + 32 4 366 92 24

✉ [julien.hubert@uliege.be](mailto:julien.hubert@uliege.be)



## MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Coarse recycled materials for the substrate and drainage layers of green roof system in dry condition: parametric study and thermal heat transfer. **M. Kazemi**, L. Courard, J. Hubert. Journal of Building Engineering 45 (2022) 103487 (<http://hdl.handle.net/2268/264721>) (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103487>)

Comportement thermomécanique de murs en béton damé avec fines de recyclage. Cl. Kerckhove. Mémoire de fin d'études (2022), ingénieur civil architecte (<http://hdl.handle.net/2268.2/14603>)