



Economie circulaire et construction: entre innovation et conservatisme

Luc Courard

Eco Conseils, 25 mars 2024

Recyclage et développement durable



Évolution de la quantité de déchets ménagers par an et par personne en Wallonie entre 1995 et 2017 (www.ecoconso.be)

Sommaire

- Pourquoi recycler?
- Qu'est-ce que cela implique?
- Quelles sont les conditions pour recycler?
- Depuis quand recyclons-nous en construction? Quel est le contexte particulier de la construction?
- Quelques exemples de recyclage dans la construction

Pourquoi recycler?

Récupérer les matériaux, c'est ...

- Réaliser des gains
 - Pillage des abbayes, châteaux, industries,...
 - Récolte sélective du papier et du carton
 - Remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés
- Conserver
 - Témoins historiques: conservation du patrimoine
 - Témoins sentimentaux
- Économiser les moyens
 - Colonnes du fronton du Théâtre Royal de Liège
 - Fonte des cloches en période de guerre

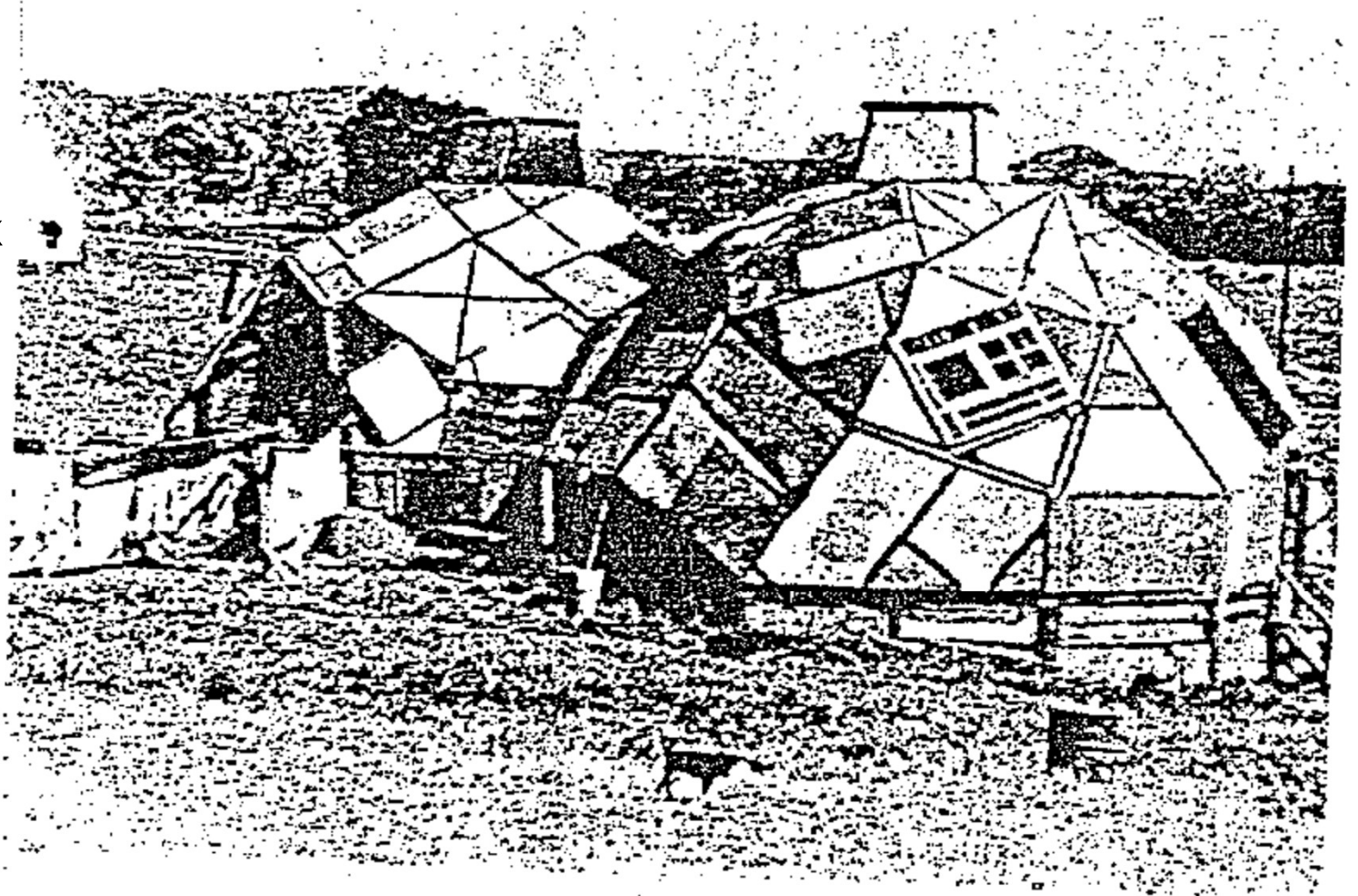
Récupérer les matériaux, c'est ...

- Economiser des matières premières :
 - l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer;
 - chaque tonne de matière plastique recyclée permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
 - le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité;
 - chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois;
 - chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 l d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

Récupérer les matériaux, c'est ...

■ Contester

Dômes en matériaux de récupération, réalisés par une communauté de hippies, sous la direction de Buckminster Fuller, Colorado, 1965
Source: Elfers, J. & Schuyt, M., « Les bâtisseurs de rêves »



Récupérer les matériaux, c'est ...

■ Contester

Garde-fou mobile
réalisé à partir de
morceaux de ferraille
(Ecole Notre-Dame
des Missions,
Charenton)

Source: Architecture
d'aujourd'hui, 179
(1975)



Récupérer les matériaux, c'est ...

- Bâtir



le Palais Idéal du facteur Cheval (Photo G. Thérin)

Récupérer les matériaux, c'est ...

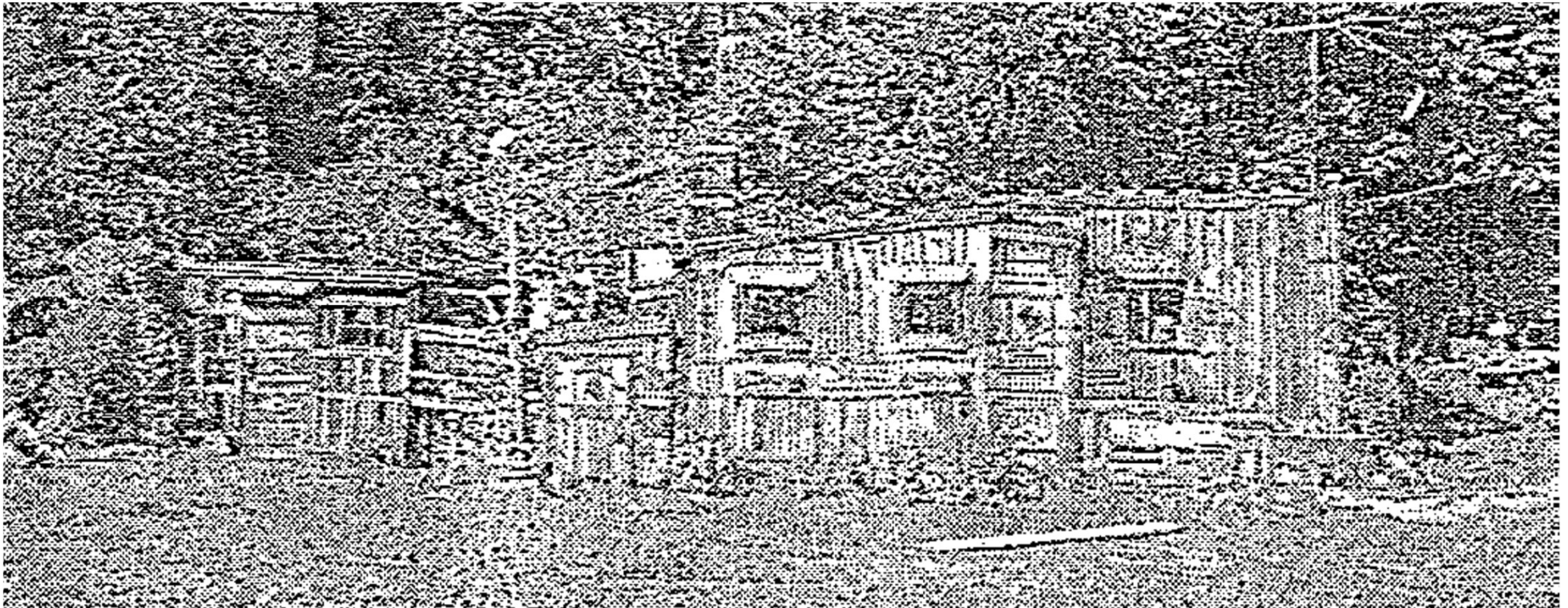
- Bâtir



Le Jardin en bois de récupération de R. Gabriel (Euréka, Californie)
Source: Elfers, J. & Schuyt, M., « Les bâtisseurs de rêves »

Récupérer les matériaux, c'est ...

■ Bâtir



Maison en bois de Fred Burns, Belfast, Maine
Source: Architecture d'aujourd'hui, 179 (1975)

Récupérer les matériaux, c'est ...

■ Bâtir



Mobilier dans la maison en papier d'Elis Stenman (Pigeon Cove, Massachusetts)
Source: Elfers, J. & Schuyt, M., « Les bâtisseurs de rêves »



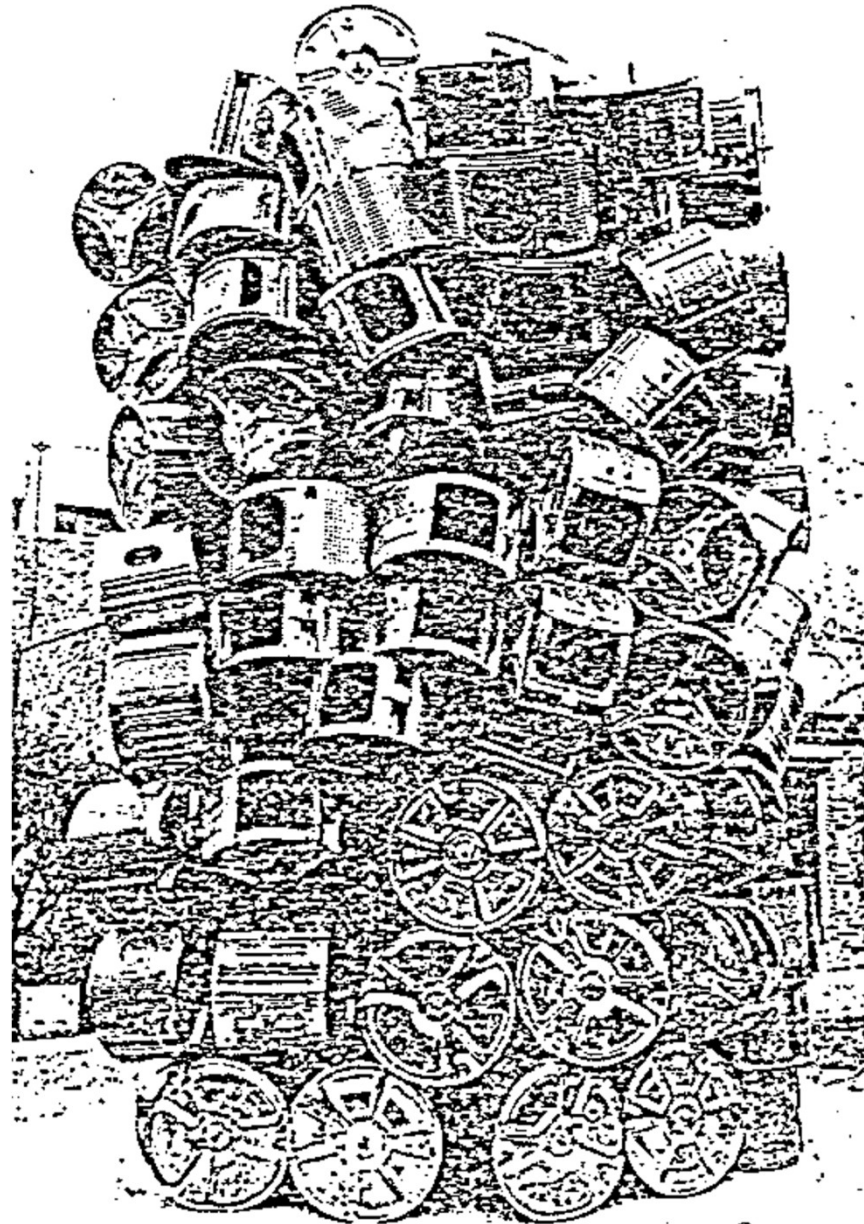
**desk and chair - section of wall,
which is made of old newspaper and
varnished**



www.paperhouserockport.com

Récupérer les matériaux, c'est ...

- Créer



Arman: accumulation
Source: BT n°977, avril 1986

Récupérer les matériaux, c'est ...

- Créer



**Baldaccini, César - "Compression" -
Compression 1960 - Métal compressé,
pots d'échappement d'automobiles**



**Baldaccini, César - "Compression" -
(1960)**

Récupérer les matériaux, c'est ...

- Créer



Aéroport de Bruxelles - National

Récupérer les matériaux, c'est ...

■ Vivre et survivre

Maisons de marchands pauvres à Bangkok
Source: Gabor, M., « Maisons sur l'eau »



Ramasseurs de déchets dans un
bidonville de Jakarta en
Indonésie

Qu'est-ce que cela implique?

Attitudes

- **Recyclage ← constatation**
 - Prise de conscience des limites: nous vivons dans un monde limité
 - Énergie
 - Matières premières
 - Espace (urbanisme)
 - Capacité d'adaptation de la nature
- **Constatation → comportement**
 - Consommation
 - Architecture
 - Génie civil
 -

Attitudes

- Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des **3 R**:
 - réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
 - réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage,
 - recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Réduire: critères de choix

La notion d'**Énergie grise**, c'est-à-dire l'énergie, calculée en kWh/m³ ou T, associée à un matériau, permet de prendre en compte les aspects suivants : machines d'extraction, carburant pour le transport, consommation d'électricité pour la transformation, pétrole utilisé pour la production.

Matériau	Energie grise (kWh/m ³)
Brique perforée	700
Brique silico-calcaire	350
Enduit synthétique	3300
Enduit au ciment	1100
Profilés en acier	57000
Bois d'œuvre	180
Panneaux d'agglomérés (liés avec résine formaldéhyde)	2000
Panneaux de fibres de bois (tendre)	1400
Polystyrène expansé (isolant)	450
Isolant à base de cellulose de bois	50

Réduire: critères de choix

Consommation
d'énergie pour la
production de
1m³ de béton
armé

Matériau/ opération	Energie (GJ)
Ciment	1.58
Sable et granulats	0.27
Armatures	2.25
Coffrage	0.43
Transport et mise en œuvre	0.34
Démolition et traitement des déchets	0.27
TOTAL	5.14

Quelles sont les principales conditions pour recycler?

Règles générales pour la valorisation

- Adéquation entre le gisement et la marché
 - Exemple: démolition et construction routière
 - Recyclage sur site = 50% économie totale
 - 70% en frais de transport
 - 20% coût des matériaux
 - 10% frais de versage en C.E.T.
- Freins au recyclage
 - Transport
 - Règlementarisme

Règles générales pour la valorisation

□ Transport

- Prix transport = $f(\text{quantité}, \text{distance})$
- Indépendant de la qualité
- Recyclage intéressant si
 - C.E.T. éloigné
 - Coût de versage élevé
 - Matières premières coûteuses et approvisionnement difficile

□ Règlementarisme

- *un matériau n'a pas de spécification car nouveau et peu utilisé*
- *un matériau est peu utilisé car non couvert par des spécifications*

Règles générales pour la valorisation

- Évaluation de l'opportunité du recyclage
 - Technique
 - Caractérisation des déchets
 - Durabilité
 - Constance des propriétés
 - Logistique et économique
 - Gisement et transport
 - Constance de production
 - Conditionnement
 - Localisation

Règles générales pour la valorisation

- Évaluation de l'opportunité du recyclage
 - Environnementale et économique
 - Diminution des quantités mises en C.E.T
 - Obligation réglementaire d'élimination
 - Taxation

On ne recycle pas ...
n'importe quoi,
n'importe comment,
à n'importe quel prix.

Historique du recyclage

Historique du recyclage

- Industries du charbon et de l'acier
 - déchets valorisés en France dans le domaine de la construction

Type de déchet	Année
étude de l'emploi du laitier granulé en cimenterie	1880
<i>acceptation en France en</i>	1928
<i>mais emploi pour le métro dès</i>	1900
étude du laitier concassé en ballast	1885
1,25 10 ⁶ tonnes	1952
laitier de haut)-fourneau expansé -brevet en	1900
début des emplois du laitier granulé dans la route	1955
laitier pré broyé dans la route	1970
schistes houillers noirs ou rouges	Années 1950
cendres volantes de houilles (route)	Environ 1960
cendres - ciment	1960-65
graves - cendres	1968
cendres - chaux - gypse	1968

Historique du recyclage

- Industries du charbon et de l'acier
- Industries du pétrole, des plastiques, des caoutchoucs, de la chimie, ...
- Adéquation (déchets, industrie routière et génie civil)
 - après seconde guerre mondiale
 - *reconstruction*
 - *dynamitage écluse de Berendrecht*
 - accélération importante depuis 20 ans (demande et exigence accrues de matériaux) tant en quantité qu'en qualité (remblais, agrégats, liants, additifs, ...)

Historique du recyclage

■ Besoins du génie civil:

- matériaux, sur lesquels pèsent de faibles exigences et consommés en grande masse, consommés en grandes masses dans les remblais mais transportables sur de faibles distances en raison des coûts;
- granulats, qui doivent répondre à des spécifications diverses selon la place qu'ils occuperont dans les structures et les techniques de traitement utilisées. Les exigences de qualité peuvent à ce niveau devenir élevées, voire sévères pour les couches de surface, pour conduire à des produits finis de qualité identiques à celle des matériaux traditionnels;

Historique du recyclage

■ Besoins du génie civil:

- liants, qui doivent répondre à des spécifications bien précises et dont les propriétés doivent rester constantes dans le temps. Employés en petite quantité et concurrentiels de produits coûteux (ciments, bitumes), ils peuvent connaître des conditionnements préalables à l'emploi et supporter des coûts de transport plus élevés;
- activants, qui seront utilisés en petites quantités, ce qui peut poser des problèmes de collecte, stockage, distribution et régularité.

Quelle est le contexte
spécifique dans la
construction?



Construire ... une vieille histoire





Construire ... une question d'actualité

- ▶ 75% de la population mondiale vivra en ville en 2050





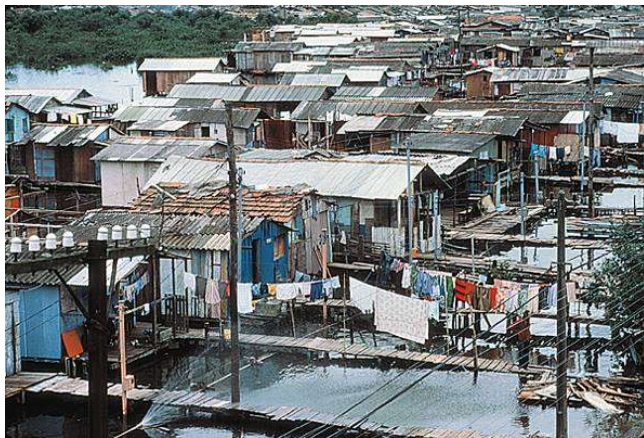
Construire ... comment?



*Maison enterrée
(www.villavals.ch)*



*Maison 4 façades
(www.immobelgique.com)*



Maison flottante

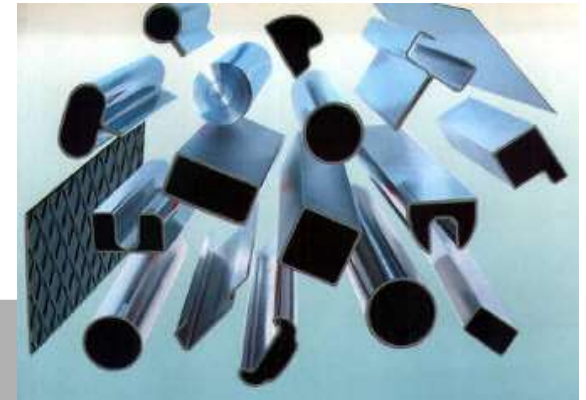


Big bend, New York (1219m)



Construire ... avec quoi?

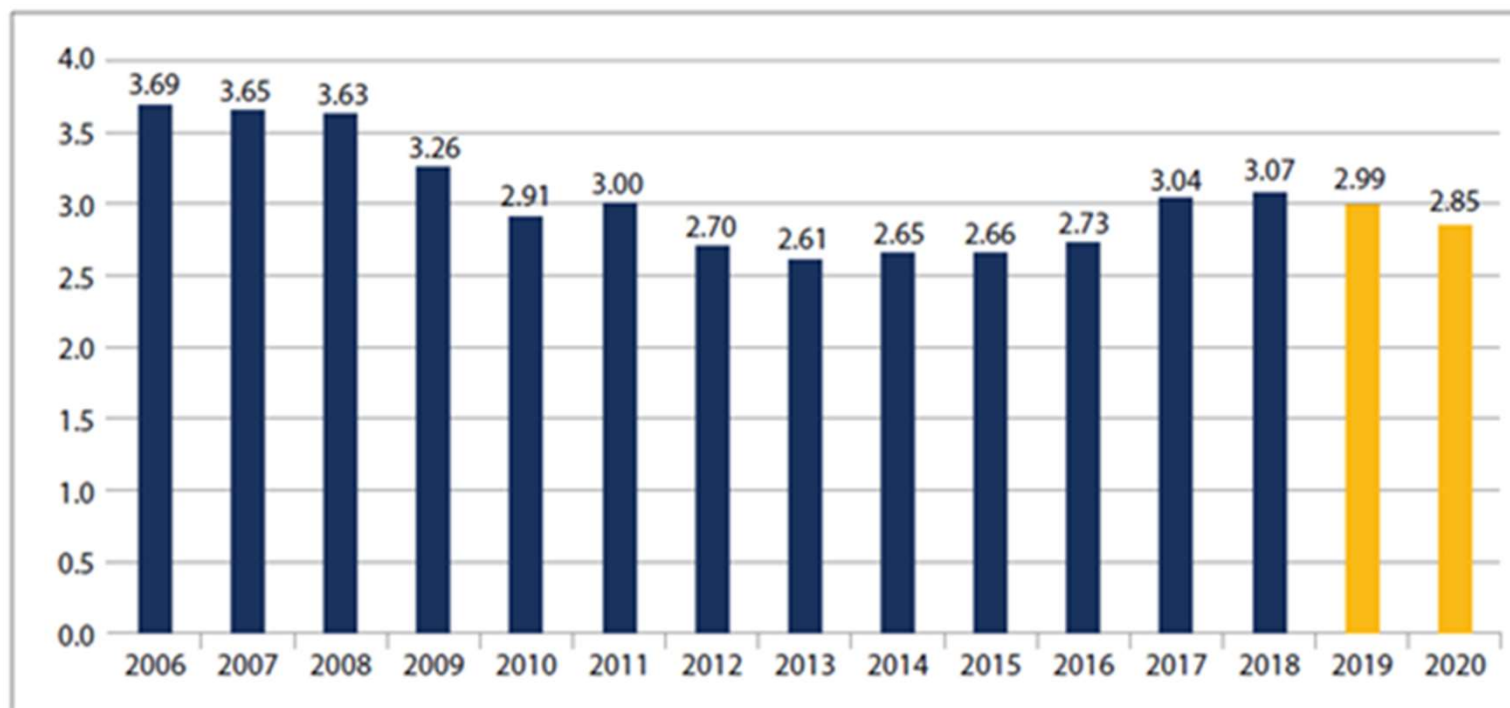
- ▶ la construction au sens large consomme entre 40 et 50% des ressources naturelles sous forme de matériaux



Construire ... avec quoi?

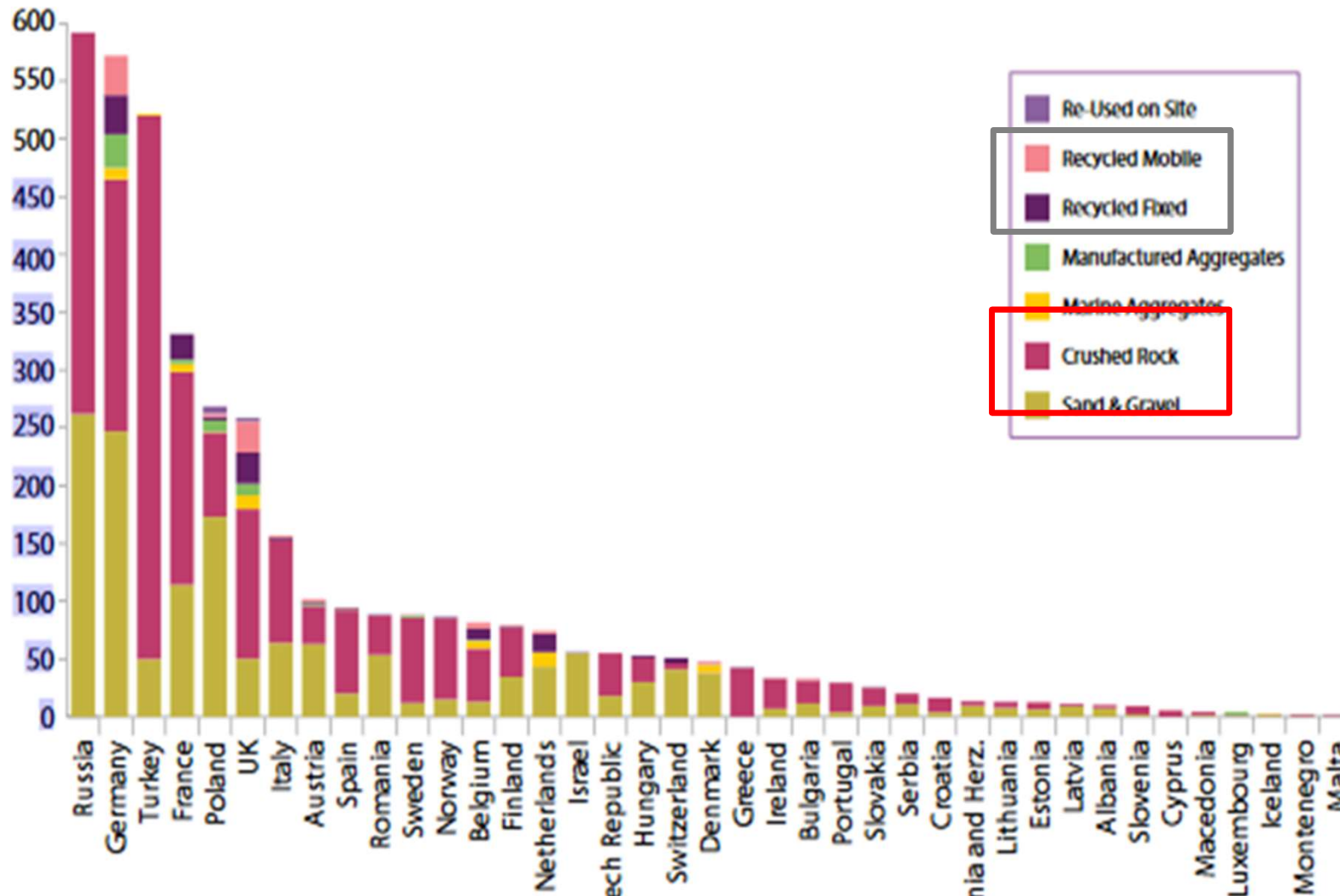
- Nous avons besoin de matériaux
 - Ciment: 4 milliards tonnes/an (56% par Chine)
 - Béton: 10 milliards tonnes/an
 - Consommation de ciment en kg/hab (2018)
 - Chine: 1704 kg/hab
 - EU: 309 kg/hab
 - USA: 287 kg/hab
 - BE: 550 kg/hab
 - Emission de CO₂ (2018) par le ciment: 5-8% production mondiale

Construire ... avec quoi?



Trend in total EU + EFTA Tonnages (in billions of tonnes) for the production of aggregates

Construire ... avec quoi?



2016 aggregates production in Europe in millions of tonnes by country and type



Construire ... avec quoi?

- ▶ la construction produit près de 40 à 50% de tous les déchets produits dans le monde
 - UE28: 1725 kg par habitant (37,5% du total déchets)



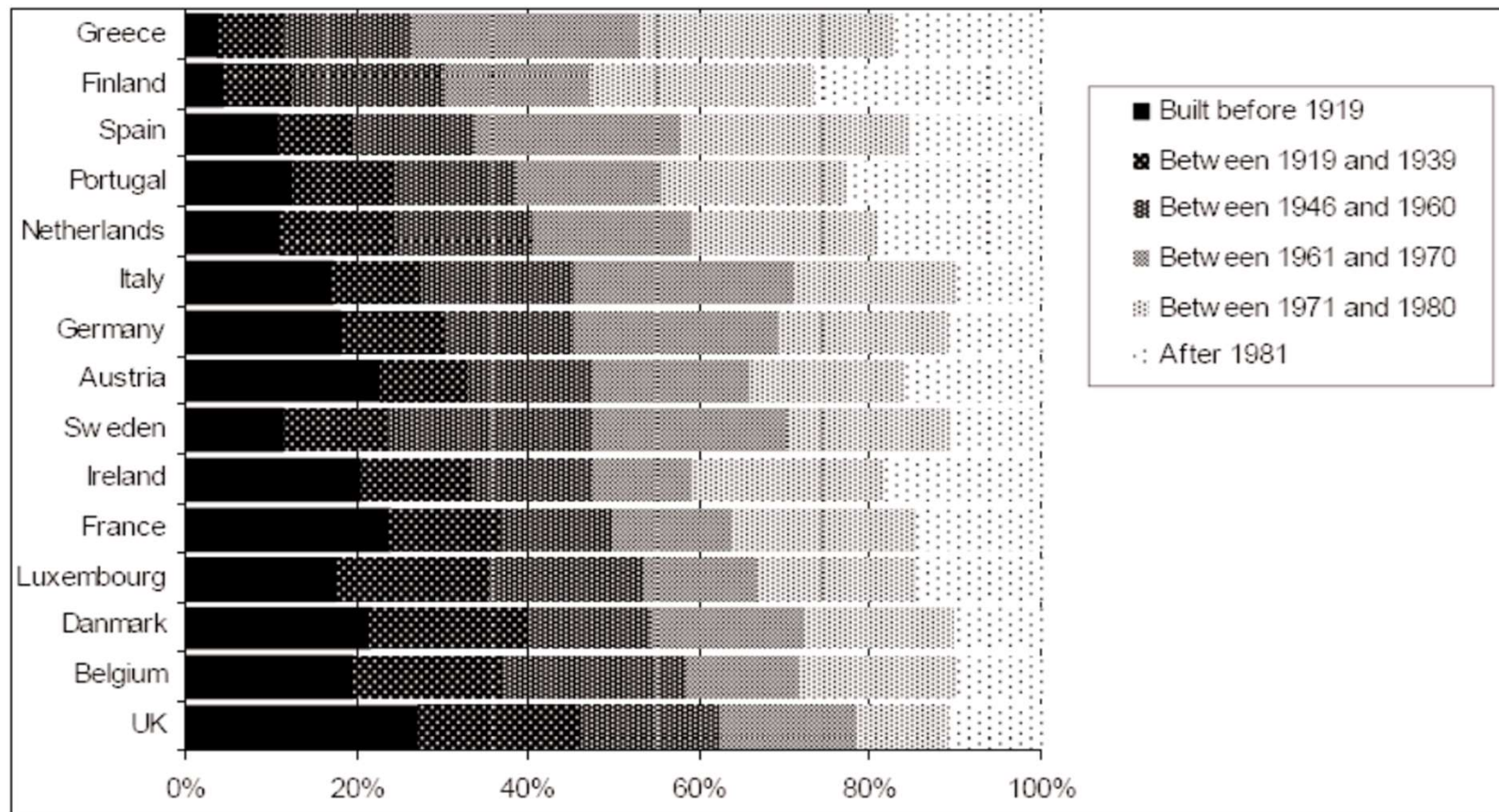
Construire ... avec quoi?

- Nous produisons des déchets
 - Entre **3.4 et 4 milliards de tonnes/an** ou de 80 à 126 tonnes/seconde!
 - Chaque jour, l'activité humaine produit plus de 10 milliards kg déchets
 - Production annuelle de granulats recyclés: 202 millions tonnes en 2015



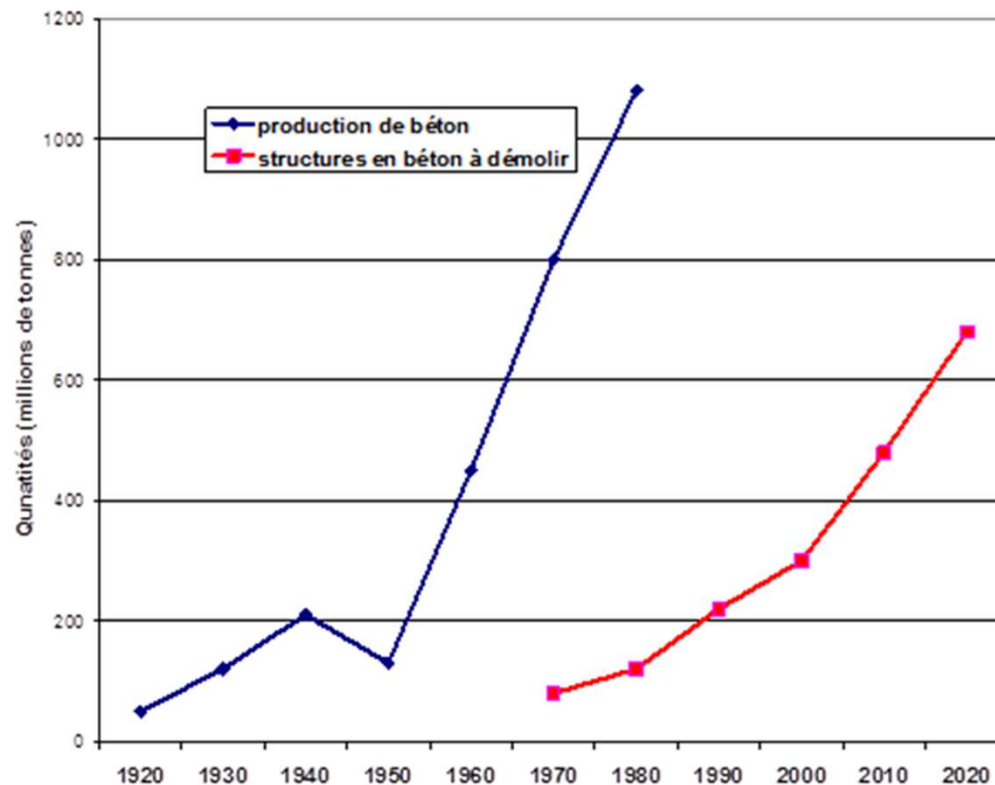
Construire ... avec quoi?

- Distribution of building age in different European countries (BE: 70% older than 1970)



Construire ... avec quoi?

- Ensure broad geographical coverage of C&DW recycling facilities – capacitate concrete producers for RA use

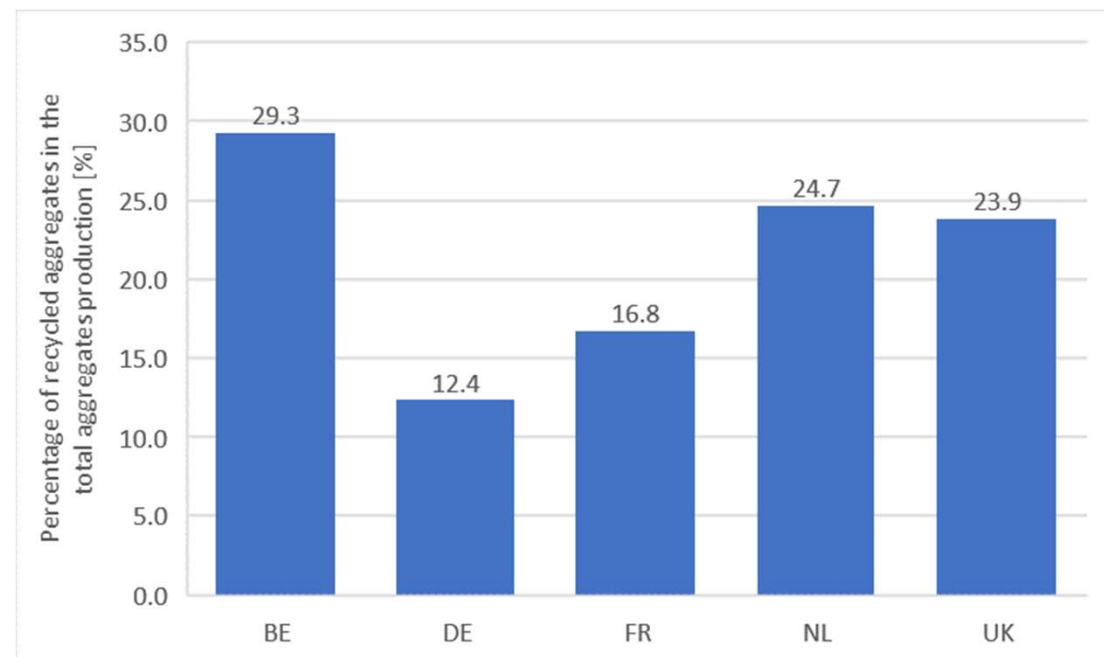




Construire ... avec quoi?

- ▶ NWE countries (BE, DE, FR, NL, UK) are responsible for:
 - 47% of the virgin aggregates production (1417 Mtons)
 - 89% of the recycled aggregates production (248,4 Mtons)

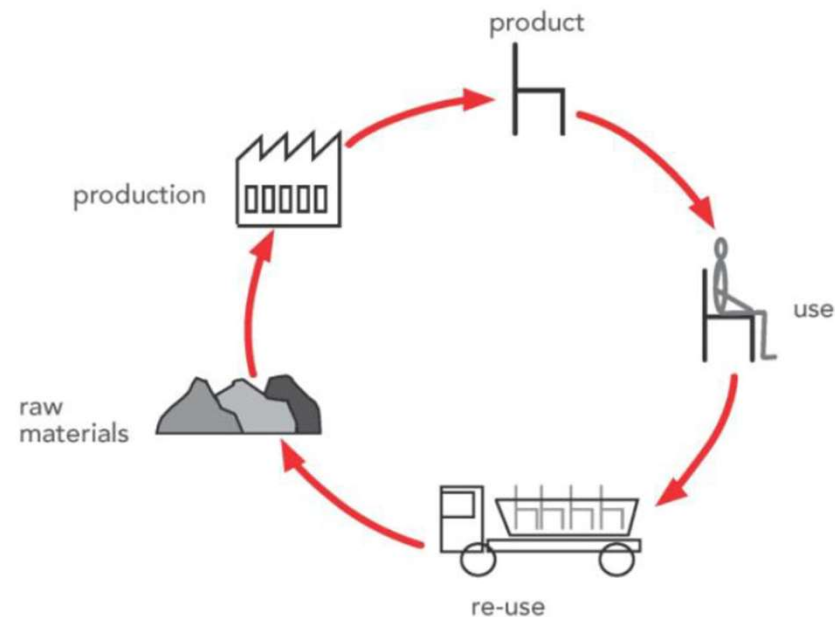
Recycled aggregates/natural aggregates





Construire ... avec quoi?

- ▶ Ne pas mélanger matériaux **organiques et inorganiques**



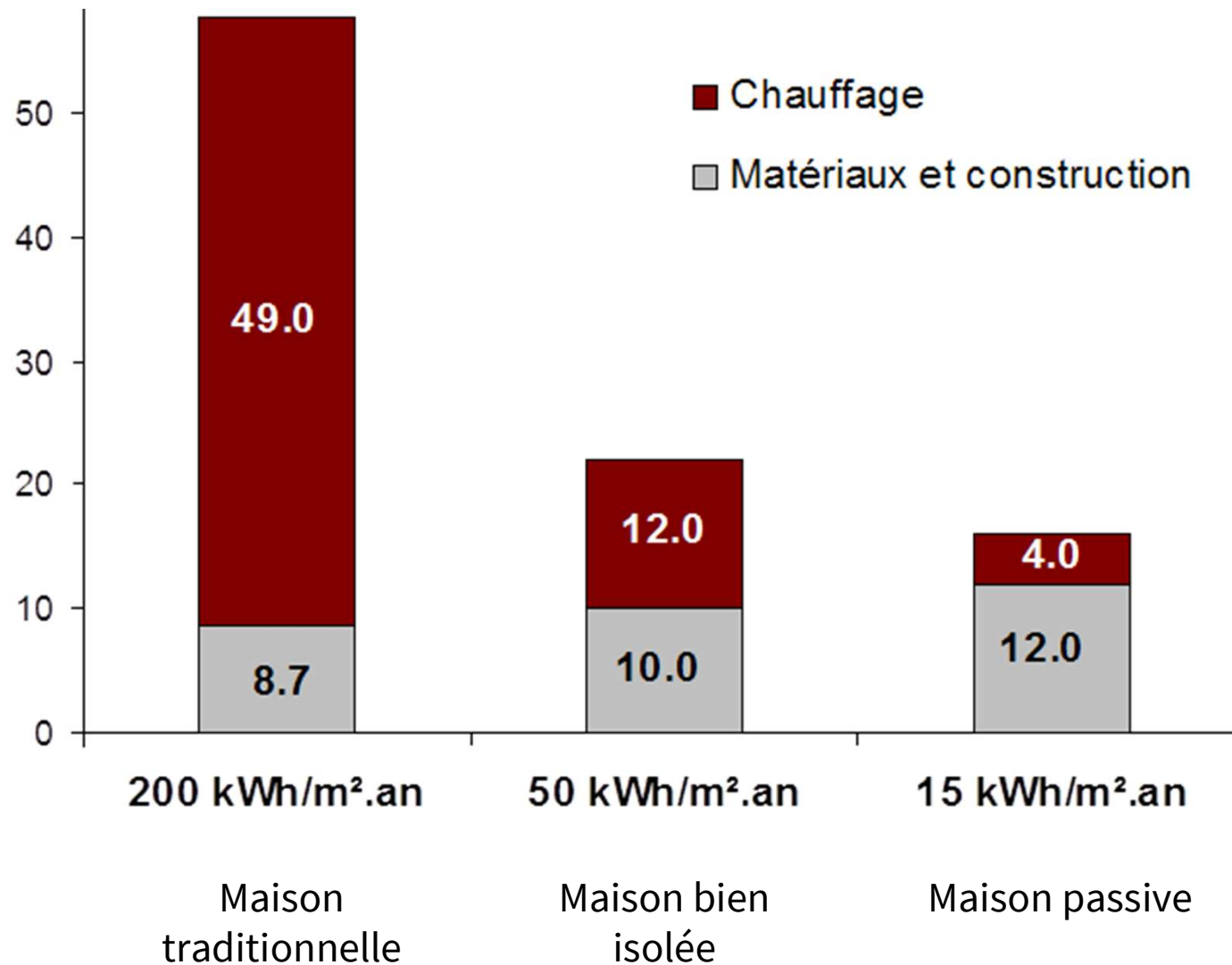
C2C - TECHNICAL NUTRIENT CYCLE

Construire ... avec quoi?

- ▶ la construction utilise et consomme 40% de l'énergie utilisée et produit près de 40% du CO₂



Construire ... avec quoi?



Que faire dans la construction?



(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: Réduire, Réutiliser et Recycler
 - Construire avec la nature

Architecture biologique : des champignons prennent la forme de structures en carton recyclé au sein de laquelle ils poussent, et se solidifient en une structure résistante pour un bâtiment. Créé par le Green Fab Lab de Valldaura à Barcelone.

John Krubsack's growing chair, 1919 (photo from treeshapers.net)



image by Quentin Chevrier - MAKERY



Vine bridge in the Iya valley, Japan (photo from Funzug.com)



(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: **Réduire**, Réutiliser et Recycler
 - Réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments





(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: **Réduire**, Réutiliser et Recycler
 - Utiliser des matériaux renouvelables



Photo PREFER



(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: **Réduire**, Réutiliser et Recycler
 - Utiliser des matériaux renouvelables





(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: **Réduire**, Réutiliser et Recycler
 - Utiliser des matières disponibles sans les modifier





(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: Réduire, **Réutiliser** et Recycler
 - Concevoir une construction modulaire



<http://blogconstructionmodulaire.com/actualites-modulaires/architecture-modulaire/>



(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: Réduire, **Réutiliser** et Recycler
 - Transformer une église en librairie ou hôtel



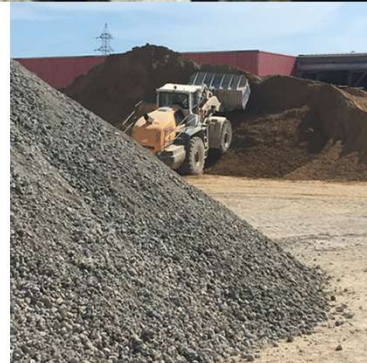
Martin's Dream Hotel, Mons

13th century Dominican church in
Maastricht, Holland



(Re)construire ... un (re)nouvellement

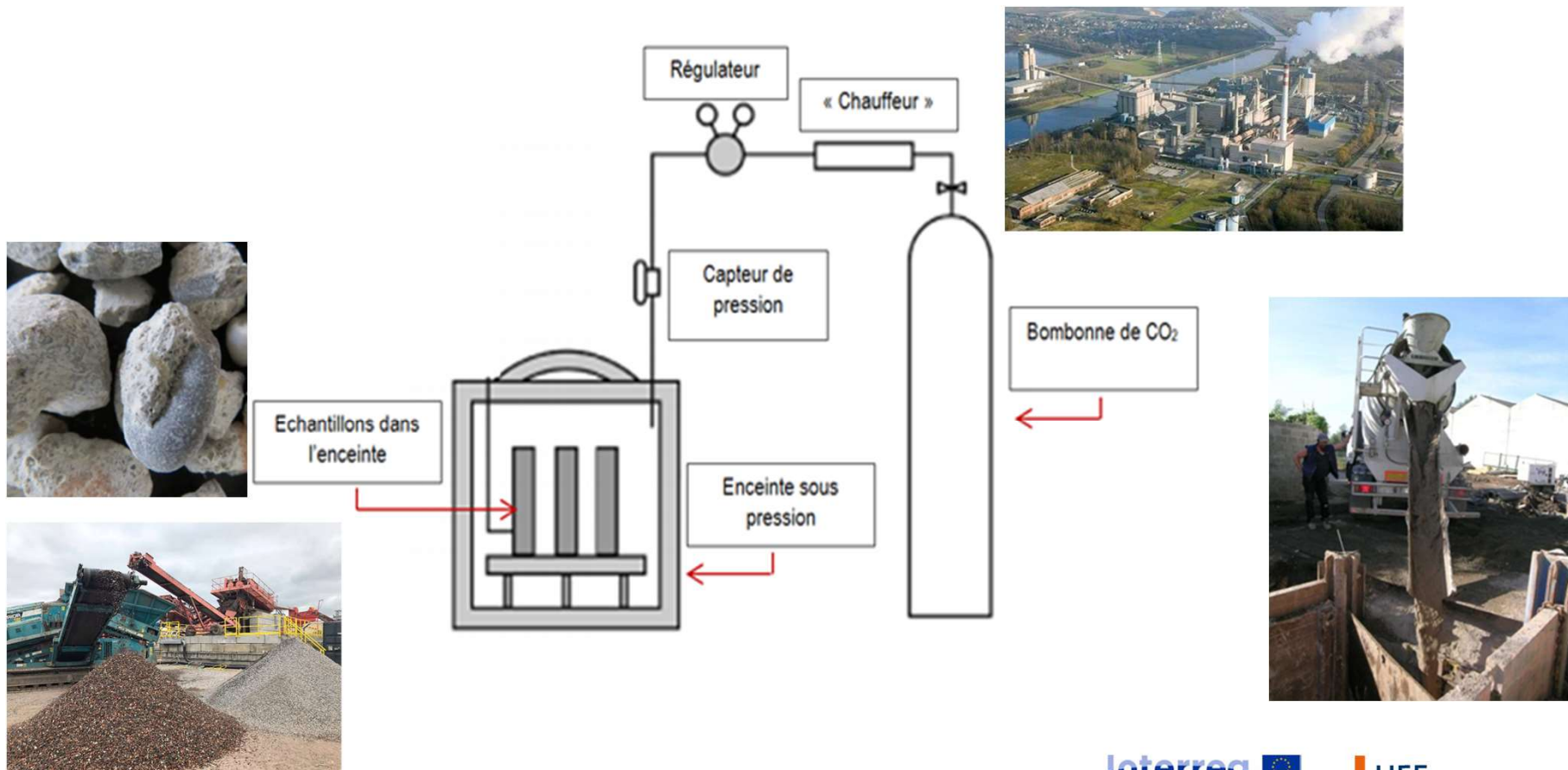
- ▶ 3R: Réduire, Réutiliser et **Recycler**
 - Recycler les déchets de construction et de demolition pour fabriquer des blocs





(Re)construire ... un (re)nouvellement

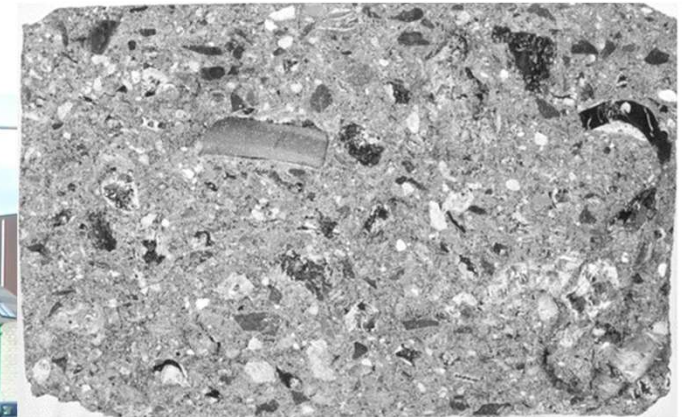
- ▶ 3R: Réduire, Réutiliser et **Recycler**
 - Capturer le CO₂ dans les déchets de béton





(Re)construire ... un (re)nouvellement

- ▶ 3R: Réduire, Réutiliser et **Recycler**
 - Recycler les mâchefers d'incinérateurs d'ordures ménagères



1 cm

Quelques exemples de
recyclage?

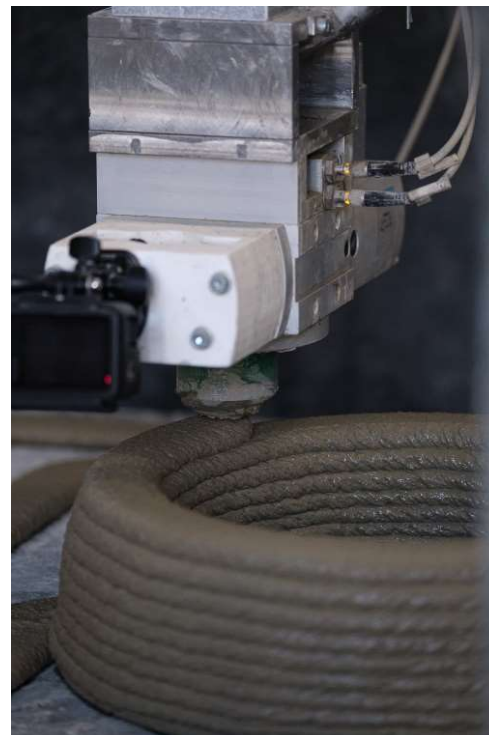
Prefabricated concrete



Rammed concrete



Parkour park



3D printing



Concrete blocks





Fines de briques

- ▶ Flow of brick waste: 1-2% of C&DW in BE/North of France
- ▶ Valorization
 - Reuse of bricks
 - Aggregates: landfilling/recycling for backfilling
 - Brick fine particles



Interreg 
EUROPEAN UNION
North-West Europe
SeRaMCo
European Regional Development Fund

THEMATIC PRIORITY:

 **RESOURCE AND MATERIALS EFFICIENCY**



Project objectives: increasing the use of construction and demolition waste as secondary raw materials for cement and concrete production.

Total budget received from Interreg North-West Europe (2014-2020):

€4.37 million of ERDF

Total project budget:
€7.28 million

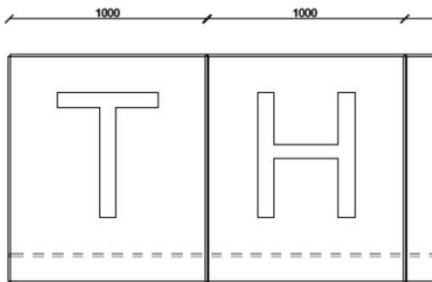
www.nweurope.eu

Secondary Raw Materials for Concrete precast products

Main Objective

Increase the use of construction and demolition wastes (concrete, bricks, tiles, ceramics) as recycled raw materials for cement and concrete production in NWE.

16/03/2017-15/09/2020





Parkour Park



Cement produced with recycled fines

Recycled concrete aggregates

Natural sand

R_c : 50-55 MPa
W/C \leq 0.45
Ciment \geq 340 kg/m³
Absorption d'eau \leq 6.5%



Standards NBN EN 206 and NBN B 15-001

- N Annex E (NBN EN 206) gives recommendations for using recycled aggregates
- N Two types of aggregates are defined ($d > 4\text{mm}$)
- N Sortie du Statut Déchet: SSD

Type A : concrete aggregates



Type B : mix aggregates



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%	20%	20%	20%	0%
Type B+	-	20%	0%	0%	0%	0%	0%

Interreg 
EUROPEAN UNION
North-West Europe
CIRMAP
European Regional Development Fund

THEMATIC PRIORITY:
 **RESOURCE AND MATERIALS EFFICIENCY**



PROJECT AREA

Project objectives:
CIRMAP aims at finding new opportunities for the valorisation of Recycled Concrete Fine Aggregate through 3D printing of customized shapes.

Total budget : € 6.98 Million
EU funding : € 4.19 Million
Duration: 36 months (April 2020 – March 2023)

 www.nweurope.eu



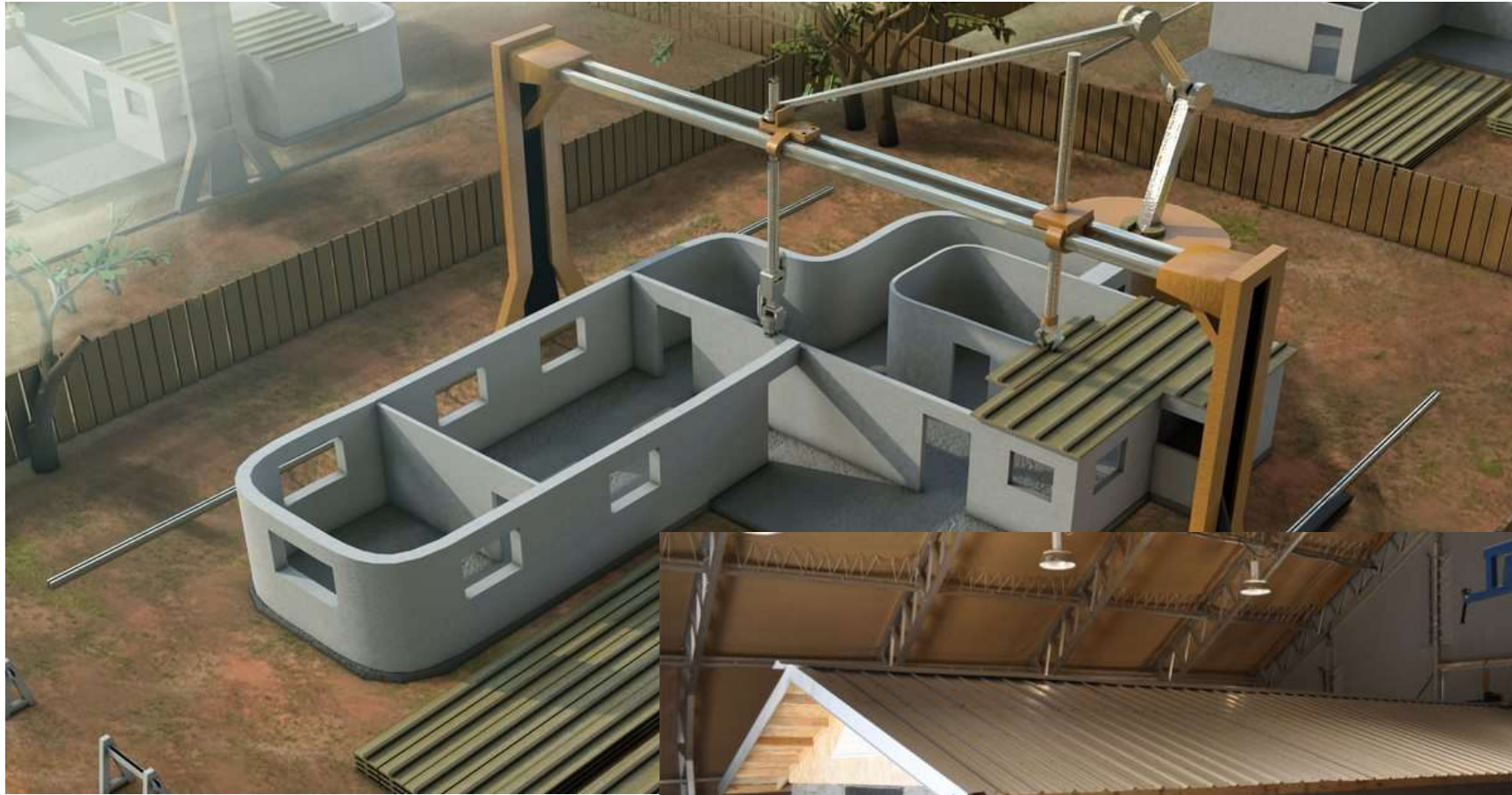
CIRMAP

Main Objective

Valorisation of Recycled fine aggregates through 3D printing.

01/04/2020-31/03/2023

Conclusions



www.build-green.fr

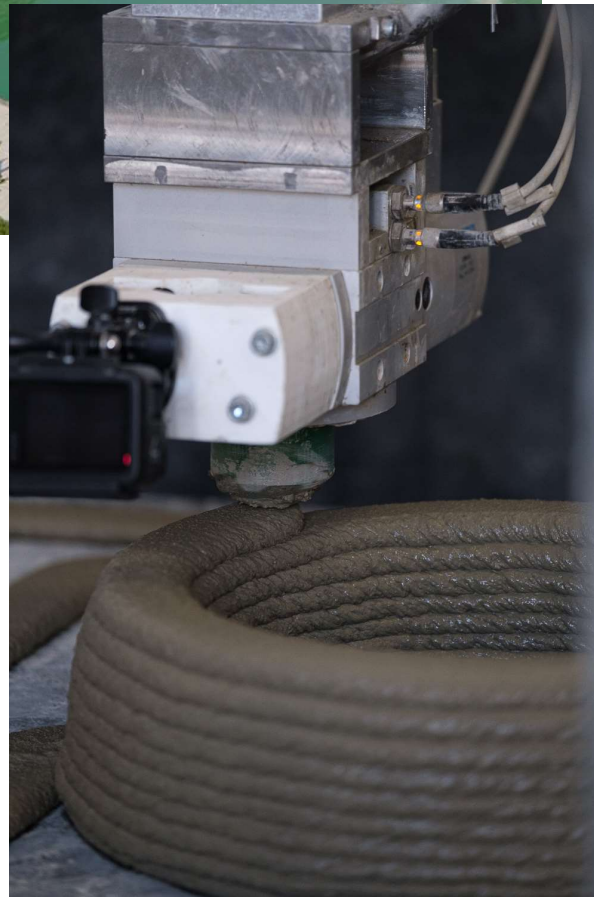


www.3dnatives.com

Conclusions



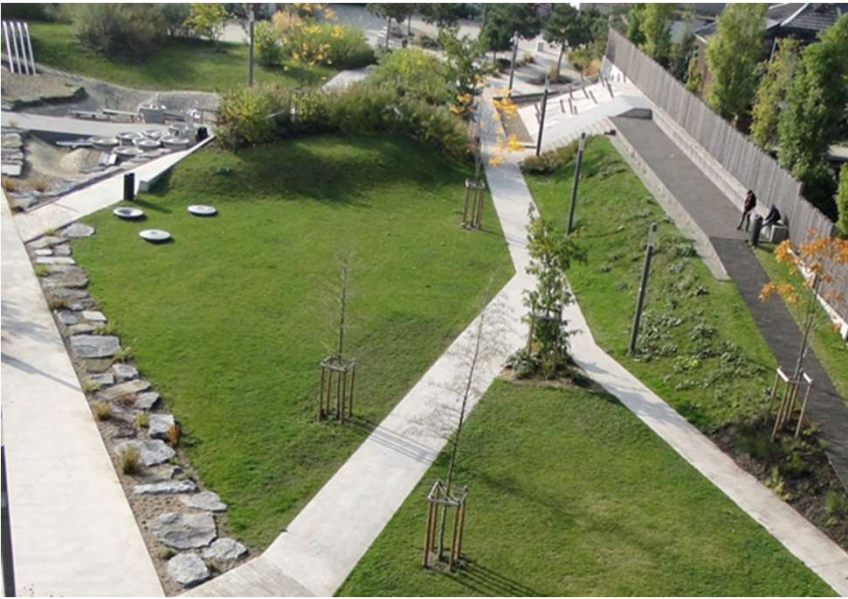
www.lesechos.fr



www.3dnatives.com



Urban furniture Bernard Serin park in Seraing





Vous voulez en savoir plus?



https://www.news.uliege.be/cms/c_9884429/fr/nouveau-mooc-construirecycler