

Rénovation, circularité et support numérique

Ivanka Iordanova, Ph.D.
Professeure, ÉTS

28 mai 2024

Points principaux

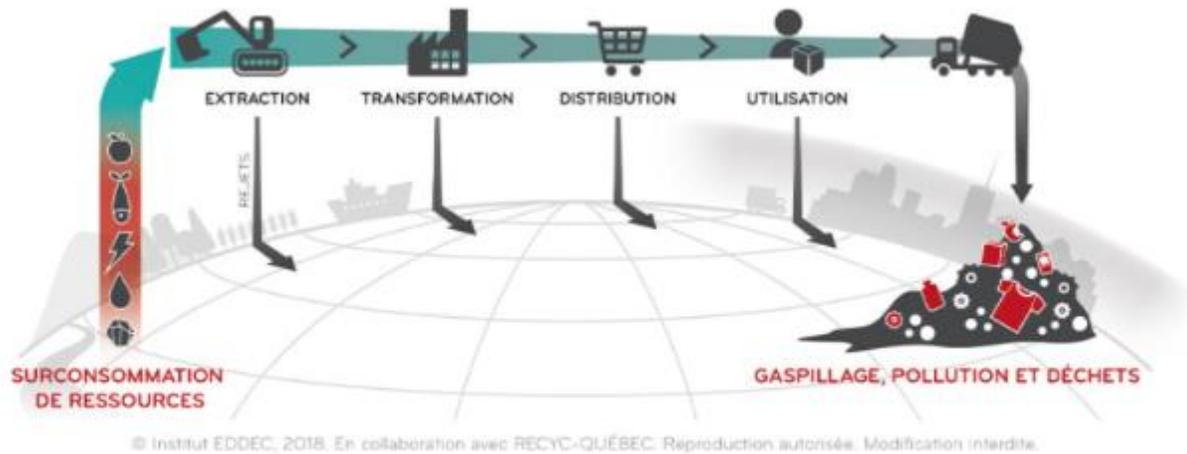
- *La circularité dans le contexte de l'environnement bâti*
- *Processus de rénovation d'un bâtiment*
 - *Sélection et priorisation des critères d'évaluation*
 - *Relevé et caractérisation de l'existant*
 - *Conception, simulation, évaluation*
 - *Construction*
 - *Opération*
 - *Déconstruction*
- *Notes de la fin*



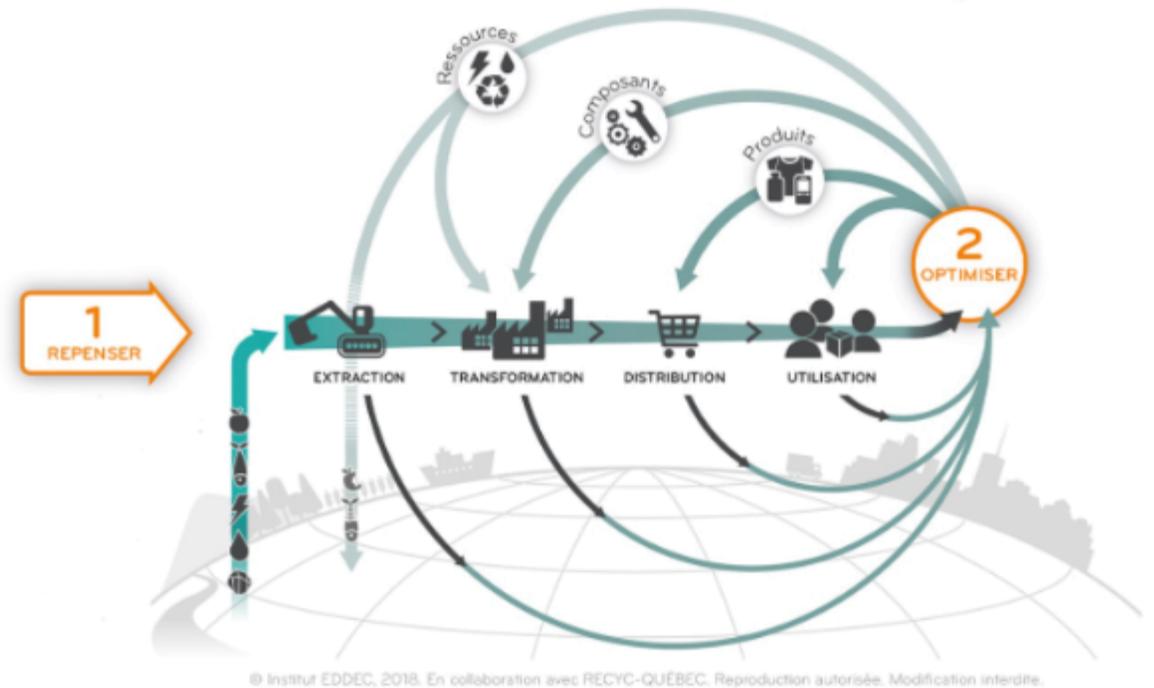
Transformation de l'édifice Gaston Miron, Montréal

*La circularité dans le contexte
de l'environnement bâti*

L'économie circulaire – les schémas



L'ÉCONOMIE LINÉAIRE

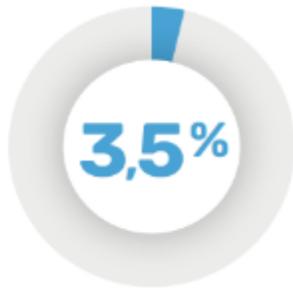


L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Feuille de route gouvernementale en économie circulaire 2024-2028

Canada: 6% of materials come from recycled sources,
3/4 of materials used are wasted

Québec: taux de circularité
(Récyc Québec)



Ambition: 9,8% d'ici 2030
(réduction de 50% des ressources)

Pays Bas – 24,5%

De la Feuille de route:

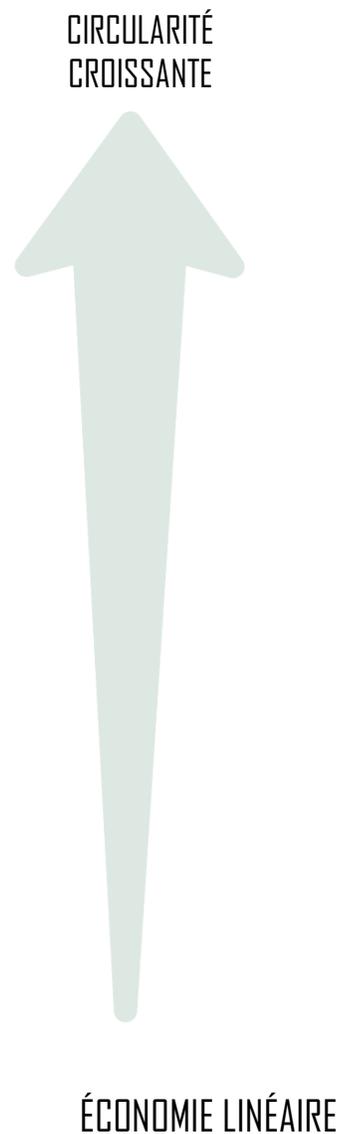
Secteurs priorités – avec le plus grand potentiel de contribuer à l'ÉC



OBJECTIF 8 – ALLONGER LA DURÉE DE VIE DES MATÉRIAUX ET DES INFRASTRUCTURES

L'un des freins majeurs à cette étape est l'augmentation potentielle des coûts induits par l'instauration de nouveaux processus de maintenance des matériaux et des infrastructures. Remettre en état des composantes plutôt que les remplacer exige des interventions plus fréquentes. Les changements de pratiques de gestion et de maintenance qui en résultent sont des freins. Toutefois, allonger la durée de vie des matériaux et des infrastructures présente des avantages économiques non négligeables. L'utilisation de matériaux de construction usagés peut permettre des économies substantielles (acier, bois, fenêtres, portes, etc.), en plus de réduire l'empreinte environnementale des projets.

Stratégies de l'économie circulaire



Utilisation et fabrication plus intelligentes des produits	R0	Refuser	Rendre le produit superflu en abandonnant sa fonction ou en offrant la même fonction avec un produit radicalement différent
	R1	Repenser	Rendre l'utilisation du produit plus intensive (ex.: en partageant les produits ou en mettant sur le marché produits multifonctionnels)
	R2	Réduire	Accroître l'efficacité de la fabrication ou de l'utilisation du produit en consommant moins de ressources naturelles
Prolongement de la durée de vie des produits et de leurs parties	R3	Réutiliser	Réutilisation par un autre consommateur d'un produit mis au rebut qui est encore en bon état et remplit sa fonction initiale
	R4	Réparer	Réparation et entretien du produit défectueux afin qu'il puisse être utilisé selon sa fonction d'origine
	R5	Rénover	Restaurer un ancien produit et le mettre à jour
	R6	Réusiner	Utiliser les parties d'un produit mis au rebut dans un nouveau produit ayant la même fonction
Application utile des matériaux	R7	Réorienter	Utiliser un produit mis au rebut ou ses parties dans un nouveau produit ayant une fonction différente
	R8	Recycler	Transformer les matériaux pour obtenir une qualité identique (haute qualité) ou inférieure (basse qualité)
	R9	Récupérer	Incinération de matériaux avec récupération d'énergie

Source: Potting et al., 2017

Rénovation vs rétrofit des bâtiments

(renovation vs refurbishment vs retrofit)

- **Rénovation** = processus à remettre quelque chose en bon état.
- **Rétrofit** = fournir à quelque chose un composant ou une fonctionnalité qui n'a pas été installé lors de la fabrication ou ajouter quelque chose qu'il n'avait pas lors de sa construction initiale.
Retrofit - the upgrading of a building to enable it to respond to the imperative of climate change. Retrofit may involve repair, renovation, refurbishment and/or restoration of the building, providing the aim is to mitigate against climate change and ensure the building is well adapted for our changing climate.
- **Refurbishment** (remise à neuf) = processus d'amélioration par le nettoyage, la décoration et le rééquipement.
- **Adaptabilité** = la facilité avec laquelle les bâtiments peuvent être physiquement modifiés, déconstruits, rénovés, reconfigurés ou réaffectés *pour* s'adapter aux nouveaux besoins des occupants, de la société et de l'environnement avec un minimum de perturbations pour retarder la fin du cycle de vie du bâtiment.

*terminology for building alterations:
renovation, retrofit, renewal,
refurbishment, restoration and
revitalization (CSA)
conversion, rehabilitate, repurpose*

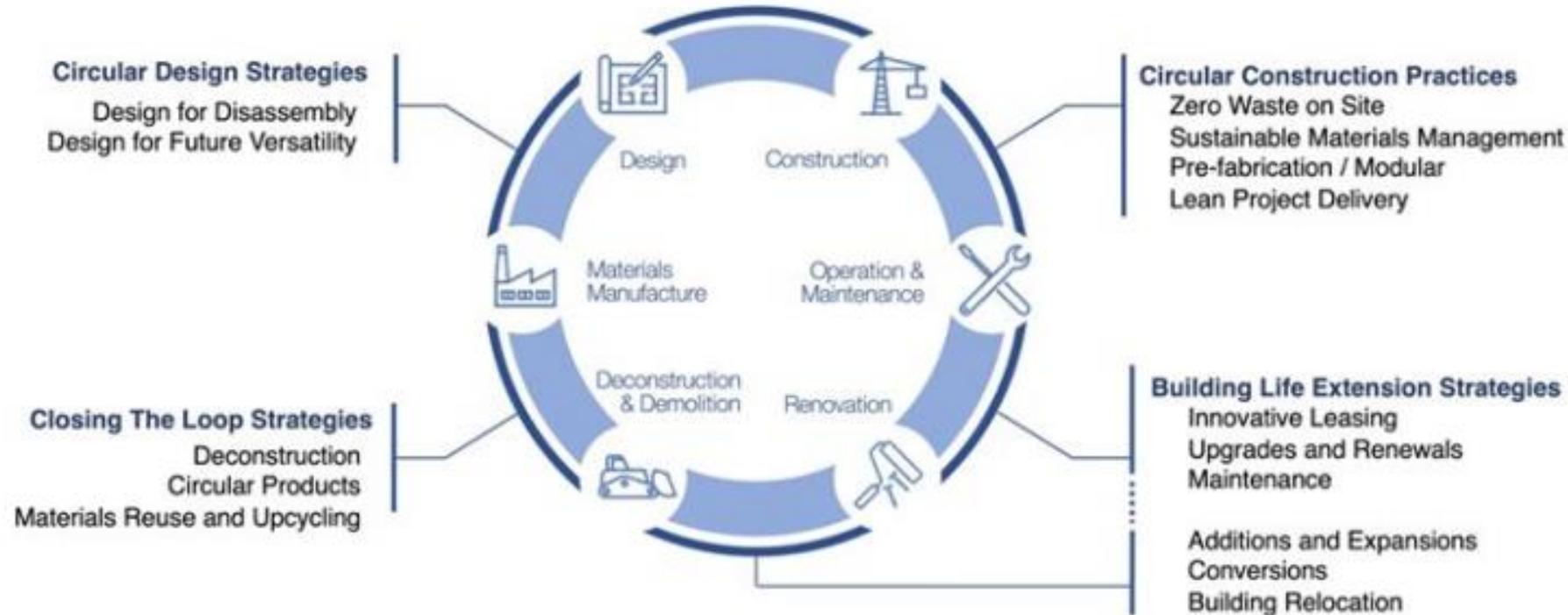
*...réfection; réutilisation
adaptative; adaptation;
requalification;
conversion*

Processus de rénovation d'un bâtiment

Natural Language Processing:

"Please convert my existing office plan into a residential plan, including two bedrooms and one bathroom."

Cycle de vie d'un bâtiment et les stratégies de rétrofit



Ressources:

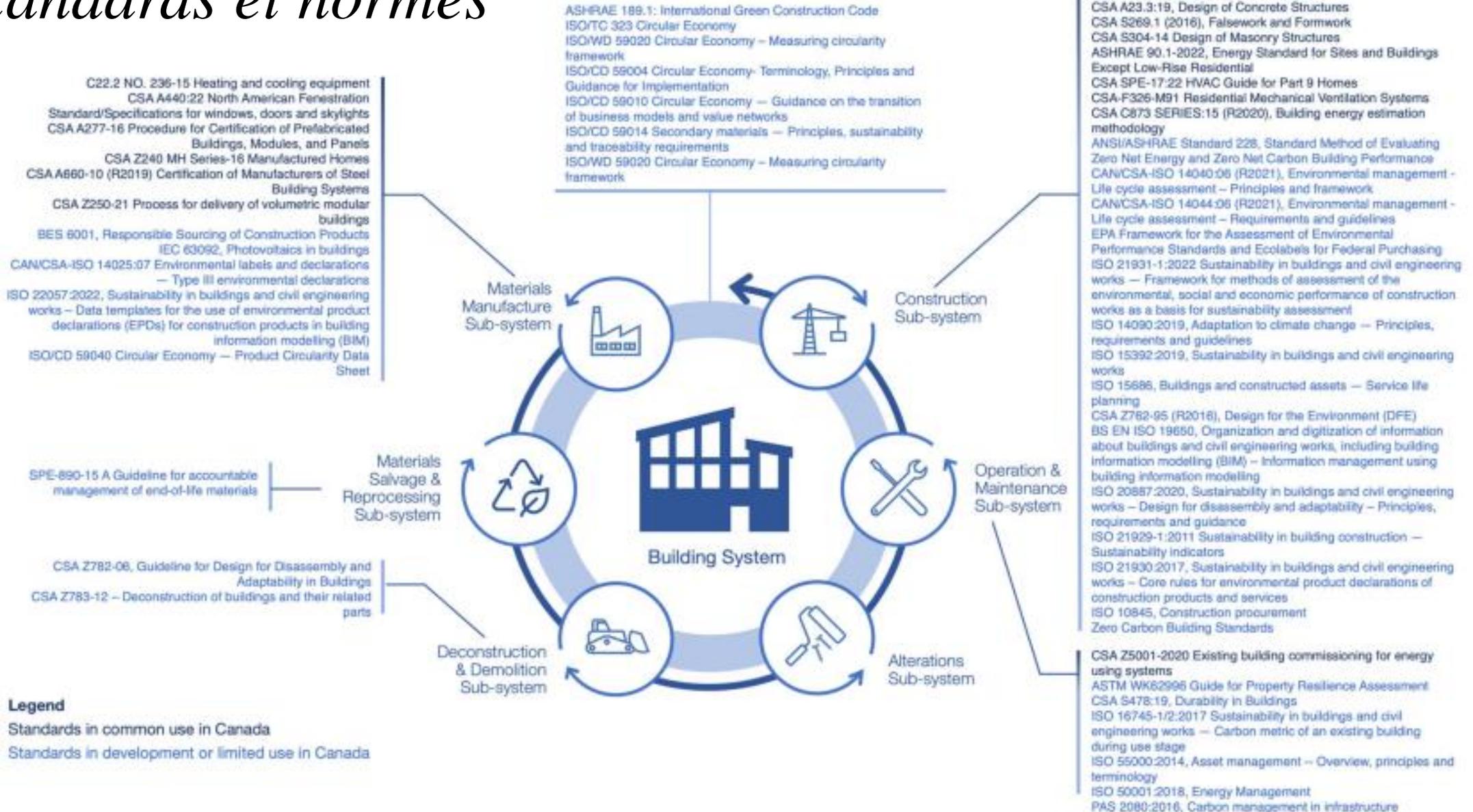
Canada: Model national retrofit code – sera publié vers 2030

Québec circulaire,

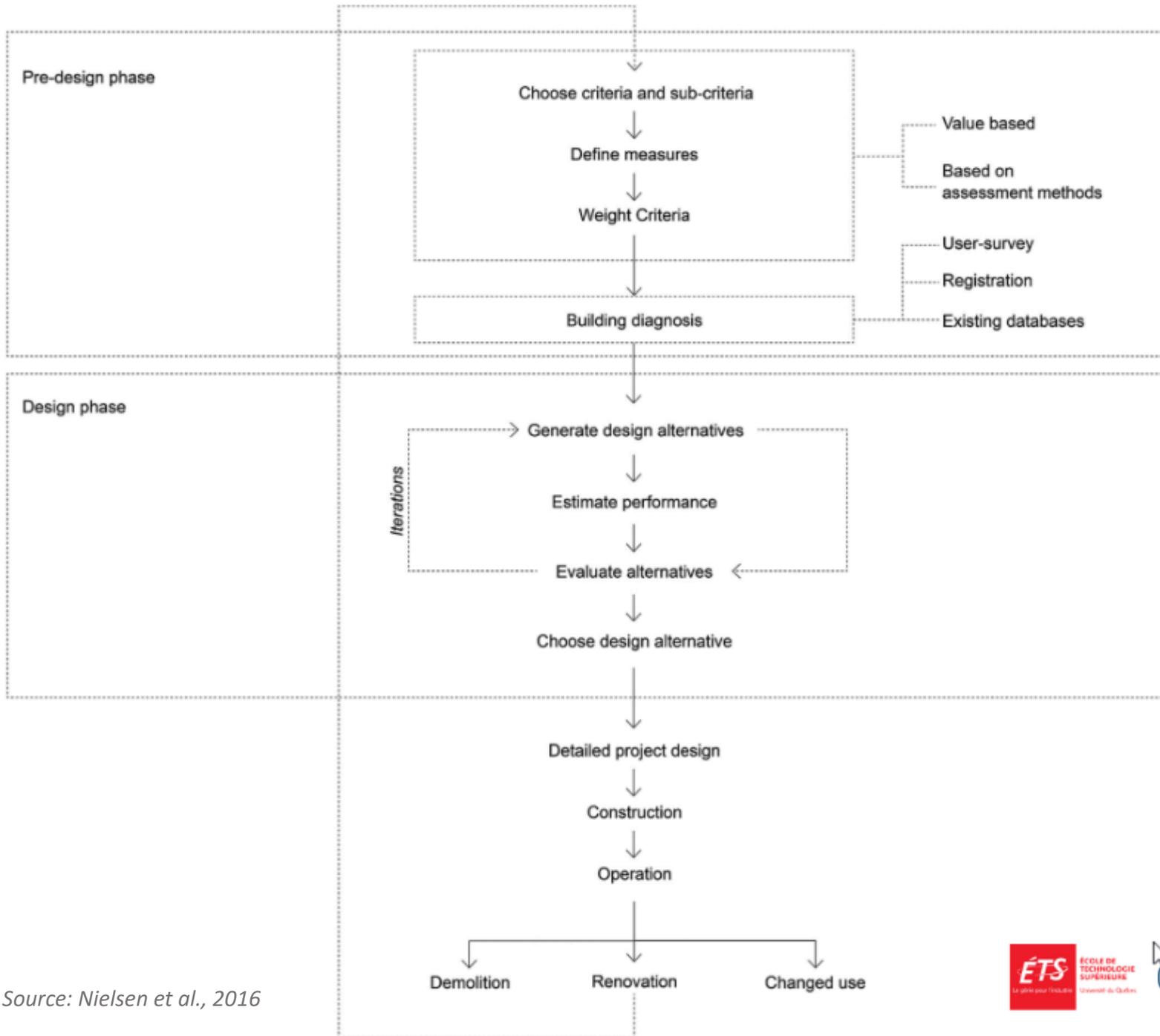
Centre for Intersectoral Studies and Research in Circular Economy (CERIEC)

BC's retrofit code – 2025; Vancouver

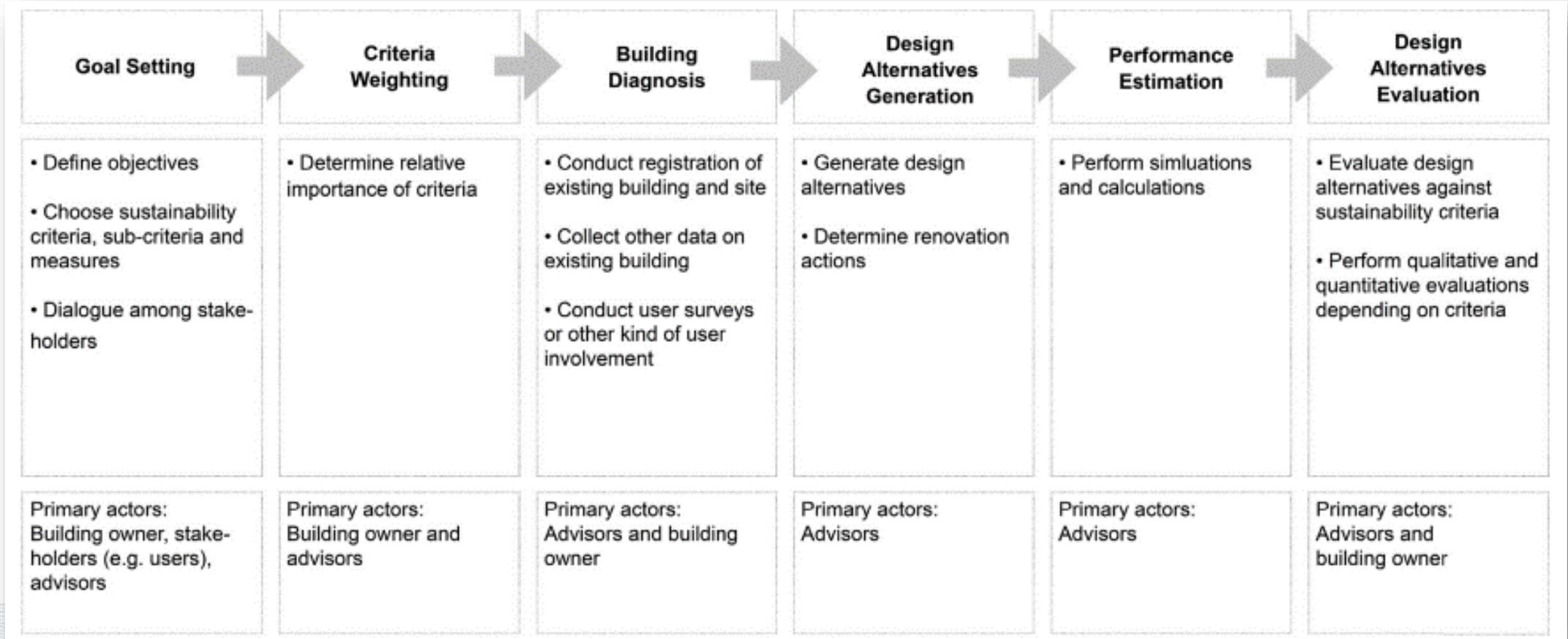
Standards et normes

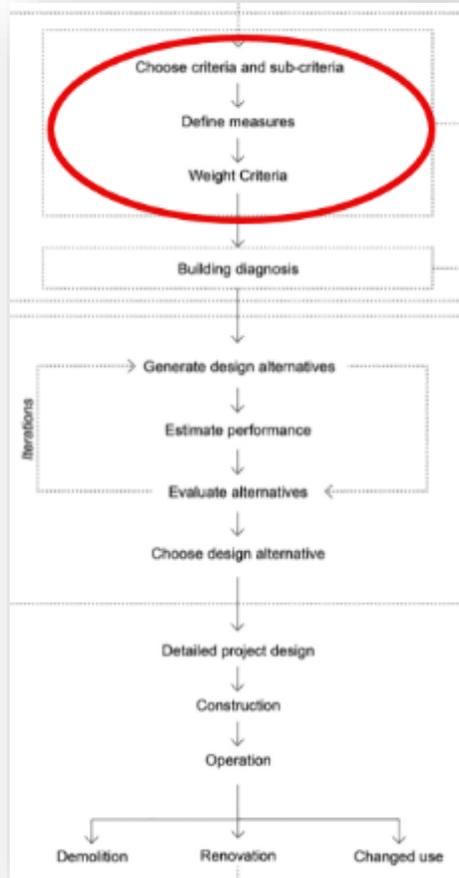


Processus de rénovation d'un bâtiment



Potentiel d'utilisation de méthodes formelles numériques d'aide à la décision par phase de projet





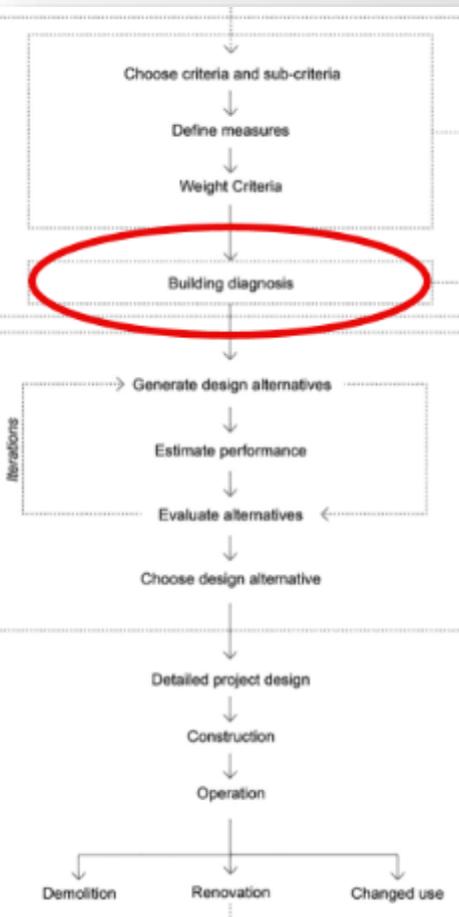
Sélection et priorisation des critères d'évaluation

RENO-Evalue (tableau partiel des critères)

Stakeholders
Environment, Organization, and
Economy

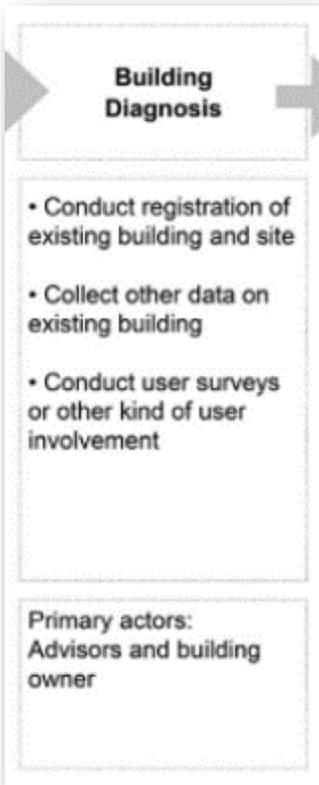
RENO-EVALUE description of Sorgenfrivang II.

Category	Parameter	Factors	Preconditions
Stakeholders	Product	Architecture and aesthetics Function and usability	<ul style="list-style-type: none"> • Important to keep the architectural expression • Larger balconies (50 %) and lifts • New kitchens and bathrooms • Glass covering of stairwells.
		Indoor climate and comfort	<ul style="list-style-type: none"> • Less draught/cold bridges • Improved temperature regulation • More daylight/improved outlook • Mechanical ventilation
		Durability/future securing	<ul style="list-style-type: none"> • New facades and installations with long lifetime (min. 30 years) • Comply with current energy requirements
Environment	Process	Collaboration between partners Mutual information Involvement of users	<ul style="list-style-type: none"> • Based on traditional principles • Follows traditional principles • Workshops in 3 groups on different topics • Tenants meeting with voting • Tenants can stay during renovation
		Considerations for users during construction	
		Energy consumption	<ul style="list-style-type: none"> • Expected reduction from 89.9 kWh/m²/year to 30.6 kWh/m²/year – up to 66 % in average • Energy label improvement from D to A. • Greatest effect by replacing windows (38 %) and glass covering of stairwells (22 %) • 900 m² photo voltaic cells on roofs • Expected effect: 135.000 kWh/year • Rain water collection on low buildings • Rain water for laundry • Not known • No changes – waste suction system was installed in 2002. • No changes • CO₂ reduction not estimated. • CO₂ neutral laundry. • Renewable energy production (photo voltaic cells on roof)) • Reuse of rain water • Energy saving lighting in common areas
Climate	Resources	Renewable energy production	
		Water consumption Reuse of water Reuse of building materials Amount of waste Reuse of waste	
		CO ₂ emission	



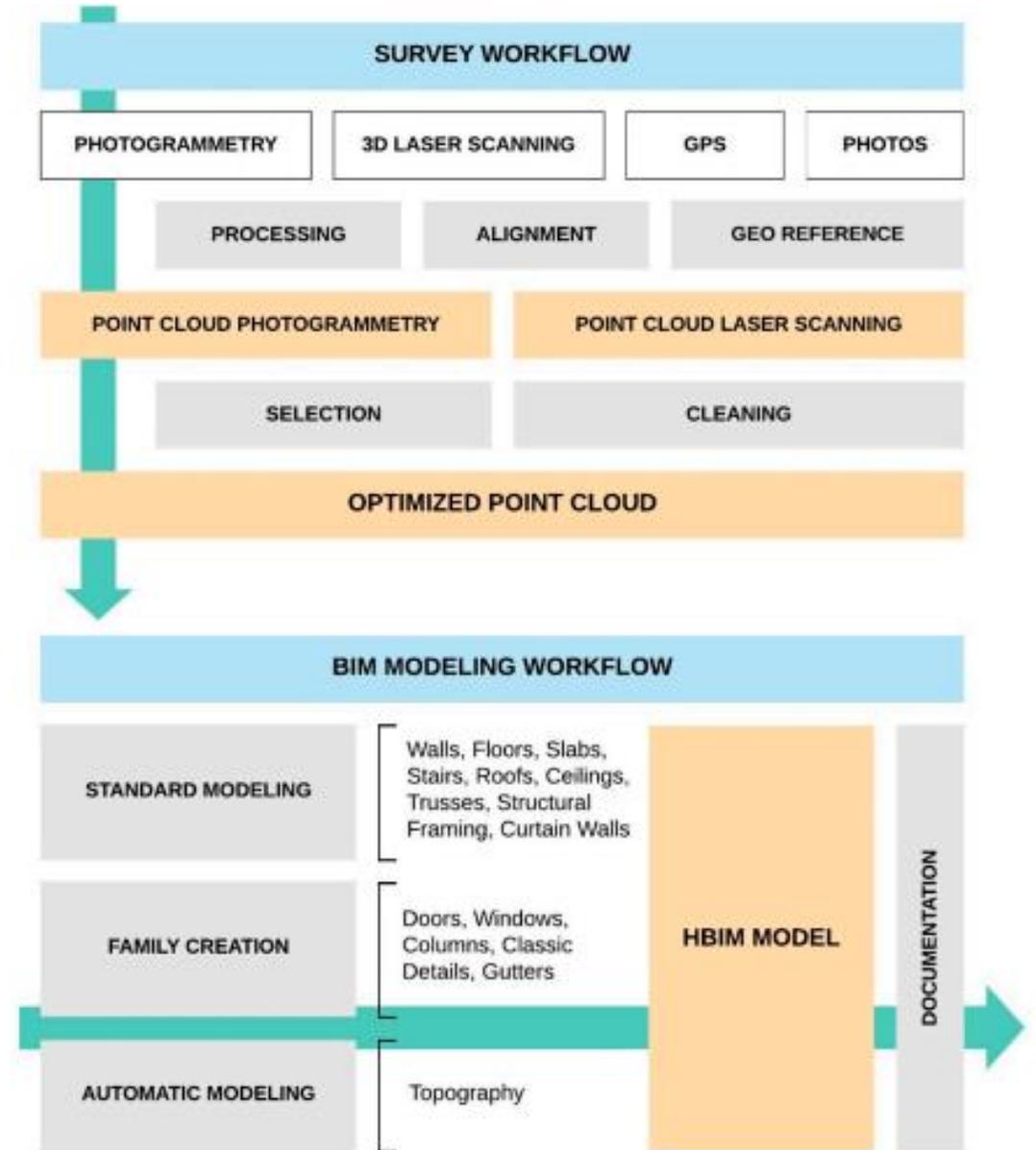
*Pré-design:
Relevé et caractérisation
de l'existant*

Diagnostic du bâtiment



- Balayage au laser 3D (terrestre, mobile...)
- Photogrammétrie (drone)
- Photos (avec reconnaissance de caractéristiques par IA)
- GPS (connaissant les années de construction et les caractéristiques d'une région, infrastructures, etc.)

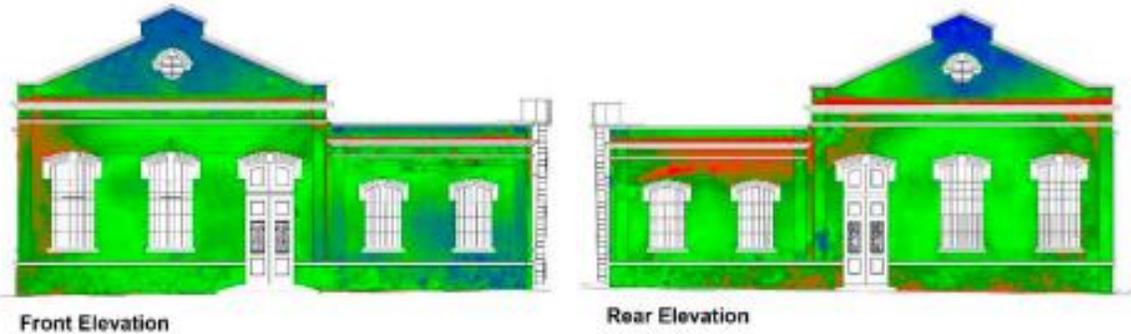
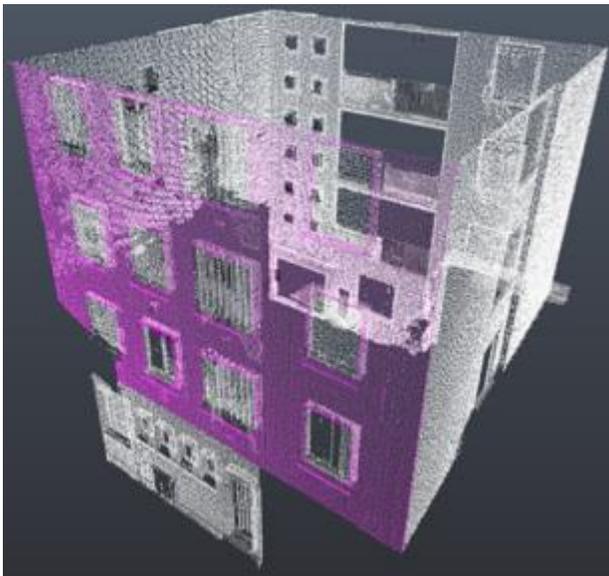
Scan-to-BIM workflow



Source: Rocha et al., 2020

HBIM – Historic, Heritage -BIM

Balayage au laser 3D +
Photogrammétrie +
Modèle BIM

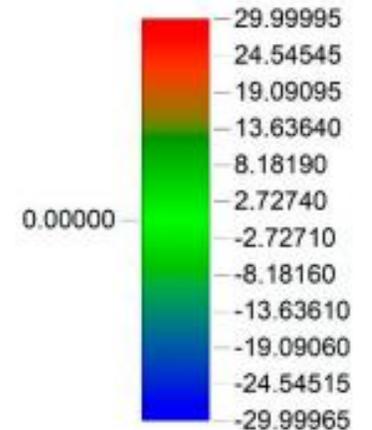


Right Elevation



Left Elevation

APL Face Deviation Style (Millimeters)

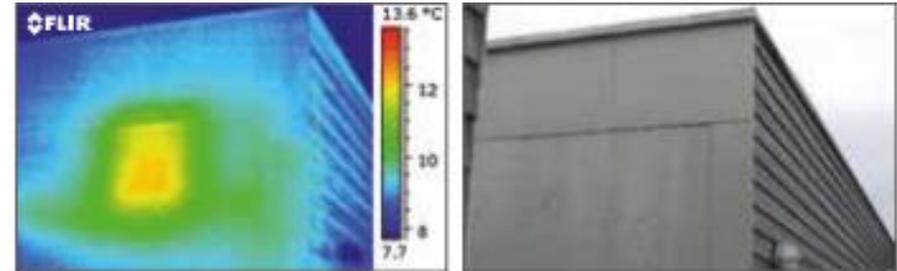


Analyze face deviations.
Distance from Face

Caméra thermique

Aide à :

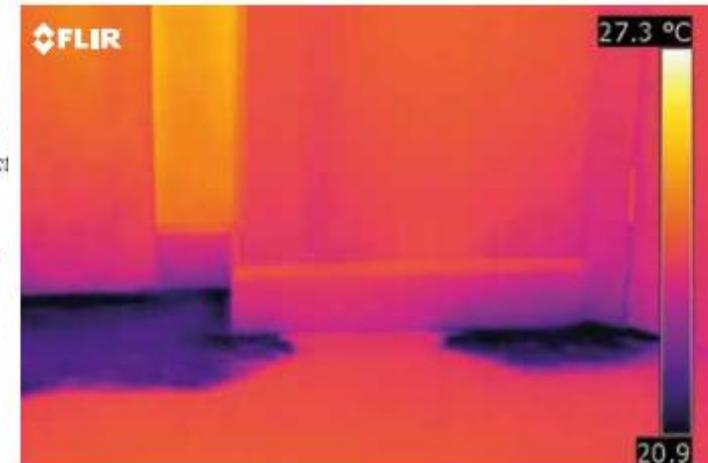
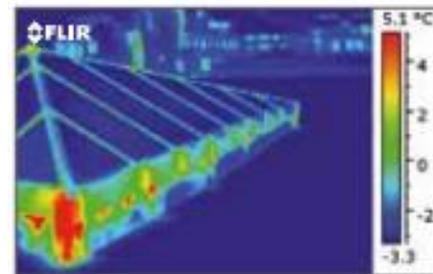
- Visualiser les pertes d'énergie
- Détecter l'isolation manquante ou défectueuse
- Les fuites d'air à la source
- Trouver l'humidité dans l'isolation, dans les toits et les murs, tant dans la structure interne qu'externe
- Détecter les moisissures et les mauvais zones isolées
- Localiser les ponts thermiques
- Localiser les infiltrations d'eau dans les toits plats
- Détecter les brèches dans les conduites d'eau chaude
- Détecter les défauts de construction
- Trouver les défauts dans les conduites d'alimentation et de chauffage urbain
- Détecter les défauts électriques



This building is warmer on the inside. It is a sandwich construction, concrete - insulation - concrete. One section of insulation is missing which is not possible to see visually either from the inside or the outside. Here thermal imaging can see what the human eye can't.



Framework construction. Many of the sections are visible by the warmer colors.



Moisture intrusion in floor, impossible to see with the human eye, but clearly visible on the thermal image.

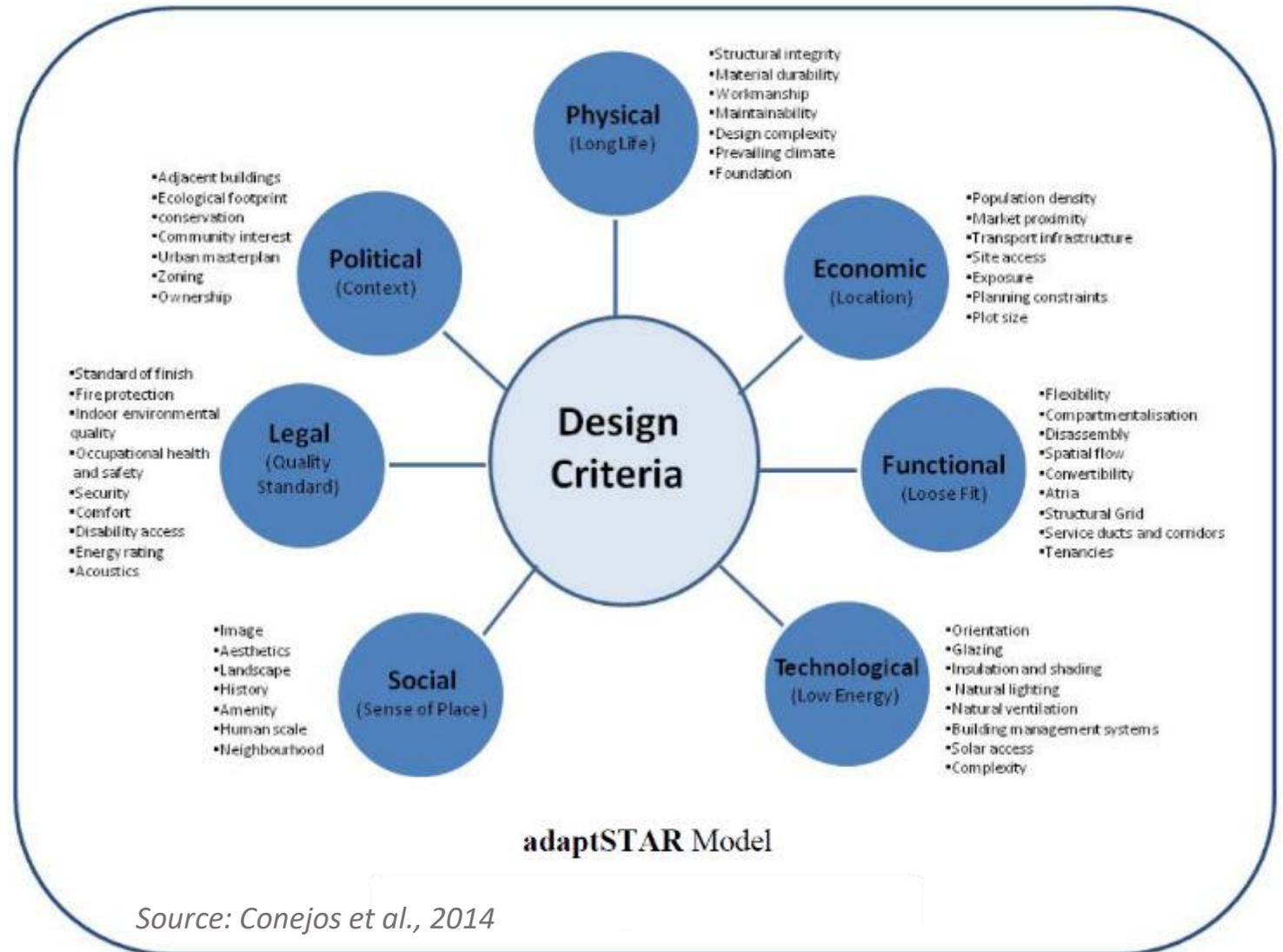
Glass roof above an atrium. It is watertight, but not air tight. Warm air escapes because of the over pressure. The solution is to air tighten the glass roof.

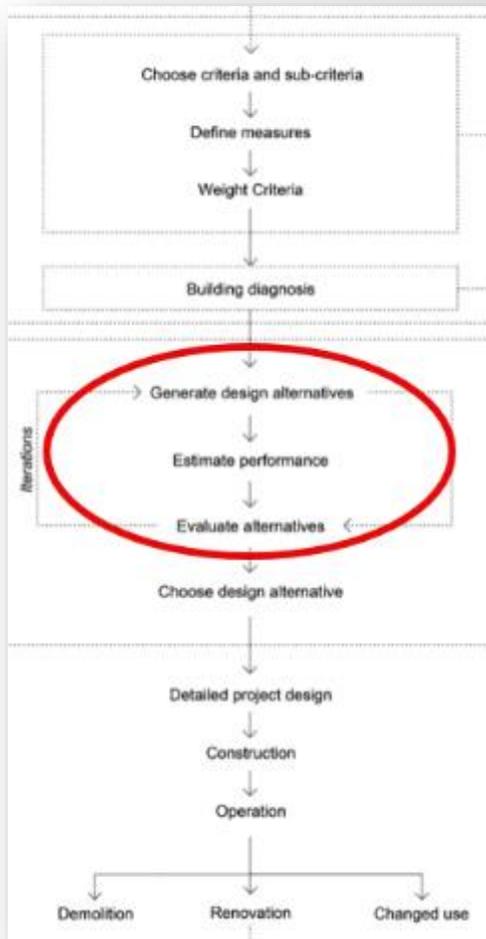
www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf

Mesure du potentiel d'un bâtiment existant pour une réutilisation

Types de mesures:

- Discrètes
- Subjectives, intangibles
- Quantitatives, objectivement mesurables





Conception :

*générer des alternatives,
simuler la performance,
évaluer les alternatives*

Simuler et comparer les alternatives

Results from the evaluation of measures for the case study building, domestic electricity not included. All square meters refer to Heated Floor Area (HFA) of the building.

	Energy		Emissions		Costs		Investment			
	Reduction in energy use		Greenhouse gas emissions		Energy	Maintenance	Total	Positive cash flow	Pay-back time	Investment per energy saving
	kWh/m ² ,yr	%	Material production	Mtrl. prod. + Operation energy	€/m ² ,yr	€/m ² ,yr	€	Year	Year	€/kWh
			kgCO ₂ e/m ² ,yr	kgCO ₂ e/m ² ,yr						
Measure 1	46.5	25.8	0.40	-0.20	-2.44	0.20	31,973	11	20	0.04
Measure 2	15.7	8.7	0.30	-0.22	-0.86	0.00				
Measure 3	11.6	6.4	0.47	0.09	-0.64	0.00				
Measure 4	19.4	10.8	0.09	-0.55	-1.07	0.00				
Measure 5	9.9	5.5	0.30	-0.02	-0.54	0.00				
Measure 6	8.6	4.8	0.06	-0.22	-0.47	0.00				
Measure 7	1.4	0.8	0.01	-0.03	-0.08	0.00				
Measure 8	12.5	6.9	0.14	-0.28	-0.69	0.00				
Measure 9	2.3	1.3	0.83	0.05	-0.22	0.00				
Final perf.	62.2	65.5	2.6	11.4	4.3	0.2				
<i>Start. point</i>	<i>180.1</i>	-	-	<i>12.5</i>	<i>10.6</i>	-				

- Measure 1: Installation of mechanical exhaust and supply air ventilation with central air handling unit with
 Measure 2: Installation of waste water heat exchanger and installation of low flow fixtures in kitchen and
 Measure 3: Change of windows, U-value 1.1 W/m², K (measure 11 in Table 11).
 Measure 4: Additional insulation on outside of exterior wall, 200 mm XPS board (measure 4 in Table 3).
 Measure 5: Additional insulation of basement floor between supporting walls, 200 mm XPS board (measure
 Measure 6: Additional insulation of attic, 400 mm loose mineral wool (measure 9 in Table 3).
 Measure 7: Additional insulation on outer side of basement walls below ground, 70 mm XPS boards (meas
 Measure 8: Installation of solar collector system, 20 m² (measure 20 in Table 3).
 Measure 9: Installation of PV-cell system, 15 m² (measure 21 in Table 3).

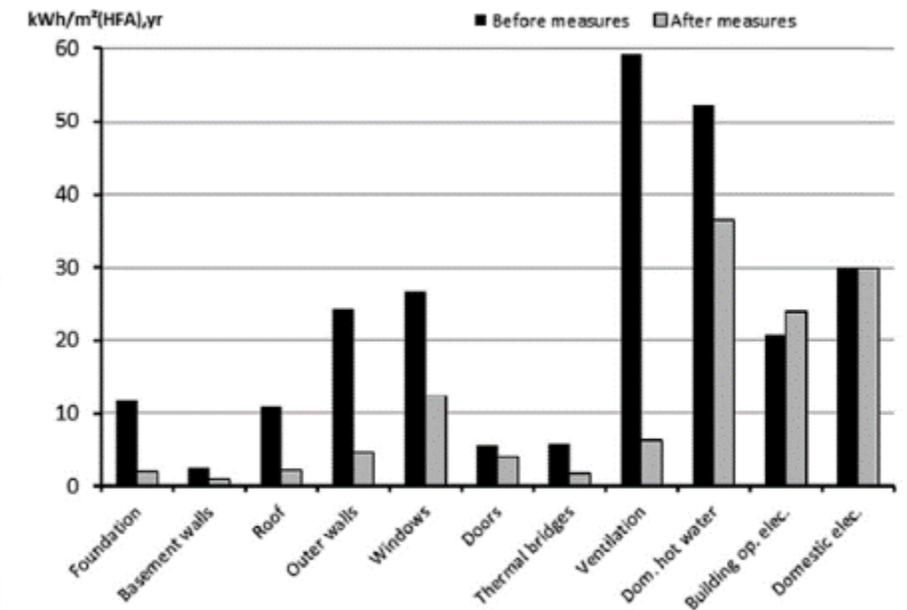


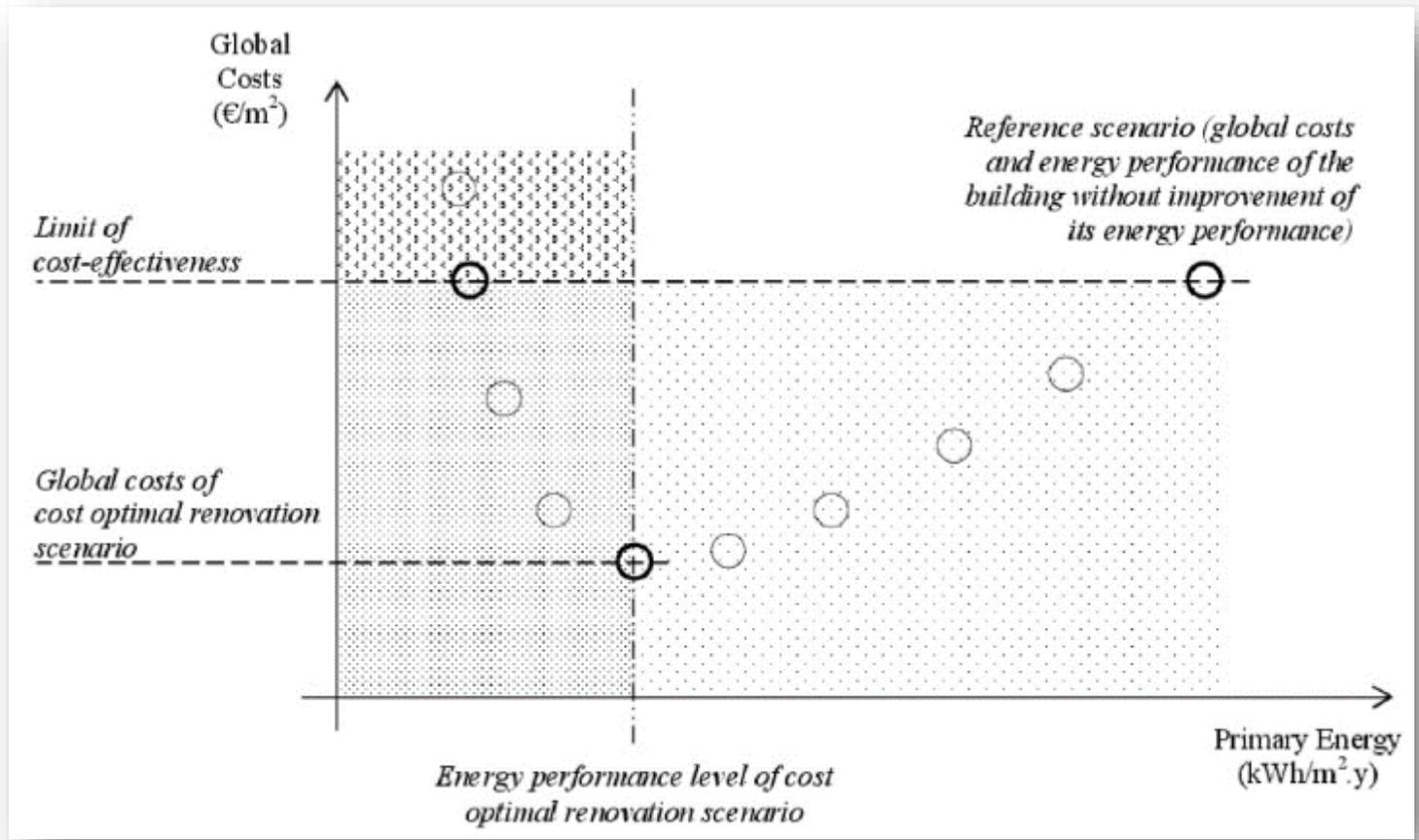
Fig. 5. Calculated energy loss for different parts of the building, before and after improvements; diagram presented in the BECEREN tool.

Évaluation multicritère: Coût vs performance énergétique

Design Alternatives Evaluation

- Evaluate design alternatives against sustainability criteria
- Perform qualitative and quantitative evaluations depending on criteria

Primary actors:
Advisors and building owner



- Renovation scenarios improving energy performance and reducing global costs
- Renovation scenarios improving energy performance beyond cost optimal still being cost effective
- Renovation scenarios improving energy performance but not cost effective

BIM et Conception intégrée

- Prendre des décisions informées
- Explorer des alternatives
- Optimiser utilisant des algorithmes, ou de l'IA

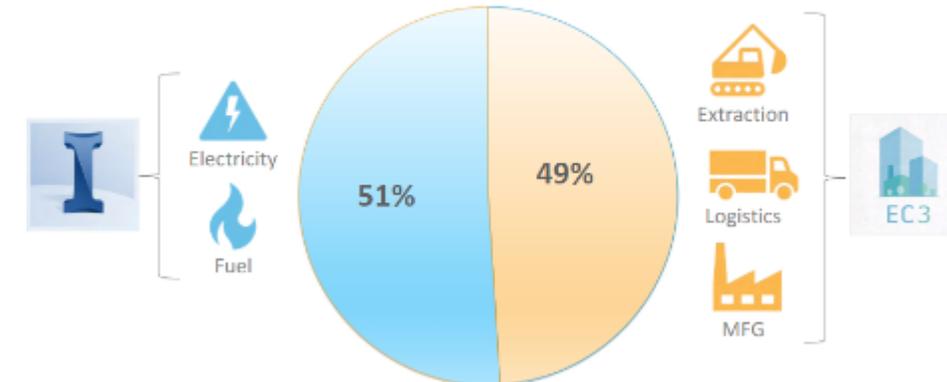
Design Alternatives Evaluation

- Evaluate design alternatives against sustainability criteria
- Perform qualitative and quantitative evaluations depending on criteria

Primary actors:
Advisors and building owner



Total carbon from buildings → 2050



La conception en vue d'un bâtiment adaptable

...ou réversible?

Buildings As Material Banks (BAMB) - EU :

“spatial reversibility” aims to extend the life of the building
by facilitating changes in future use and function;

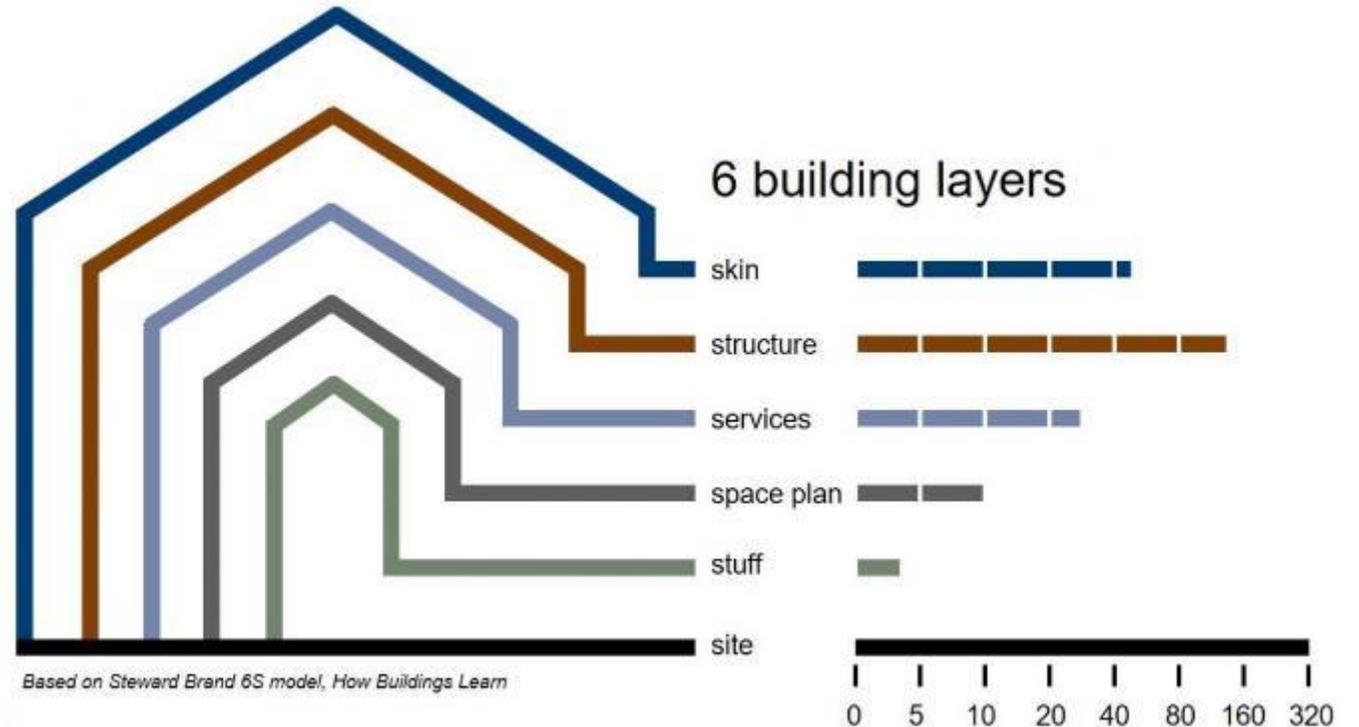
“technical reversibility” aims to dismantle and reuse
elements, components and materials.

Stratégie principale: Building Layers (shearing layers)

- Les ‘couches’ offrent une façon de penser le bâtiment qui relie le temps et la forme matérielle du bâtiment, en concevant les composants comme différentes «couches» de longévité.

Stratégie de conception:

- Séparation des systèmes selon leur longévité
- Connexions ‘sèches’
 - Construction modulaire
 - IBS (Industrialized Building Systems)
- Structural decomposition ‘Super Skeleton & Intelligent Infill’
- Open Building concept
- Systemic multilevel grids
- Open engineering systems



Source: Building layers and time
(adapted from Brand, 1994)

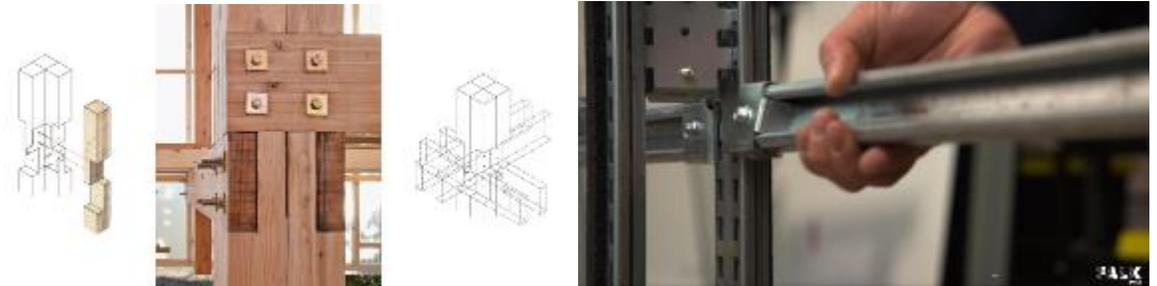
Les prérequis – numérisation + industrialisation

Bénéfices de la numérisation *(entre autres)*

- Coordination précise (BIM)
- Simulation de l'adaptabilité
- DfMA – DfMAd
(Design for Manufacturing & Adaptability)
- Suivi de l'information pendant le cycle de vie du bâtiment
(Digital thread)

Bénéfices de l'industrialisation *(entre autres)*

- Connexions mécaniques (sèches)
- Standardisation des interfaces
- Modularisation
- Assemblage simplifié
(Plug-and-play)

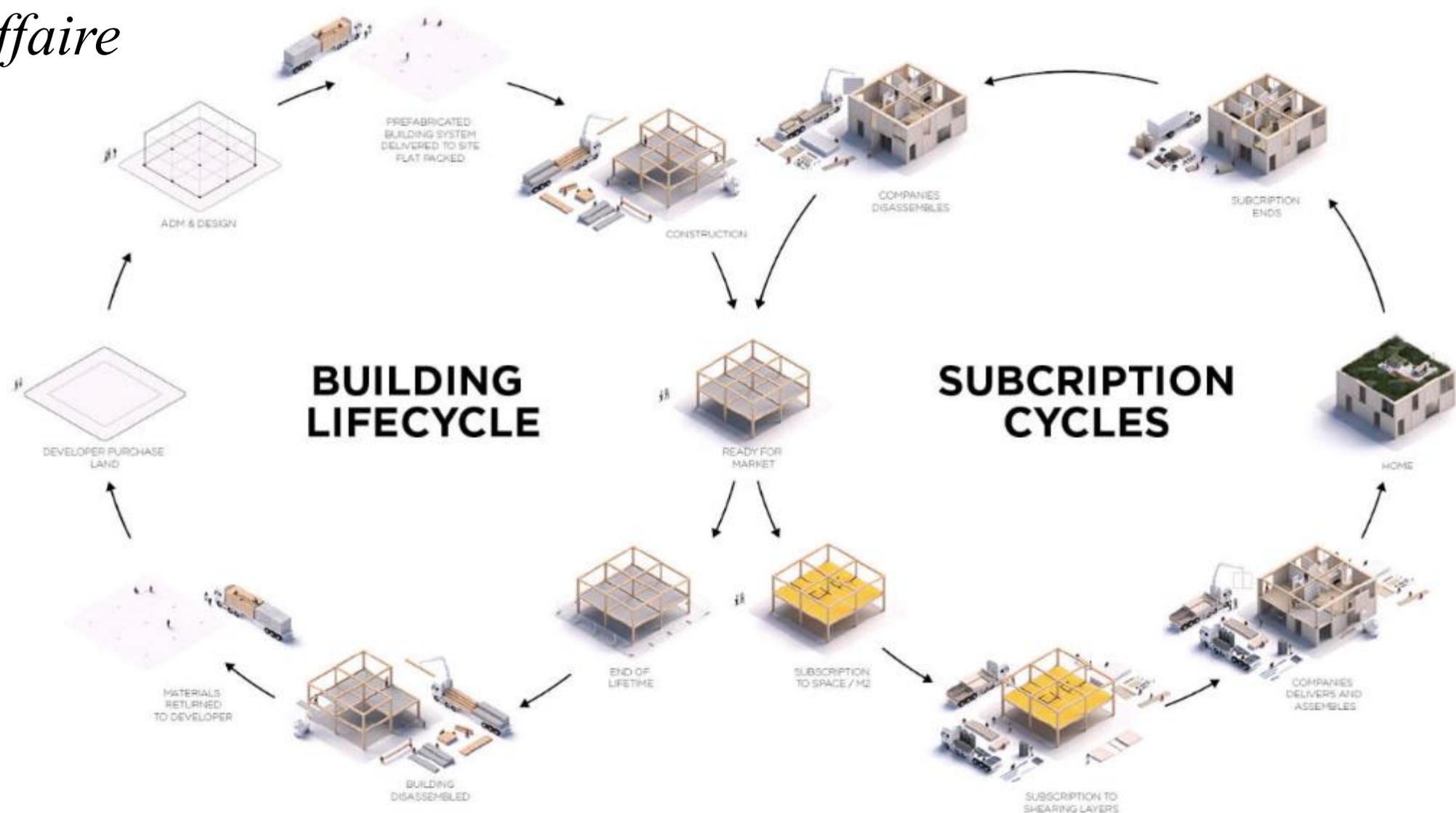


Un exemple danois

- Les logements sociaux Circle House, achevés en 2020 en banlieue d'Aarhus, ont été conçus par 3XN Architects pour être un jour démontés. Il est prévu que 90 % de leurs composants structuraux pourront être réutilisés sans perdre de valeur.

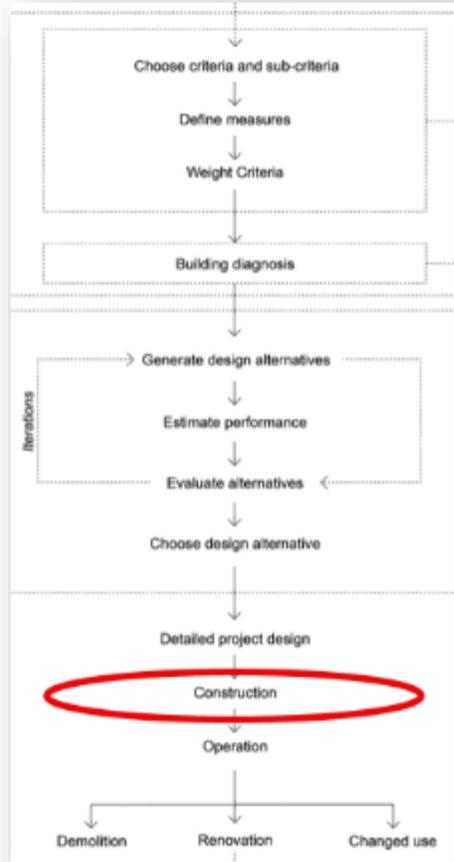


Changement du modèle d'affaire



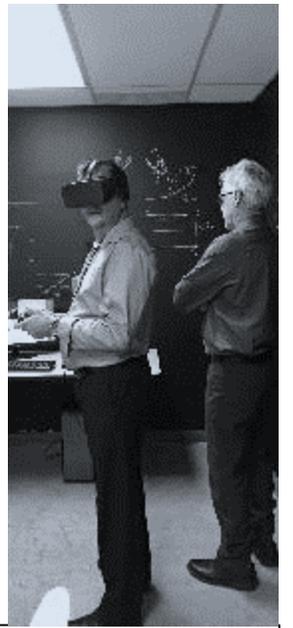
*Bâtiments adaptables et démontables –
The Urban Village Project*

Construction



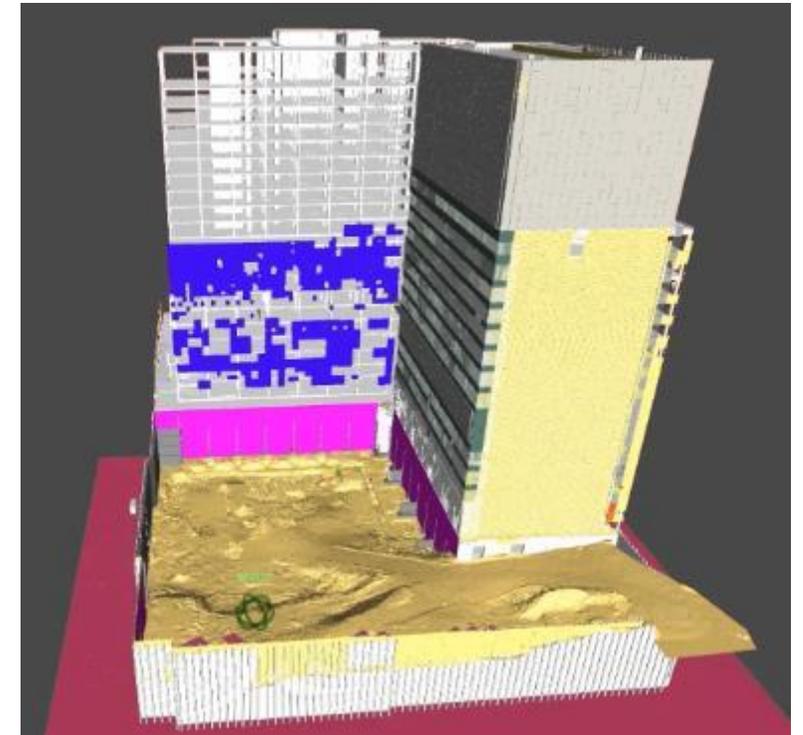
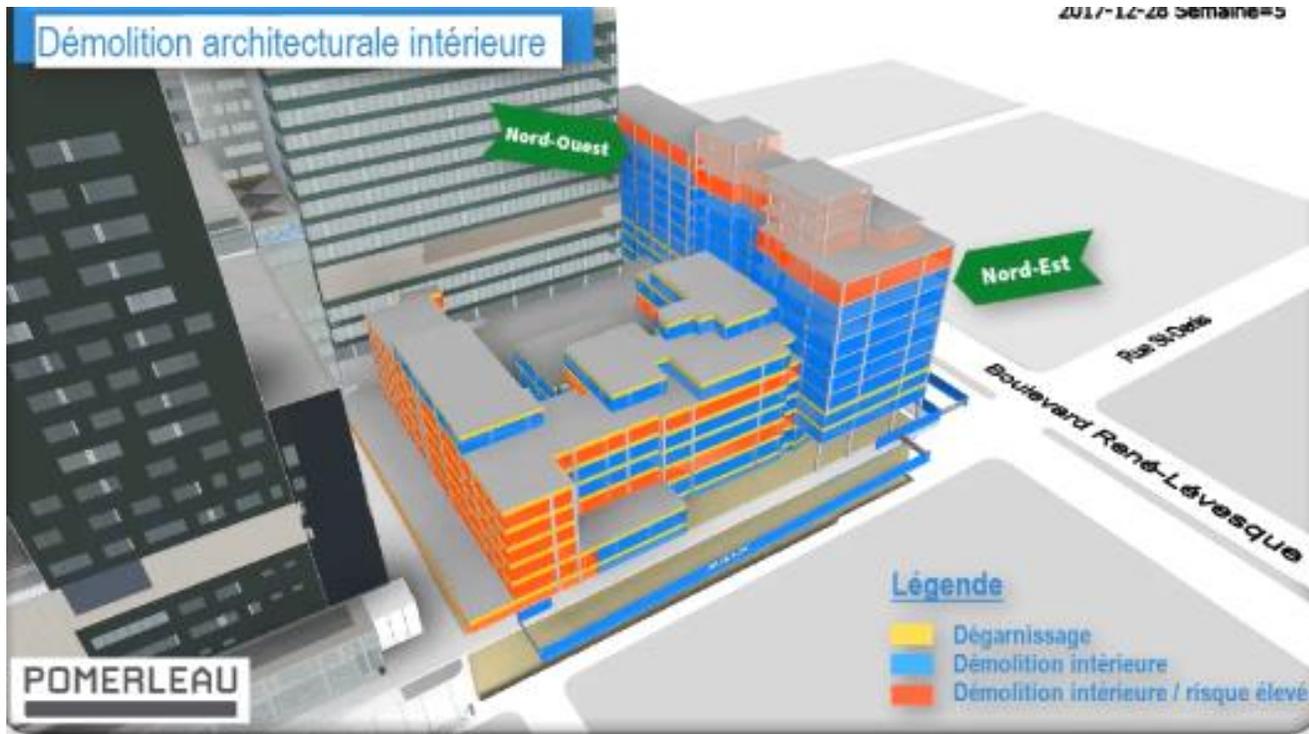
Gestion de projet, logistique

- BIM – coordination multidisciplinaire avec le nuage de points
 - BIM-4D – logistique, déplacements, chemin d'accès, sécurité, évacuation...
 - Jumeau numérique – capteurs de mouvement, de pollution, de déversement...
- Un exemple: Réaménagement de l'aéroport Pierre Elliott-

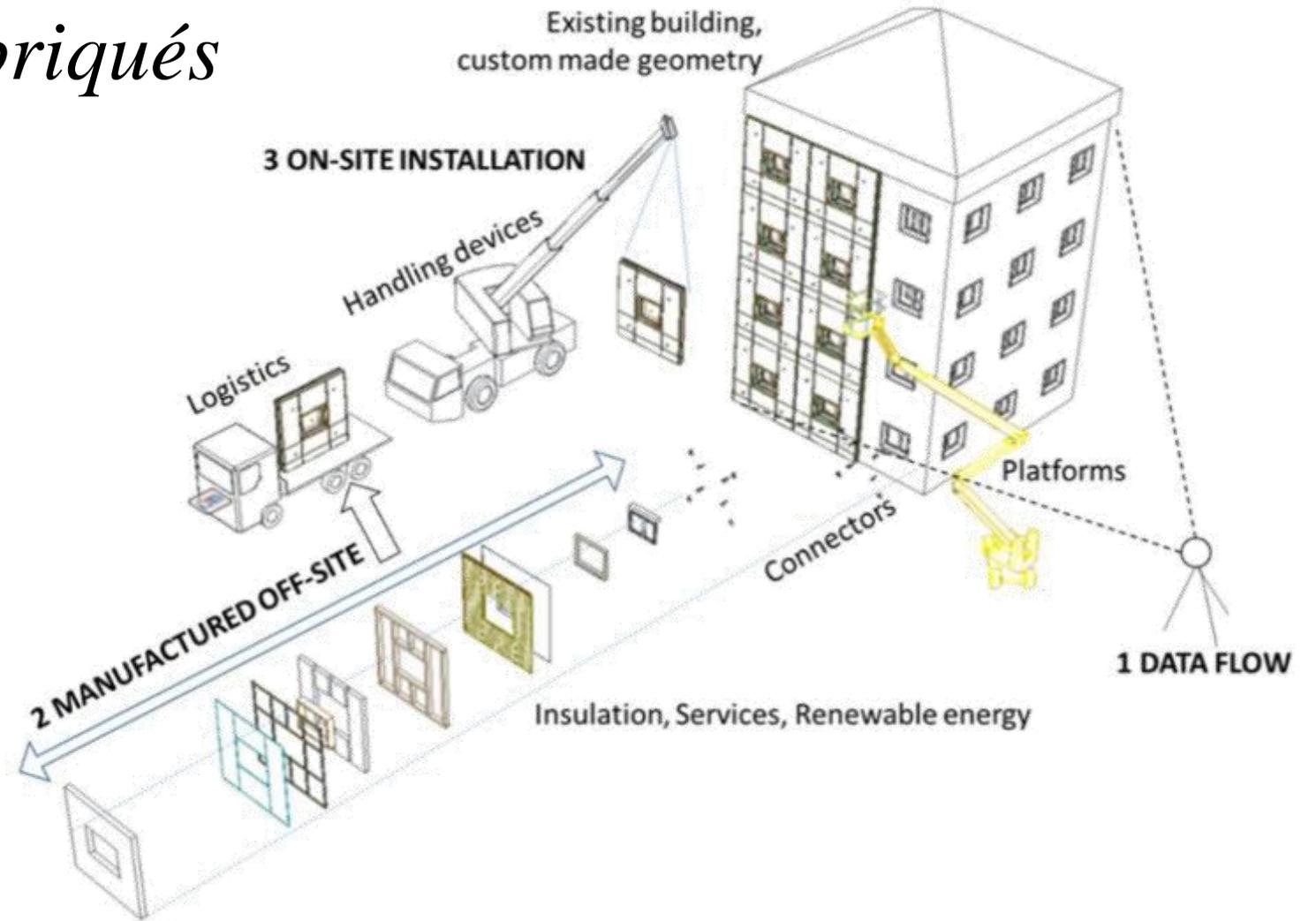


Connexion de l'existant avec le nouveau

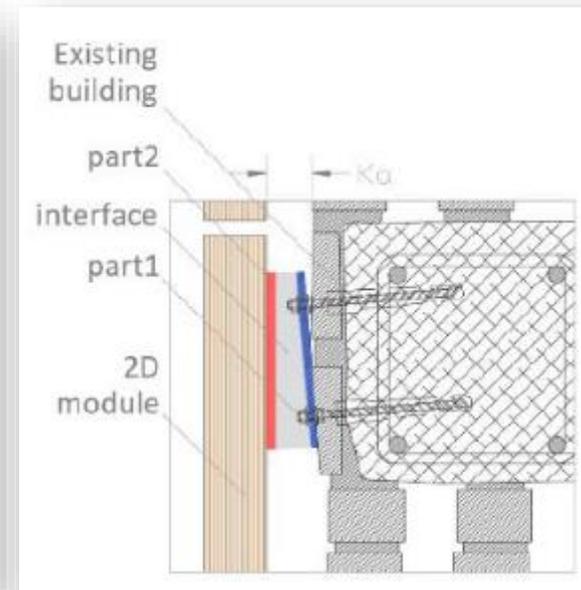
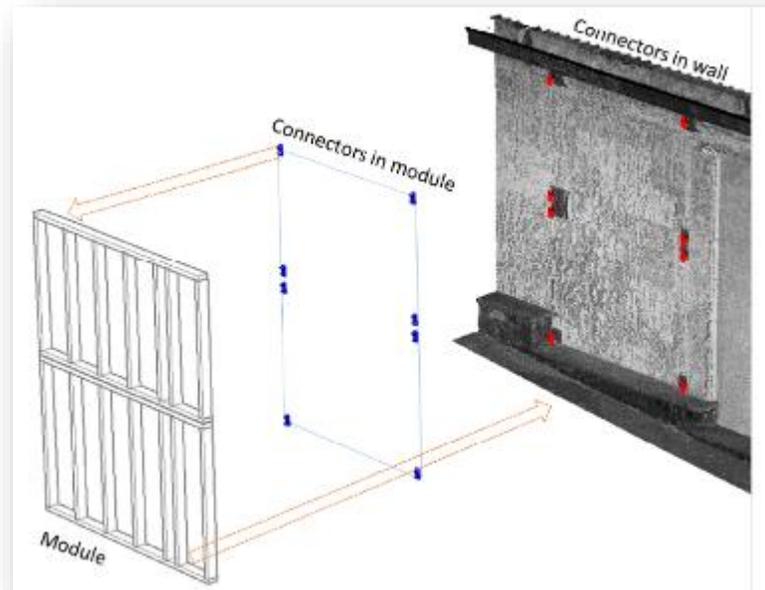
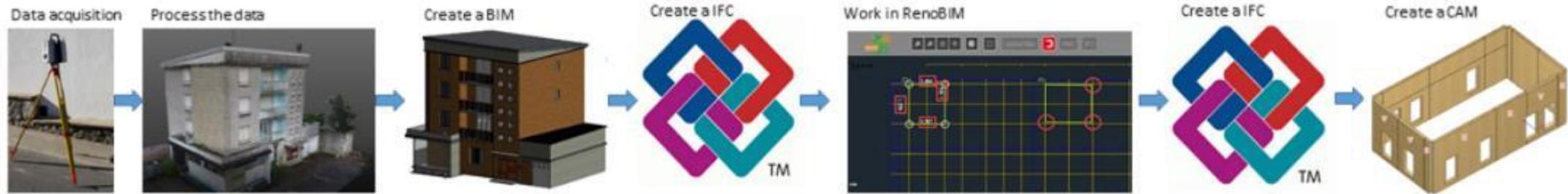
- Planification conjointe – déplacements, fonctions, déconstruction, construction
- Balayage au laser 3D – arrimé avec le BIM du nouveau bâtiment



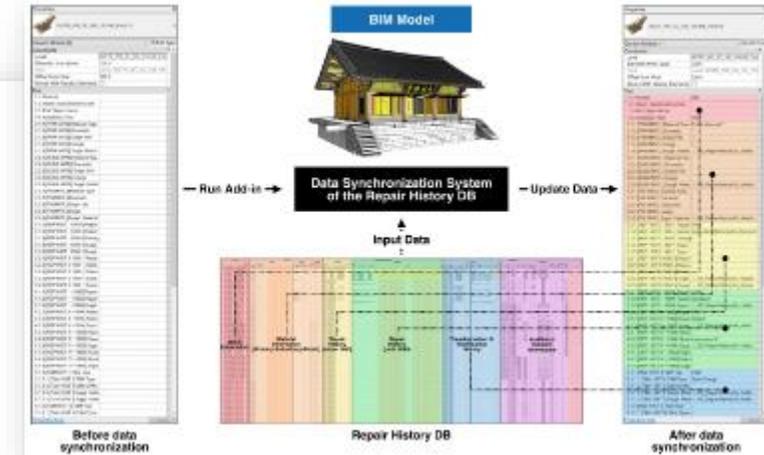
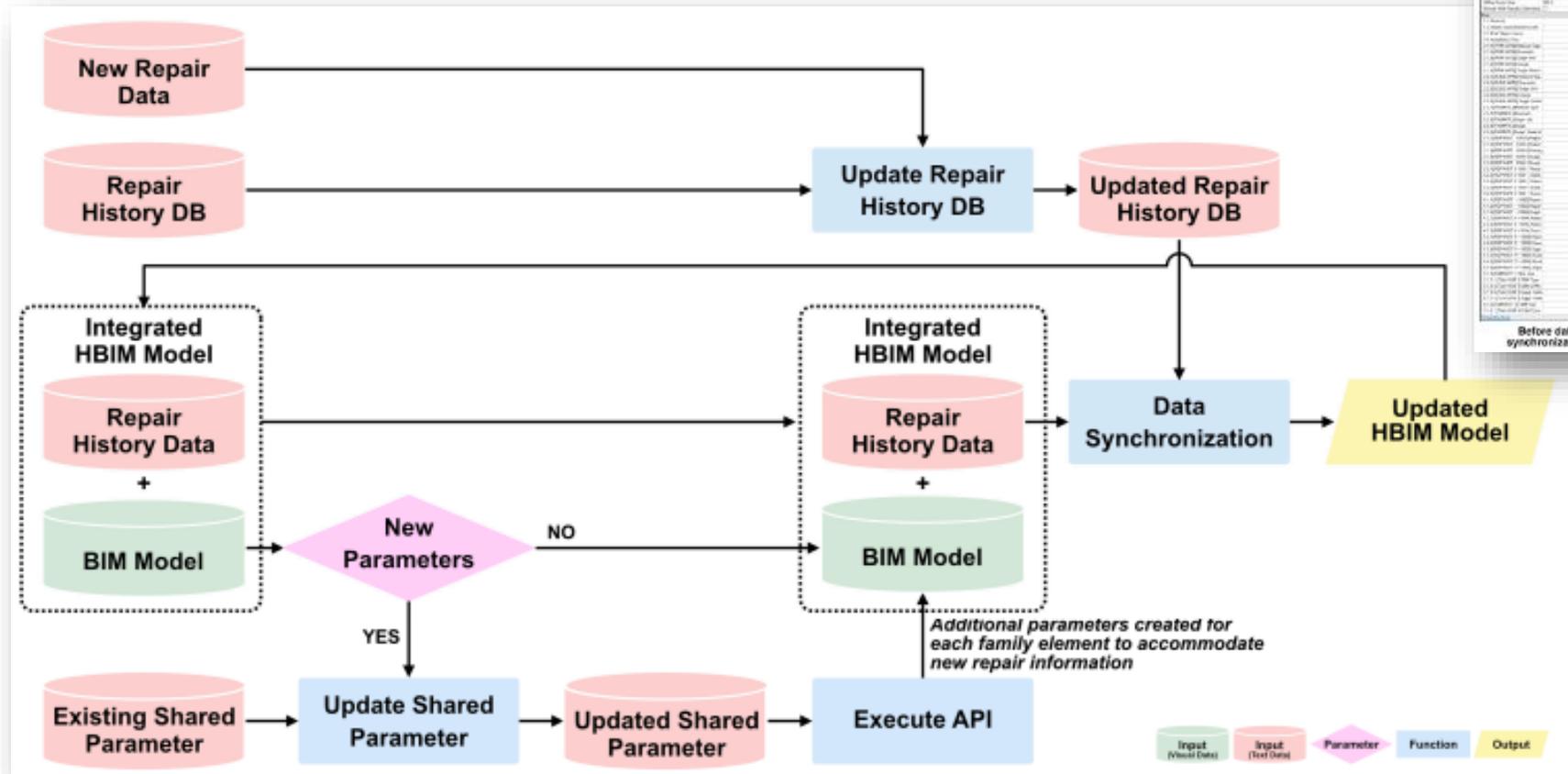
Rénover l'existant utilisant des panneaux préfabriqués

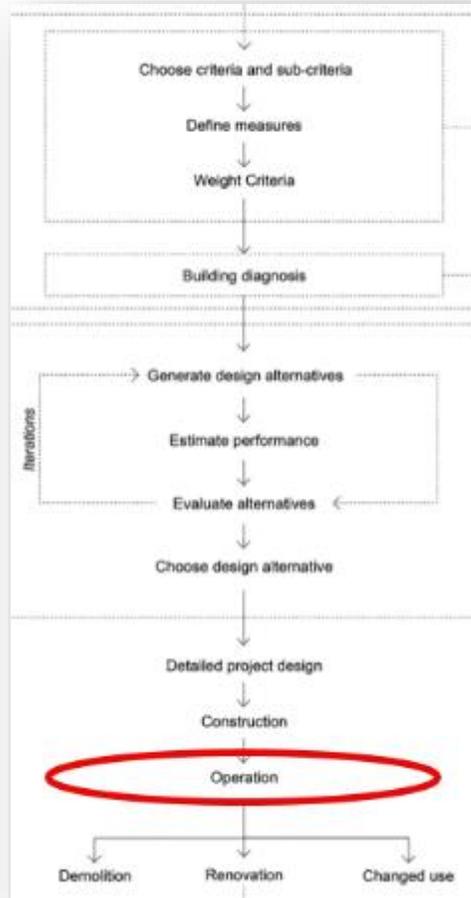


Rénover l'existant utilisant des panneaux préfabriqués - interfaces: fabrication additive



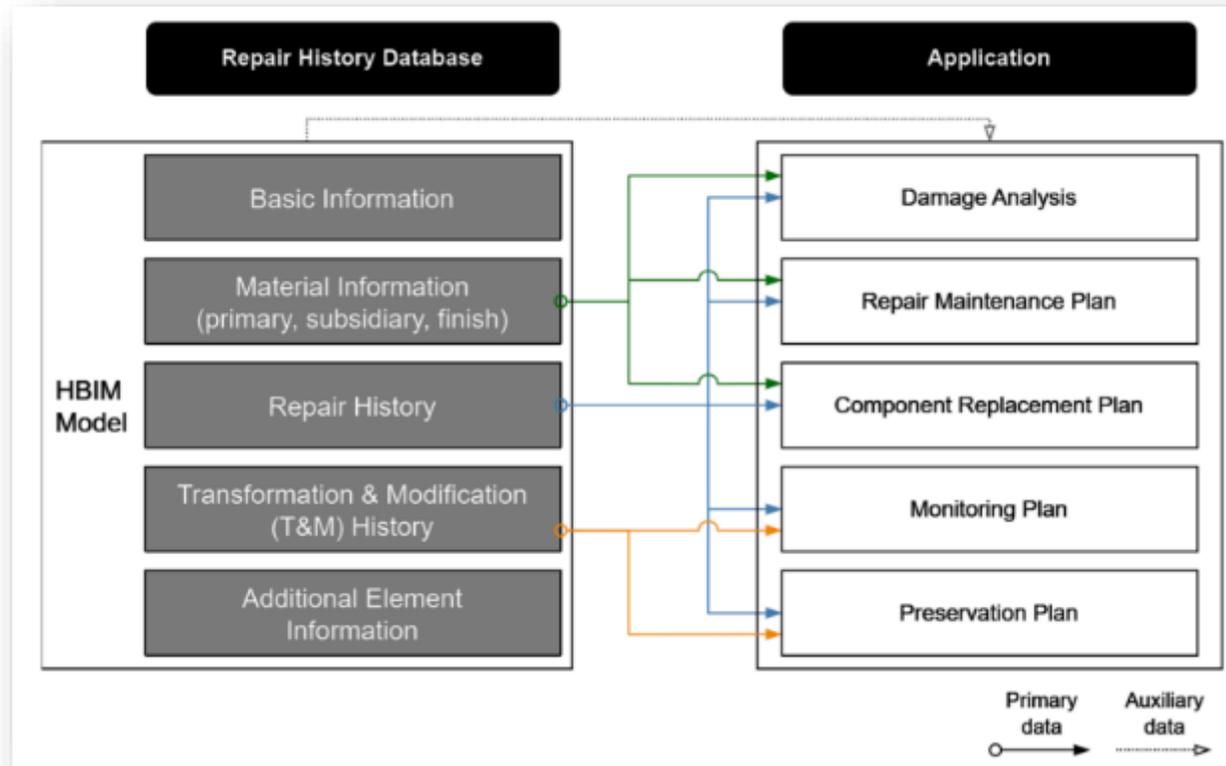
HBIM pipeline – pour la phase construction; TQC





*Opération –
pérenniser l'existant*

HBIM – pour la phase opération et maintenance



Outils technologiques... et inspection physique

Le BIM permet bien sûr de prévoir le maintien d'actifs au moment de la conception.

L'utilisation du BIM devrait se répandre auprès des gestionnaires d'immeubles responsables du maintien des actifs

Plateformes possibles:

VFA (Gordian), Maximo (IBM)

LES OUTILS DE SURVEILLANCE

Analyse du cycle de vie

Audit technique

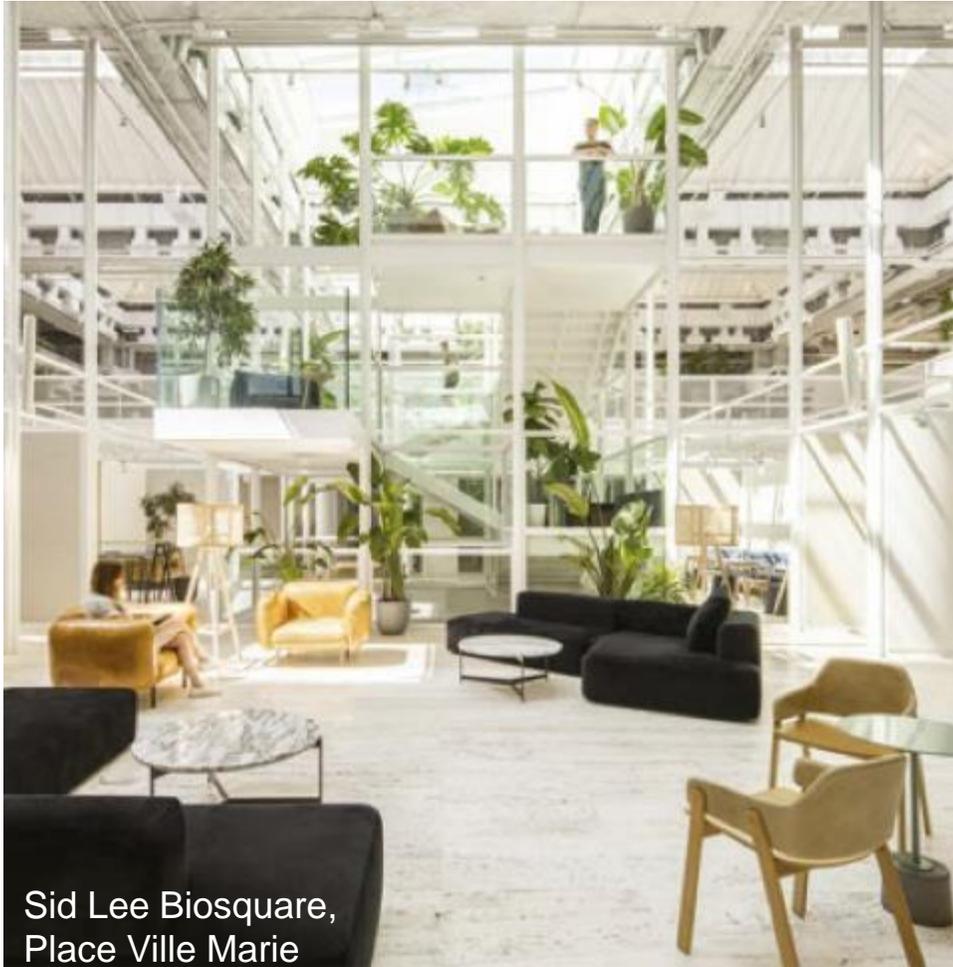
Carnet de santé (ou bilan de santé)

Déficit de maintien

Déficit fonctionnel

Source: Esquisses, été 2023

Beaux exemples montréalais!

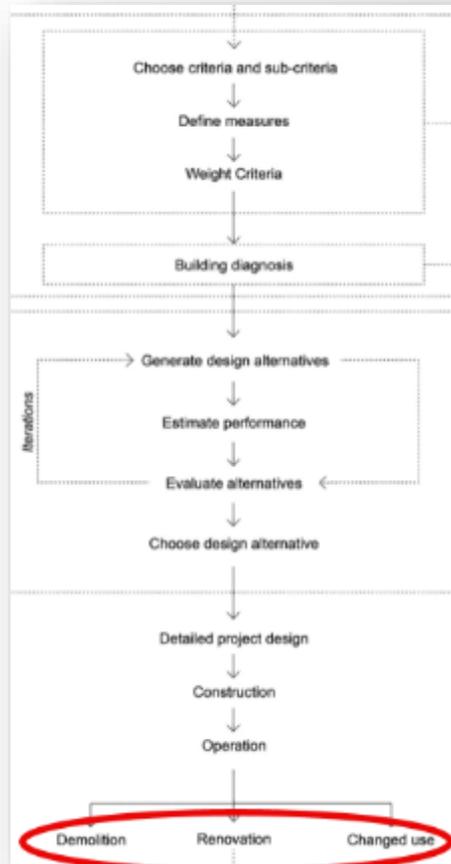


Sid Lee Biosquare,
Place Ville Marie



Requalification de la Tour de Montréal,
Provencher_Roy

Déconstruction



Déconstruction du Pont Champlain – planification, logistique, quantification, suivi

POMERLEAU Projects Expertise Who We Are Insights Careers Perspective H&S Week Find a job

Pont Champlain_EN.mp4
Pomerleau 2022-05-10 14:43 2020 2021 2022 2023 2024

- 18% : DÉCONSTRUCTION DE LA PILE (PILEE-14W)
- 63% : ENLÈVEMENT ET DÉCONSTRUCTION DE LA TRAVÉE 9W-8W (TRAVEE-08W-09W)
- 44% : INSTALLATION DES SUPPORTS TEMPORAIRES SOUS L10 (PONT.SUPP.NORD.L10)
- 61% : DÉCONSTRUCTION DE LA SEMELLE (INCLUANT CHEMISAGE) (SEMELLE-24W)
- 35% : DÉCONSTRUCTION DE LA STRUCTURE MÉTALLIQUE (TRAVEE-01W-02W ST1)

En guise de conclusion

Notre société (et l'industrie) est en train de réapprendre...

Changement de perspective : \$\$\$ vs



Chacun a un rôle à jouer et à collaborer

Médiagraphie

- Attenni M. Informative Models for Architectural Heritage. *Heritage*. 2019; 2(3):2067-2089. <https://doi.org/10.3390/heritage2030125>
- Brand, Stewart (1994). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. London: Viking Press.
- Carnevali L, Lanfranchi F, Russo M. Built Information Modeling for the 3D Reconstruction of Modern Railway Stations. *Heritage*. 2019; 2(3):2298-2310. <https://doi.org/10.3390/heritage2030141>
- Dams, B., D. Maskell, et al (2021) A Circular Construction Evaluation Framework to Promote Designing for Disassembly And Adaptability, In: *Journal of Cleaner Production* 316 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128122>
- Holger, K., K. Niklaus, K. Johannes & T. Lützkendorf (2010). *A Life Cycle Approach to Buildings: Principles, Calculations, Tools*. DETAIL Green Books. Basel : Birkhauser.
- Iturralde, K.; Das, S.; Srinivasaragavan, A.; Bock, T.; Holst, C. (2023) An Automated Prefabricated Facade Layout Definition for Residential Building Renovation. *Buildings* 2023, 13, 2981. <https://doi.org/10.3390/buildings13122981>
- Iturralde, K.; Gambao, E. & T. Bock (2023) Deviation-Correcting Interface for Building-Envelope Renovation. *Buildings*, 13, 2386. <https://doi.org/10.3390/buildings13092386>
- Iturralde, K.; Gambao, E. & T. Bock (2024) Semiautomated Primary Layout Definition with a Point Cloud for Building-Envelope Renovation. *Buildings*, 14, 351 <https://doi.org/10.3390/buildings14020351>
- Jensen, A. & E. Maslesa (2015) Value based building renovation – A tool for decision-making and evaluation, *Building and Environment*, 92, 1-9, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.008>
- Kamari, A, C. Peter, L. Schultz & P. H. Kirkegaard (2019) Constraint-based renovation design support through the renovation domain model, *Automation in Construction*, 104, 265-280, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.023>
- Nielsen, A.N., R.L. Jensen, T.S. Larsen, S.B. Nissen (2016) Early stage decision support for sustainable building renovation – A review, In: *Building and Environment*, Vol 103, 165-181, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.009>.
- European Commission (2020) *Circular Economy - Principles for Building Design* <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984>
- Olsson, S., T. Malmqvist & M. Glaumann (2016) An approach towards sustainable renovation—A tool for decision support in early project stages, *Building and Environment*, 106, 20-32, ISSN 0360-1323
- Park, J.J.; Kim, K.; Ji, S.-Y.; Jun, H.J. Framework for BIM-Based Repair History Management for Architectural Heritage. *Appl. Sci.* 2024, 14, 2315. <https://doi.org/10.3390/app14062315>
- Rocha, G, Mateus, L., Fernández, G. and V. Ferreira (2020), *Heritage*, 3, 47-65; doi:10.3390/heritage3010004
- Schmidt III, Robert; Austin, Simon (2016). *Adaptable Architecture*. New York: Routledge.
- Seddiki, M., K.Anouche, A. Bennadji & P. Boateng (2016) A multi-criteria group decision-making method for the thermal renovation of masonry buildings: The case of Algeria, *Energy and Buildings*, 129, 471-483, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.023>.
- [The Circular Built Environment in Canada: A Review of the Current State, Gaps and Opportunities \(csagroup.org\)](https://www.circularbuiltenvironment.ca/review-of-current-state-gaps-and-opportunities)
- www.cityoflondon.gov.uk/assets/Services-Environment/Heritage-Buildings-Retrofit-Toolkit.pdf
- <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/retrofit-and-energy-efficiency-in-historic-buildings/>
- https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/developpement-durable/strategie-gouvernementale/feuille-route-economie-circulaire_01.pdf
- www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/rapport-indice-circularite-fr.pdf
- www.archdaily.com/1016773/maximizing-dilapidated-infrastructure-the-potential-of-repurposing-abandoned-buildings-into-social-housing?utm_medium=email&utm_source=AD%20EN&utm_campaign=weekly&kth=5_161,070&mc_cid=f1e986febc&mc_eid=75c523d32f
- [7 Ways to Retrofit Buildings for Energy Efficiency - Bloomberg](https://www.bloombergenvironment.com/news/7-ways-to-retrofit-buildings-for-energy-efficiency)

Merci!

Ivanka Iordanova
ivanka.iordanova@etsmtl.ca