



Innovations et coûts immobiliers sous l'impact climatique

Yvon Rudolphe, MBA fin., É.A., CMC, F.AdM.A.

**Professeur enseignant et chercheur doctorant en Science, technologie et société (STS)
et coordonnateur de l'Observatoire et centre de valorisation
des innovations en immobilier (OCVI²) ESG UQAM**

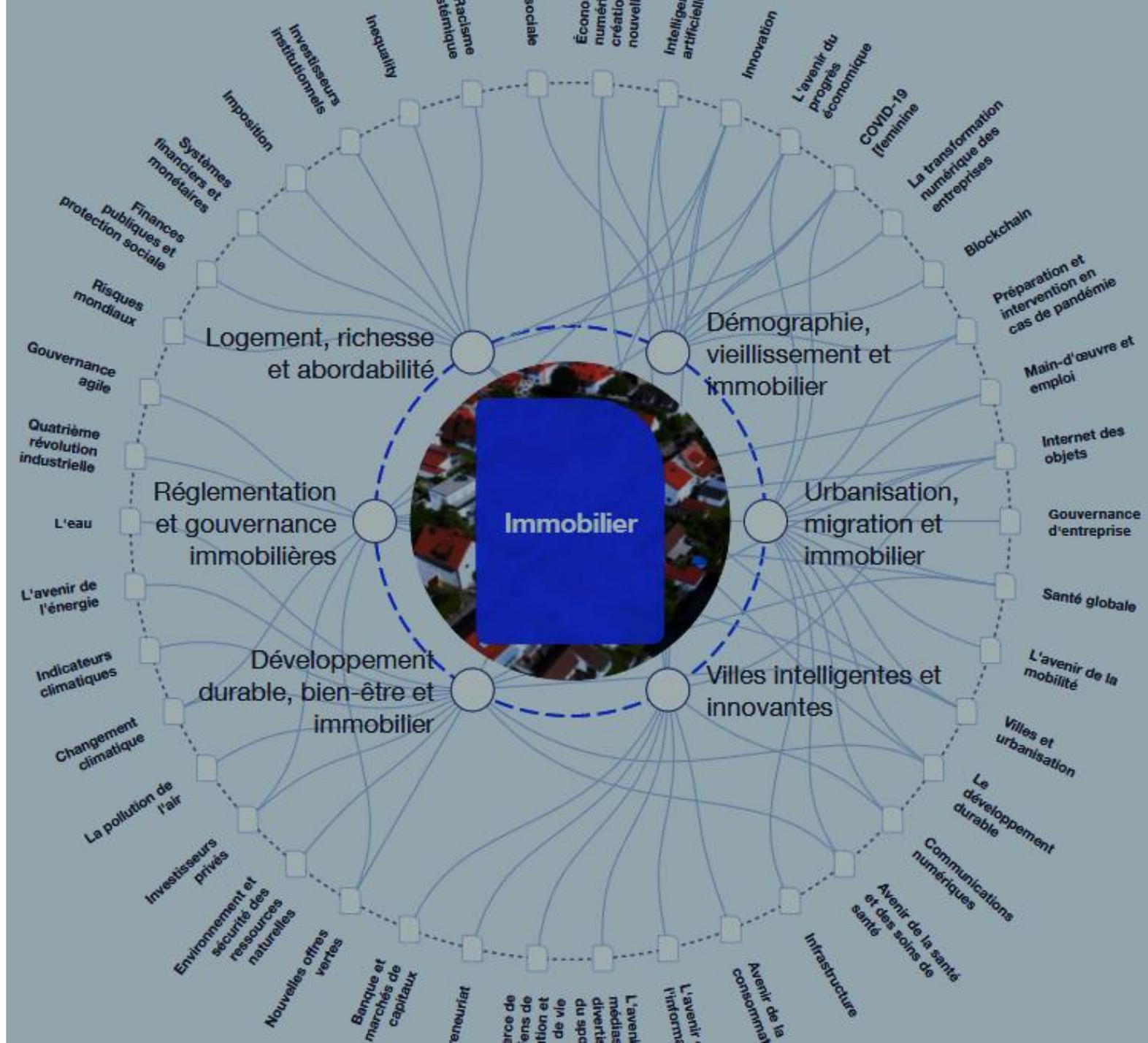
ivanhoecambridge.uqam.ca

ESG UQAM

Montréal, 7 novembre 2024

L'immobilier : un monde à découvrir

- L'habitat anthropique



Introduction

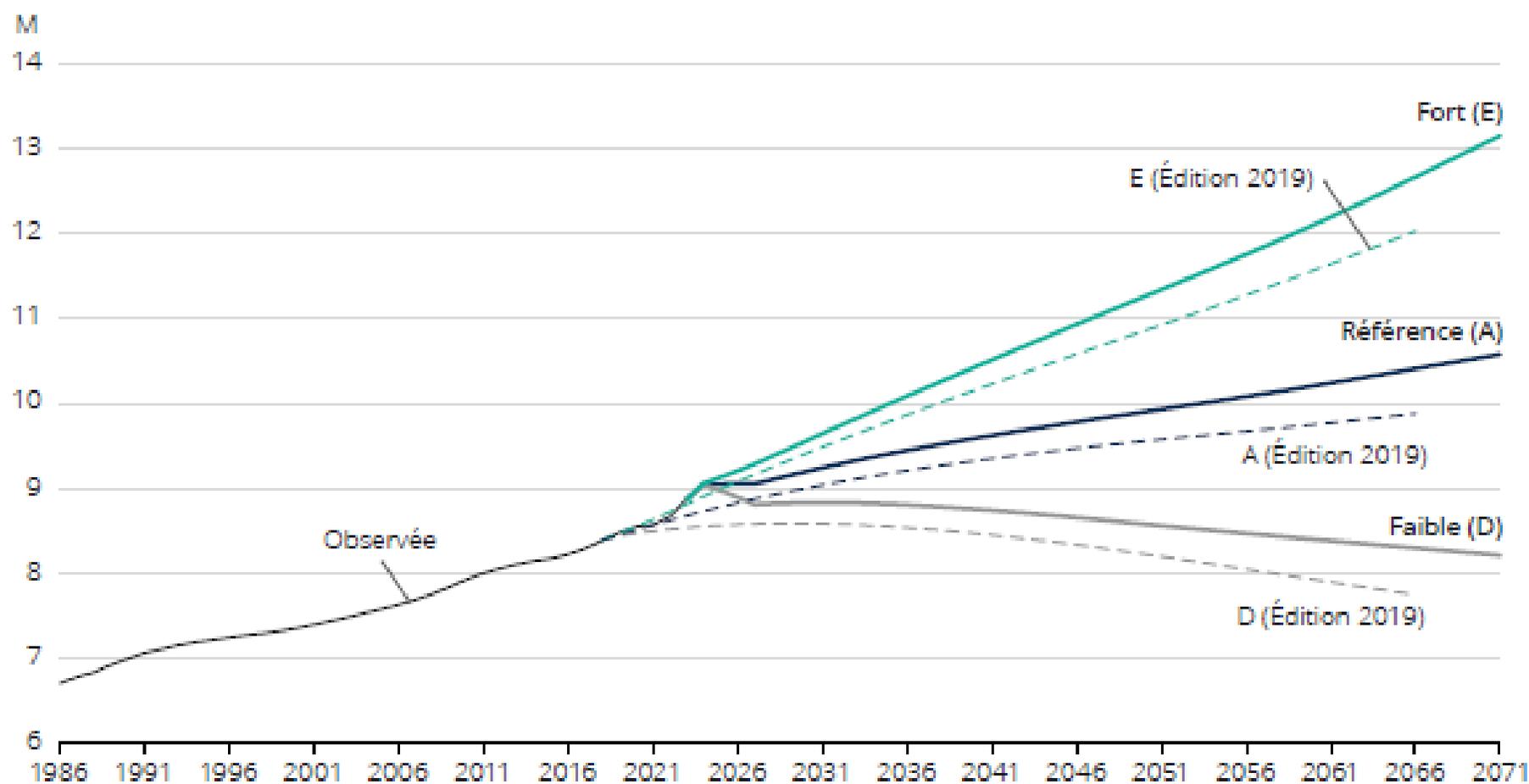
- « La température à la surface de la planète a déjà augmenté de plus de 1°C depuis l'ère préindustrielle et cette tendance se poursuivra au moins jusqu'au milieu du siècle, selon les scénarios d'émissions étudiés par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC, 2023a). Au Canada, le réchauffement climatique, passé et futur, est environ deux fois plus important que le réchauffement global, avec des effets encore plus prononcés dans les régions du Nord. Ces constats soulignent l'urgence d'agir pour atténuer les impacts du changement climatique et d'adopter des mesures d'adaptation. »
- « Dans l'état actuel des choses, les CDN actuelles mettent le monde sur la voie d'une augmentation de la température mondiale de 2,6 à 2,8 °C au cours de ce siècle. Pire encore, les politiques actuellement en place sont insuffisantes pour répondre même à ces CDN. Si rien ne change, nous nous dirigeons vers une augmentation de la température de 3,1°C. »

Impacts sur notre environnement

- La population au kilomètre carré :
 - Longueuil : **2 198,2 personnes**;
 - Laval : **1 781 personnes**;
 - Montréal : **5 739 personnes**.
- Selon une étude réalisée par Radio-Canada : en 20 ans, les zones urbanisées des grandes métropoles canadiennes se sont agrandies de 34 % et leur densité de population a chuté de 6 %¹.
- 6,6 millions de voitures, camions, scooters, motoneiges, etc. parcourent les routes et les chemins de la province, selon un rapport annuel préliminaire remis au ministre des Transports par la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ).
- L'empreinte carbone des ménages au Québec s'élève à au moins 70 420 milliers de tonnes équivalent CO₂ (Kt éq. CO₂) pour l'année 2018, soit environ 8,4 tonnes par habitant, selon l'Institut de la statistique du Québec.

Figure 2.1

Population observée et projetée selon le scénario, Québec, 1986-2071



Sources : Statistique Canada, Estimations démographiques (données observées).
 Institut de la statistique du Québec (données projetées).

Impact des bâtiments

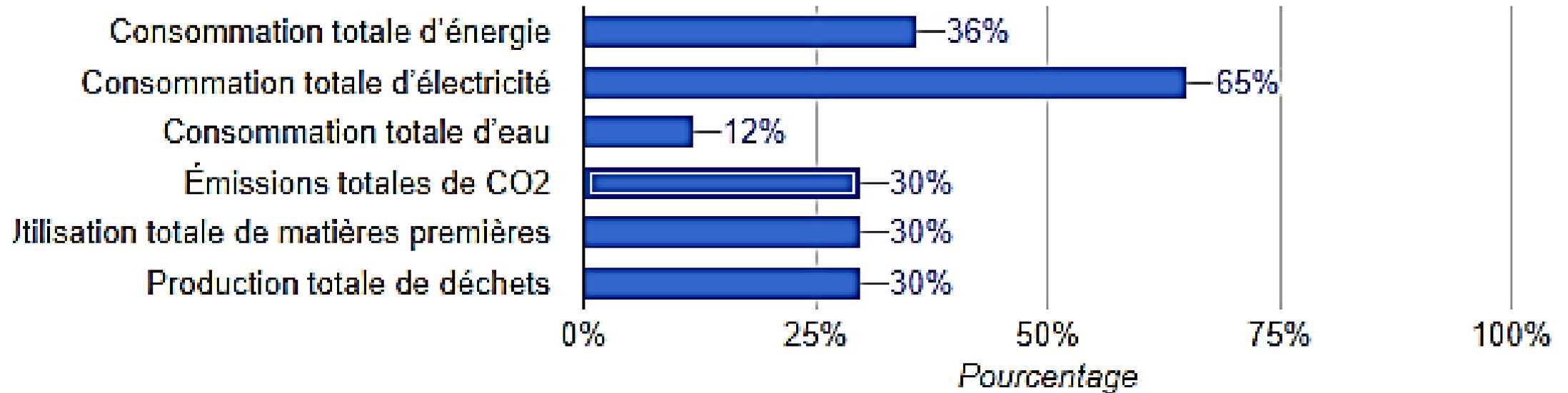
En plus d'intégrer des concepts de conception durable dans les nouvelles constructions, les défenseurs de cette approche préconisent plutôt la rénovation des bâtiments existants. Il est souvent plus économique de rénover un bâtiment existant que d'en construire un nouveau.

La planification de rénovations, y compris d'importants travaux de réhabilitation, pour les bâtiments existants, en intégrant des caractéristiques de conception durable, permet de réduire les coûts d'exploitation et les impacts environnementaux, tout en renforçant la résilience des bâtiments.

L'« énergie intrinsèque » d'un bâtiment existant (un terme qui fait référence au coût des ressources humaines et matérielles consommées pendant la construction et l'utilisation du bâtiment) est gaspillée lorsque le bâtiment est laissé à l'abandon ou démol.

Source : <https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable>

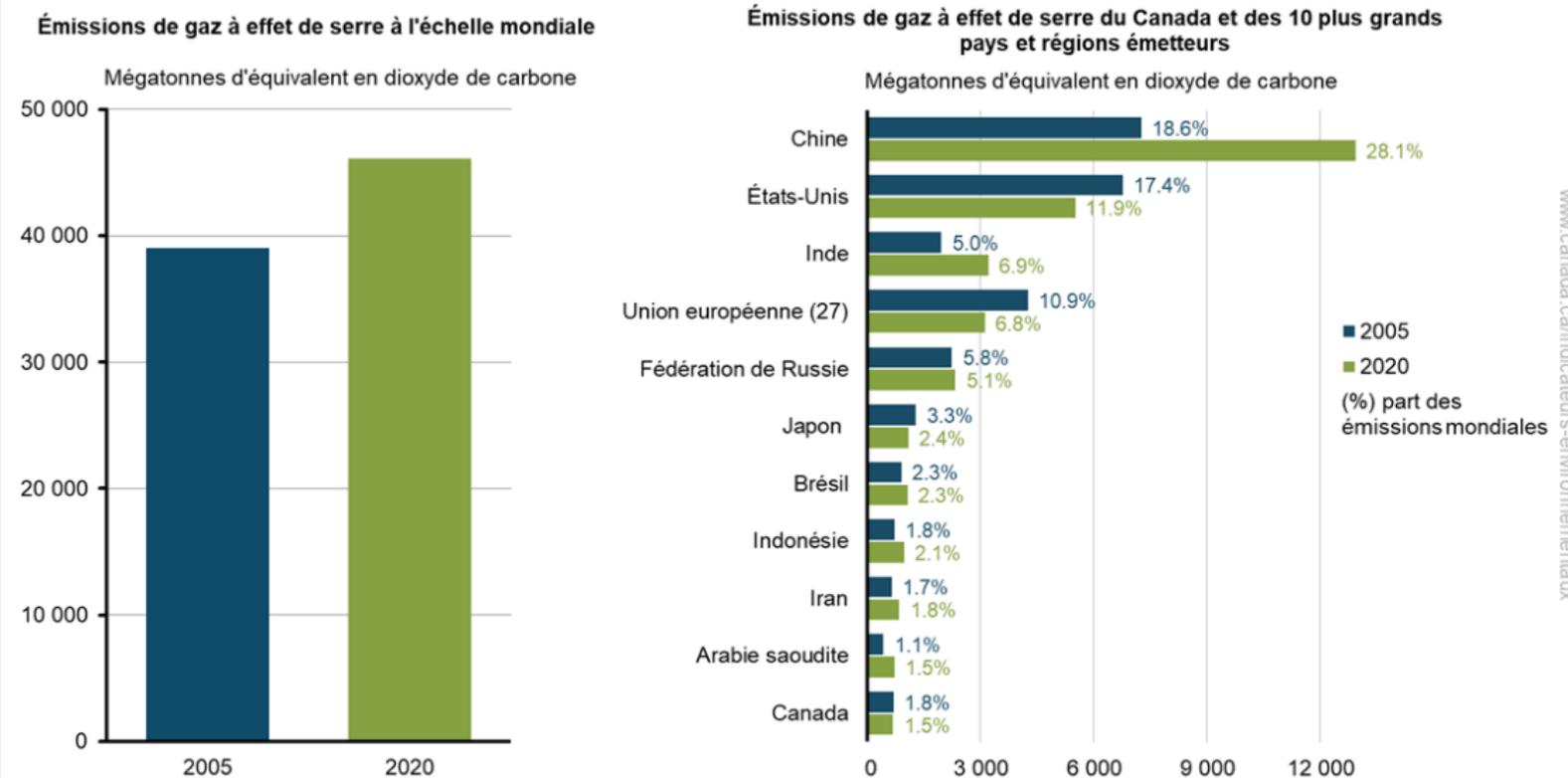
Impact des bâtiments aux États-Unis



Source : EPA, USGBC

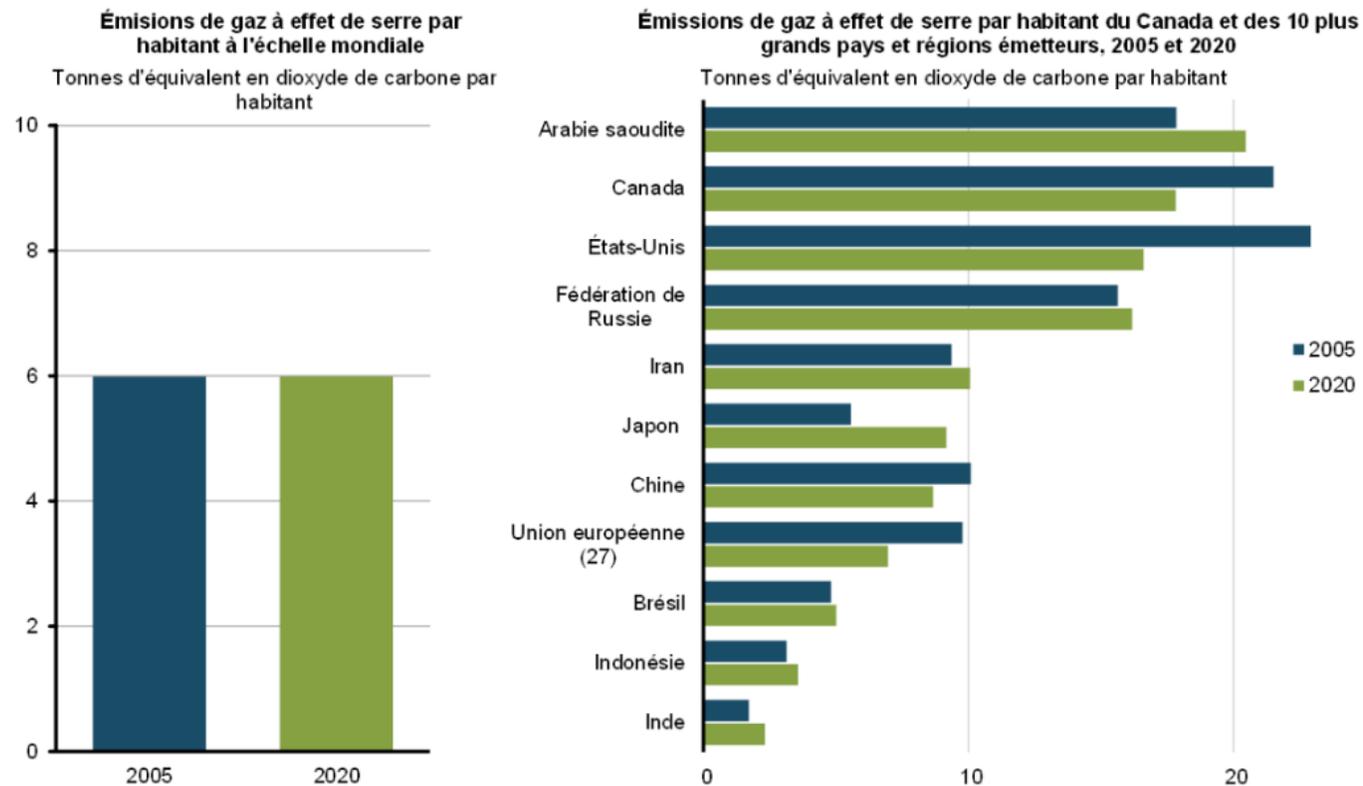
Impacts sur notre environnement

Émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale, Canada et des 10 plus grands pays et régions émetteurs, 2005 et 2020

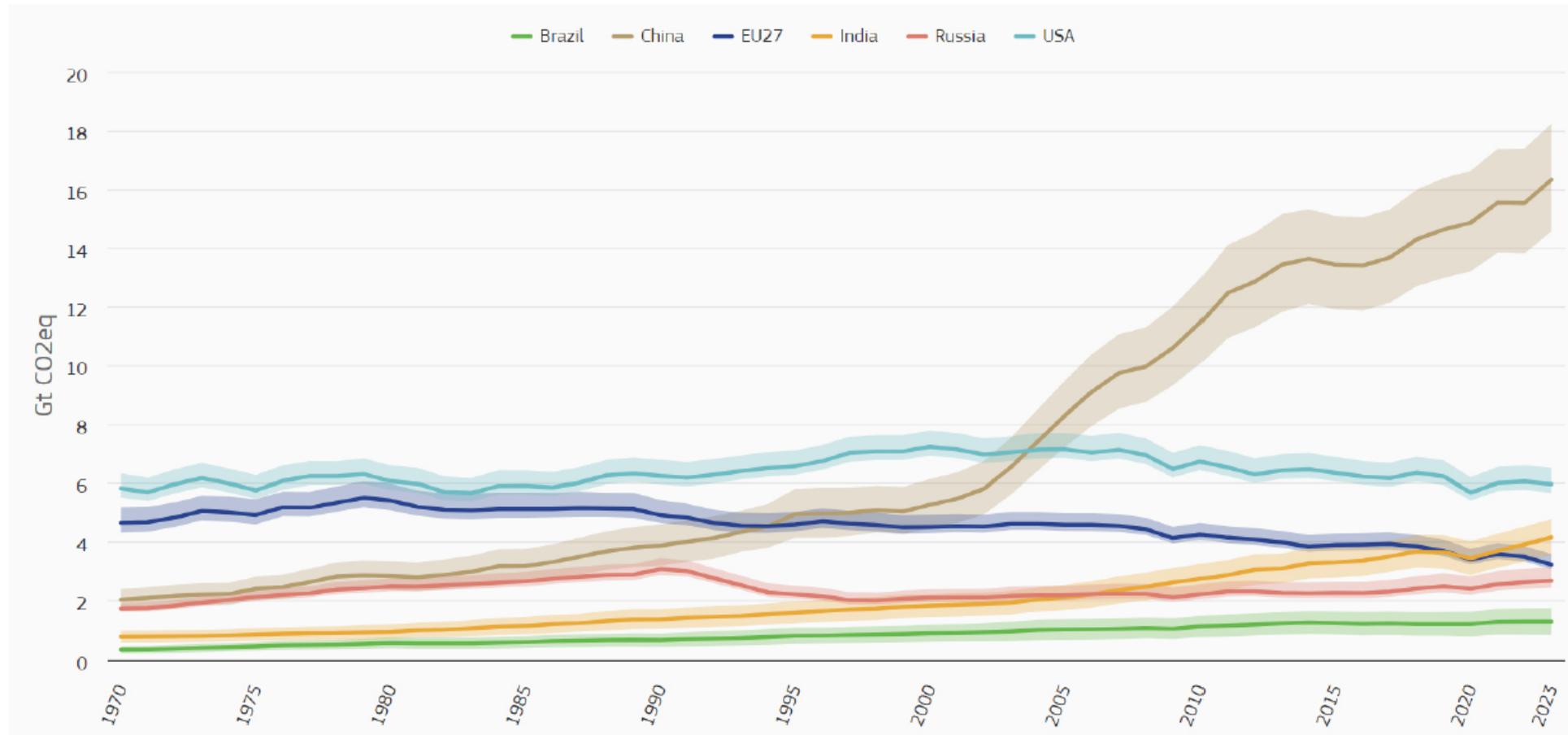


Impacts sur notre environnement

Émissions de gaz à effet de serre par habitant à l'échelle mondiale, Canada et des 10 plus grands pays et régions émetteurs, 2005 et 2020

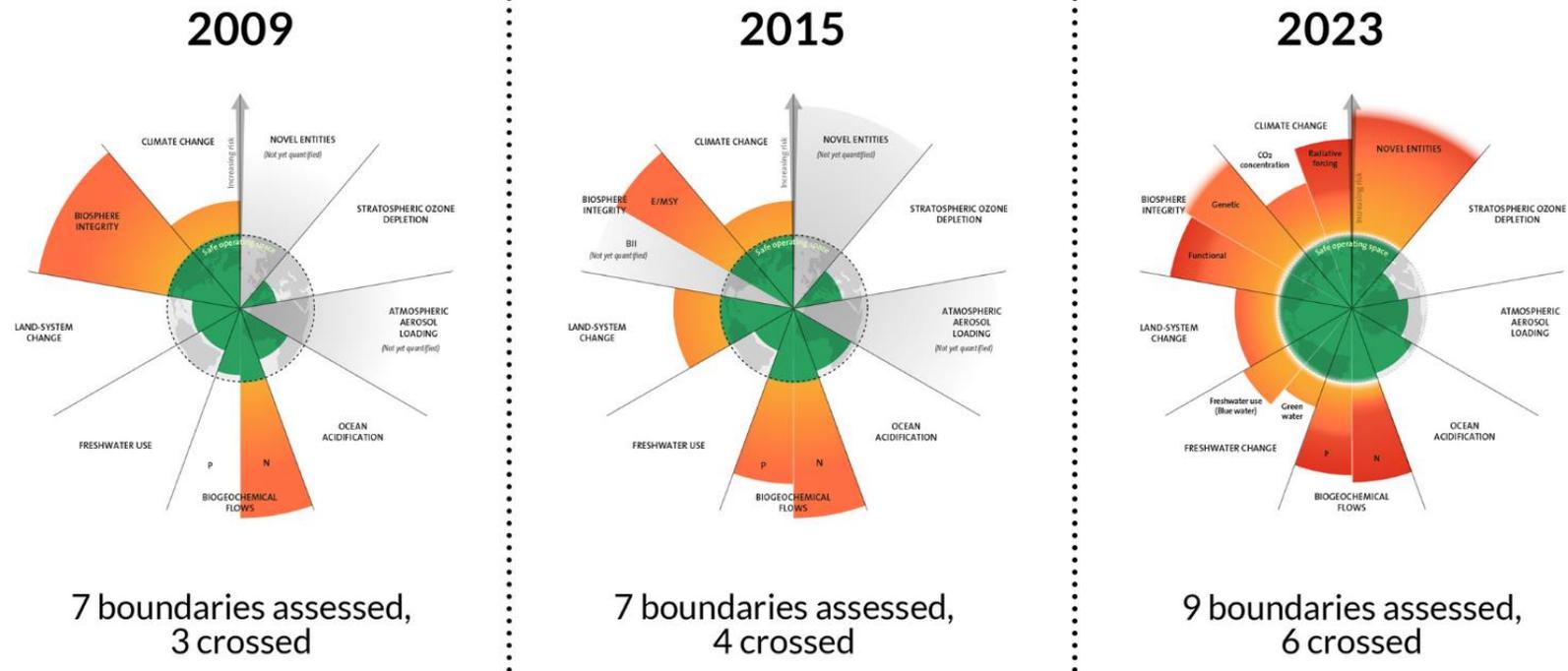


Évolution des émissions de GES dans le monde



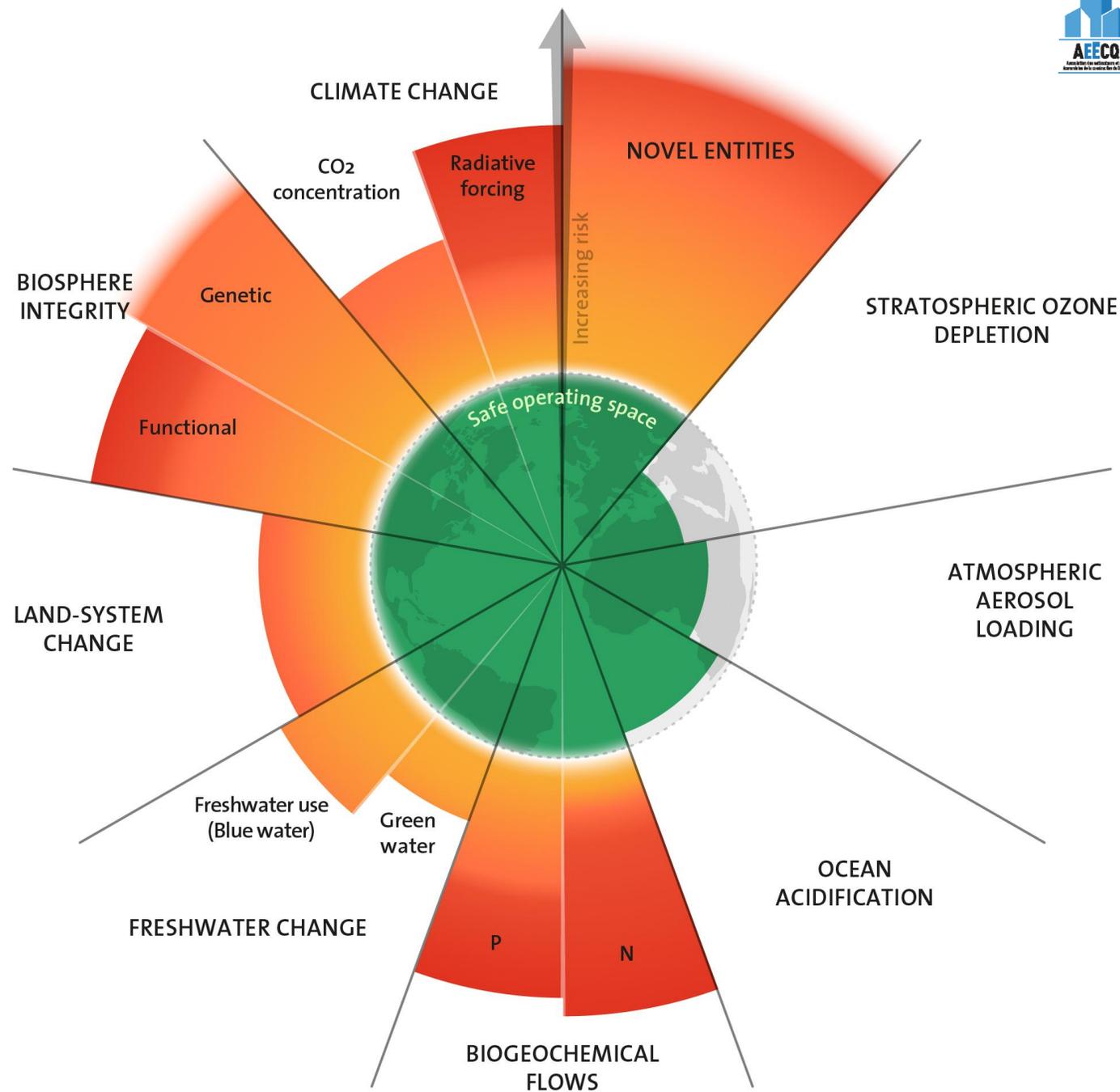
Impacts sur notre environnement

Planetary boundaries



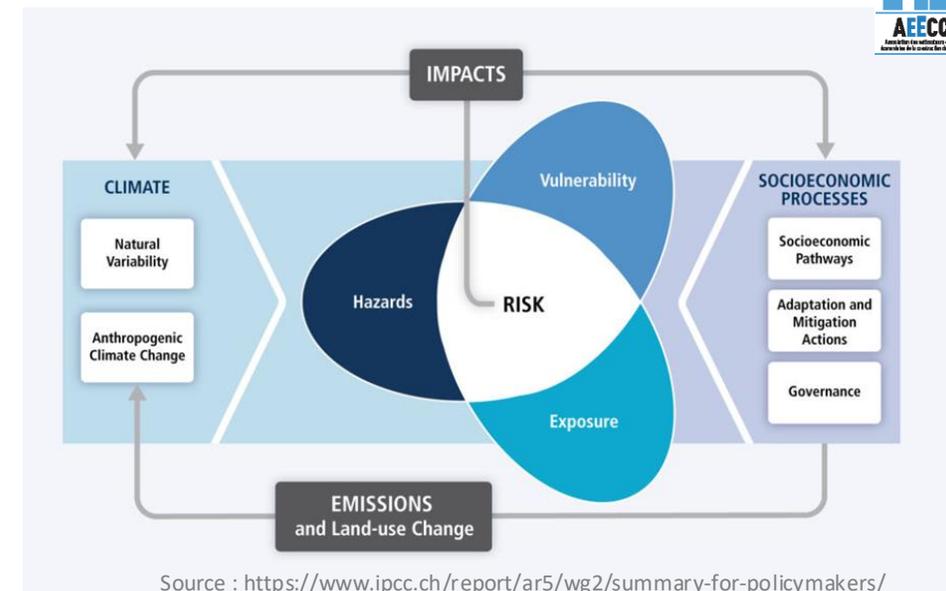
The evolution of the planetary boundaries framework. Licenced under CC BY-NC-ND 3.0 (Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Based on Richardson et al. 2023, Steffen et al. 2015, and Rockström et al. 2009) Click on the image to download.

Limites planétaires



Projections

ΔT	RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 2.6
+0,5°C			2023	
+1,0°C	2035		2046	—
+1,5°C	2047		2070	—
+2,0°C	2059	2087	—	—
+2,5°C	2069	—	—	—
+3,0°C	2080	—	—	—
+3,5°C	2090	—	—	—



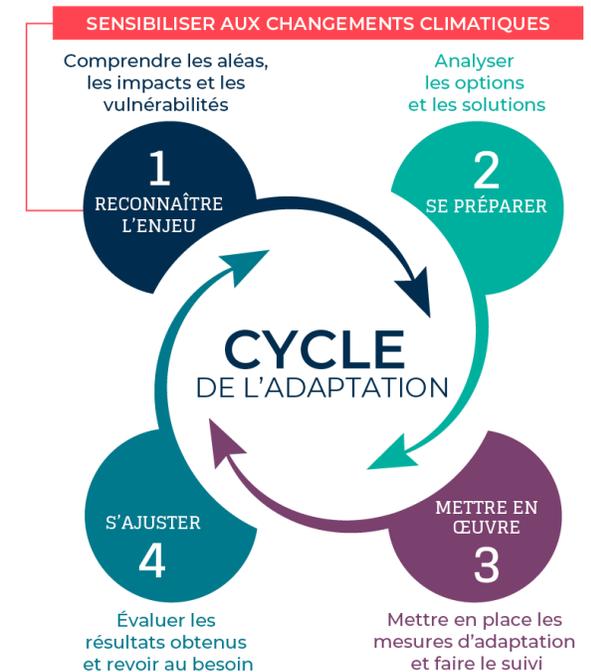
Variation de la température moyenne en surface [°C]	Niveau de réchauffement planétaire		
	+1°C	+2°C	+3°C
Région			
Colombie-Britannique	1.4 (1.3, 1.4)	2.7 (2.6, 2.8)	4.1 (4.0, 4.2)
Prairies	1.4 (1.3, 1.6)	2.9 (2.8, 3.1)	4.5 (4.3, 4.5)
Ontario	1.6 (1.5, 1.6)	2.9 (2.9, 3.0)	4.3 (4.2, 4.4)
Québec	1.6 (1.5, 1.7)	3.1 (3.0, 3.2)	4.6 (4.5, 4.6)
Atlantique	1.5 (1.4, 1.6)	2.8 (2.8, 2.9)	4.2 (4.1, 4.3)
Nord	1.9 (1.8, 2.0)	3.7 (3.6, 3.8)	5.5 (5.4, 5.7)
Canada	1.6 (1.5, 1.6)	3.0 (2.9, 3.0)	4.3 (4.3, 4.4)

Les résultats des modèles sont obtenus à partir de l'explorateur climatique KNMI

Source : <https://scenarios-climatiques.canada.ca/?page=buildings-report>

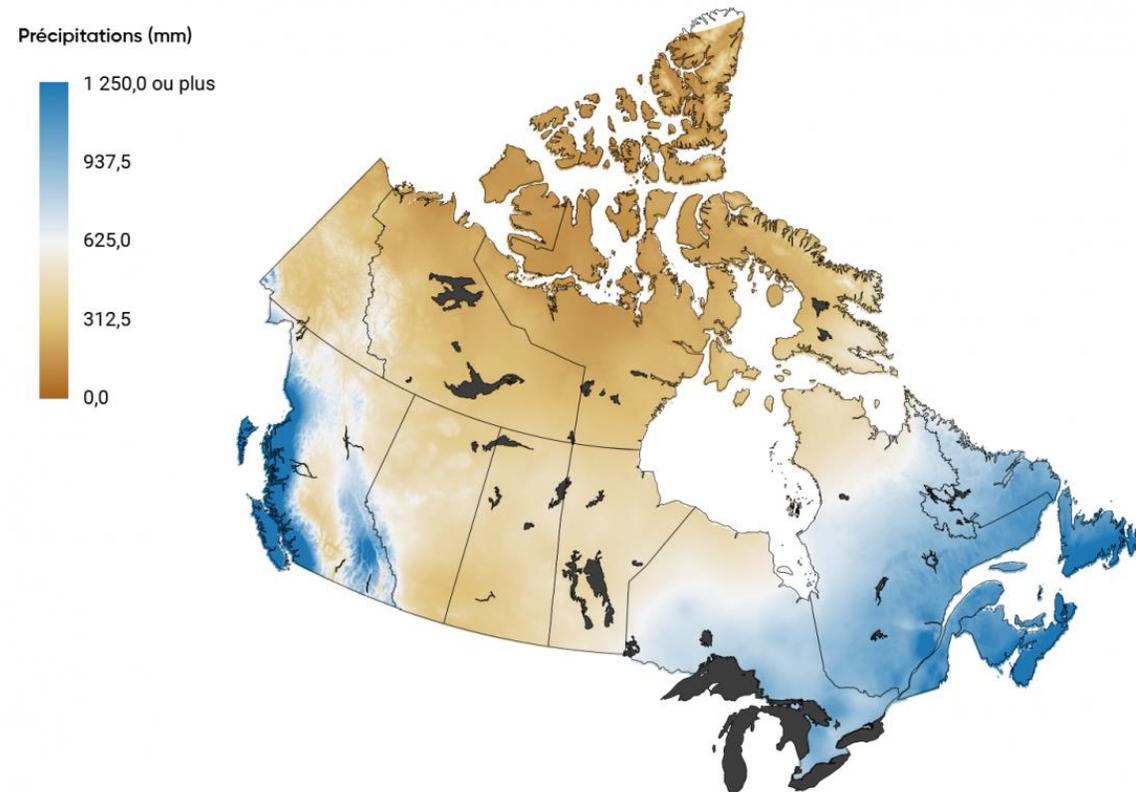
Au Québec

- Au Québec, les changements climatiques pourraient entraîner une hausse de la température moyenne annuelle de 1,7 à 4,6 °C au sud, et de 1,9 à 5,8 °C au nord, d'ici 2050, selon deux scénarios mis de l'avant par [Ouranos](#).



Rapport 2022 - Gouvernement Canadien

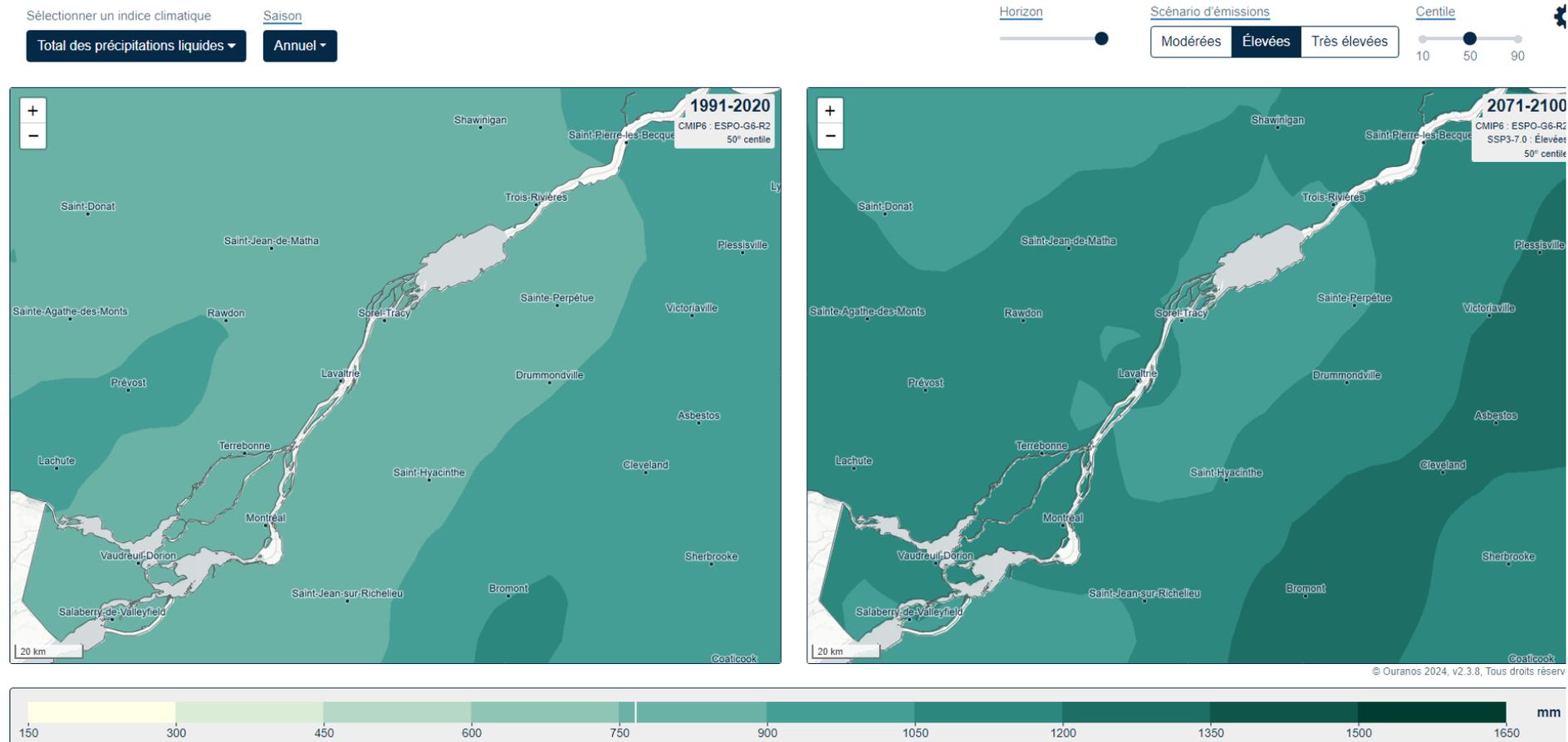
Figure 3.5: Moyenne projetée de précipitations totales annuelles pour 2021 à 2050, selon un scénario d'émissions élevées (RCP 8.5).



Les zones bleues correspondent aux régions où les précipitations seront importantes; tandis que les zones brunes correspondent aux régions où les précipitations seront très faibles, augmentant ainsi le risque de sécheresse.

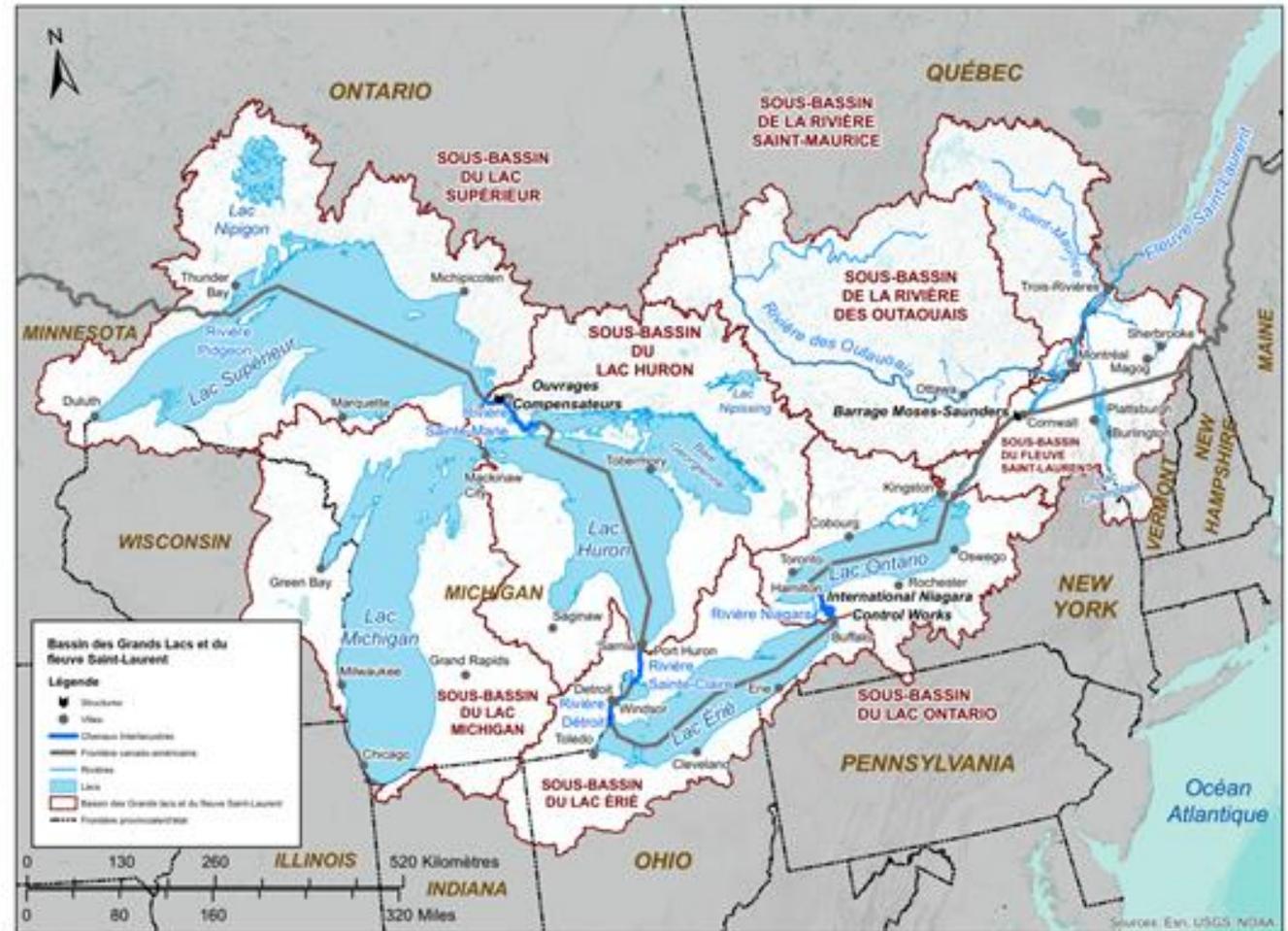


Précipitations liquides

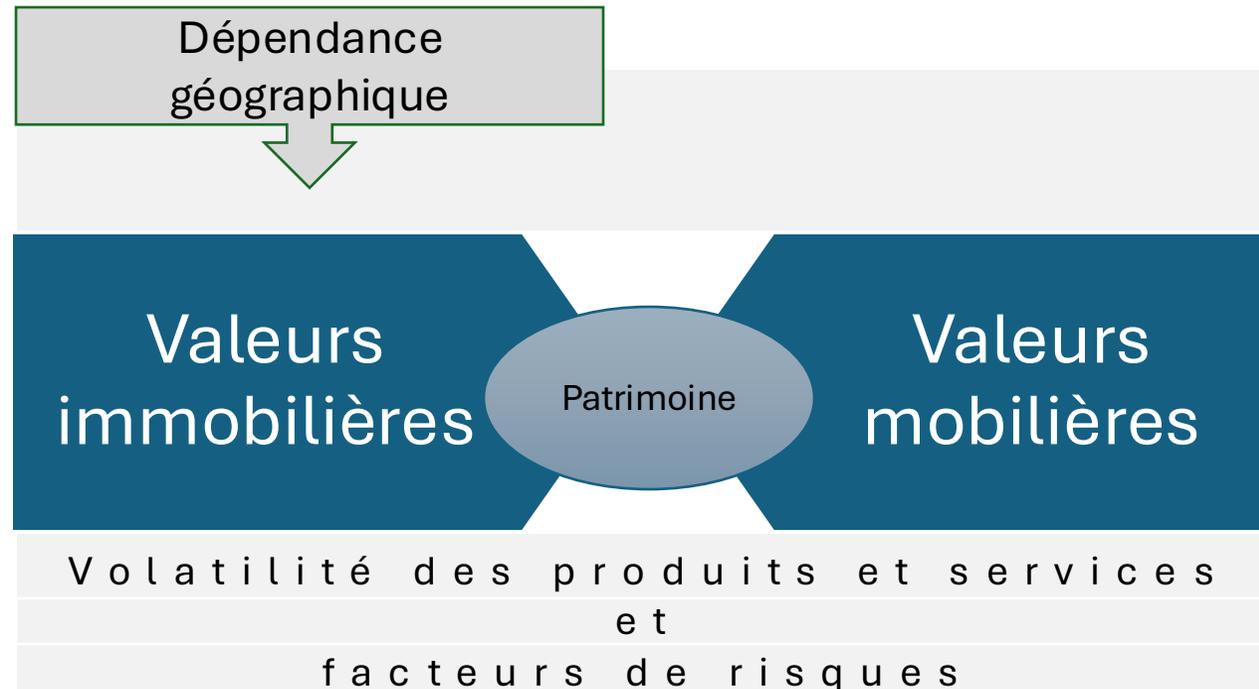


Impacts du fleuve Saint-Laurent

- [Flood maps viewer](#)



Les particularités du patrimoine immobilier



Impacts sur l'immobilier

Coûts liés à la construction et au maintien du bâtiment

- L'augmentation de la température moyenne, sa variabilité et l'ampleur des événements :
 - La chaleur intense entraîne des coûts de main-d'œuvre et une plus faible productivité;
 - La sécheresse entraîne des feux de forêts, lesquels engendrent une inflation des coûts des matériaux de construction par la destruction ou l'incapacité de produire;
 - Les sécheresses mettent des régions sans approvisionnement en eau;
 - Les périodes de chaleur provoquent de la sécheresse qui met en péril les approvisionnements et les réserves en eau potable, notamment dans certaines régions au Québec, et cause des bris de fondations par la rétractation des sols;
 - Les pluies abondantes créent des retards dans la construction en plus des problèmes d'humidité qui peuvent survenir dans le futur;
 - L'augmentation des coûts de mise à jour des infrastructures publiques. La pression de pluie importante crée à plusieurs endroits des refoulements d'égout.

Impacts sur l'immobilier

- Les alternances répétées de gel-dégel (journalières ou saisonnières) ont un impact sur la morphologie des sols et sur la structure ainsi que l'enveloppe du bâtiment. Ce cycle pourrait affecter la maçonnerie, accélérer la dégradation des produits du bois et des éléments de béton, affecter la corrosion des métaux et accentuer l'effet des radiations solaires sur les matériaux synthétiques.
- La vitesse des vents avec l'augmentation des pluies et des événements d'averse de grêle se trouve être amplifiée par les changements climatiques et met à risque l'enveloppe du bâtiment.
- Les vents violents plus fréquents et l'élévation du niveau de la [mer](#) exposent les infrastructures côtières et les sites patrimoniaux aux inondations et à l'intrusion d'eau salée ainsi qu'à l'érosion côtière.
- L'érosion des sols, les débordements causant des inondations, les fontis, les tassements de sols et autres phénomènes mettent en danger les constructions et leurs occupants.
- D'après les recherches scientifiques, le Québec est de plus en plus exposé à des risques de fortes précipitations, y compris des chutes de neige. Ces dernières, combinées au vent, peuvent former des congères qui alourdissent la structure du toit, entraînant des affaissements, voire des effondrements de la toiture.

Règlementation visant les GES S1 et S2

- Actuellement, divulgation des sources énergétiques et cotation des émissions de GES (2021) :
 - ville de Montréal : bâtiments existants de 2 000 m² et plus - secteurs commercial et institutionnel; et multilogements de plus de 25 logements;
- Normes IFRS S1 et S2 depuis janvier 2024 (et bientôt le S3 en fonction du protocole de TCFD);
- Projet de loi sur la performance environnementale des bâtiments:
 - projet de loi 41 du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (Québec);
 - changement au Code national du bâtiment 2025, prévu en 2026;
 - possibilité de double indicateur de performance (DEP) GES et énergétique.

Code national du bâtiment

- D'ici 2026, de nouvelles considérations sur la résilience aux changements climatiques seront intégrées au Code national du bâtiment :
 - [Lignes directrices sur la protection des sous-sols contre les inondations et la réduction des risques](#)
 - [Bâtiments résilients aux changements climatiques : Lignes directrices pour la gestion du risque de chaleur excessive dans les bâtiments résidentiels](#)
 - [Guide national sur les incendies en milieu périurbain](#)
 - [Infrastructure dans le pergélisol : lignes directrices pour l'adaptation au changement climatique](#)
 - [Exigences de performance pour la résilience climatique des systèmes de toiture à membrane à faible pente](#)
 - [Conception et construction de bâtiments résidentiels de faible hauteur et petits résistant aux vents violents](#)
 - [Établissement de priorités pour les risques d'inondation dans les communautés existantes](#)
 - [Adaptation aux changements climatiques pour les stations de traitement des eaux usées](#)
 - Deux normes nationales du Canada fondées sur [ISO 14090:2019](#) et [ISO 14091:2021](#) sont en cours d'élaboration pour aider les organisations canadiennes à planifier et mettre à jour leurs stratégies d'adaptation climatique.

Impacts sur l'immobilier

- Les changements climatiques peuvent également avoir une incidence sur la performance, la durabilité et la sécurité des bâtiments et leurs éléments (façades, structure, etc.) en raison des changements de température, de l'humidité, du vent, des concentrations de chlorure et de CO₂ augmentant ainsi la corrosion de l'acier incorporé au béton et au bâtiment.
- Les changements climatiques provoquent la venue d'une migration de certains insectes pouvant détruire des espèces d'arbres au Québec à l'exemple de l'agrile du frêne, du longicorne asiatique ou de champignons tels que la graphiose de l'orme.
- Le code du bâtiment actuel n'est pas adapté pour faire face aux changements climatiques, ce qui laisse présager de graves conséquences à l'avenir, notamment des dommages significatifs aux immobilisations et aux biens, mais aussi des dommages collatéraux, y compris des pertes en vies humaines.

Impacts sur l'immobilier

- Les zones situées en aval des bassins versants peuvent aussi provoquer une saturation du sol en eau. Cela peut entraîner des gonflements hydro-géotechniques du sol, qui sont susceptibles de compromettre les fondations. De plus, si les sous-sols ne sont pas parfaitement étanches, cela peut même causer des infiltrations d'eau. Ce volume d'eau peut également entraîner une masse importante de matières organiques et minérales comme des coulées de boue.
- La désuétude et la dégradation accélérées des matériaux de construction nécessitent une mise à jour en fonction de nouvelles normes, notamment pour :
 - l'enveloppe du bâtiment;
 - la structure du bâtiment;
 - la mécanique du bâtiment.

Coûts financiers

- Des répercussions financières pour les assureurs et les sinistrés.
- En l'espace de cinq semaines seulement l'été dernier, le Canada a connu cinq catastrophes naturelles : trois inondations majeures, un incendie de forêt dévastateur et une tempête de grêle destructrice entraînant des pertes assurées de 7 milliards de dollars.
- Les assureurs ont signalé non seulement une augmentation des réclamations d'assurance de dommages, mais aussi une hausse des montants réclamés en raison de la gravité des sinistres directement liés aux changements climatiques.
- Les conséquences sont à la fois l'augmentation des frais liés à la hausse des primes d'assurance et des coûts non couverts par l'assurance, qui sont absorbés par l'assuré et, dans certains cas, par de l'aide gouvernementale.
- Le coût de l'imposition de nouvelles exigences réglementaires concernant la construction, la réfection, la rénovation et la transformation des immeubles afin de renforcer leur résilience face aux risques liés aux changements climatiques.
- Une augmentation significative du coût des travaux; par exemple, lors de la reconstruction après un sinistre, les coûts pour se conformer à cette réglementation s'ajoutent aux pertes.

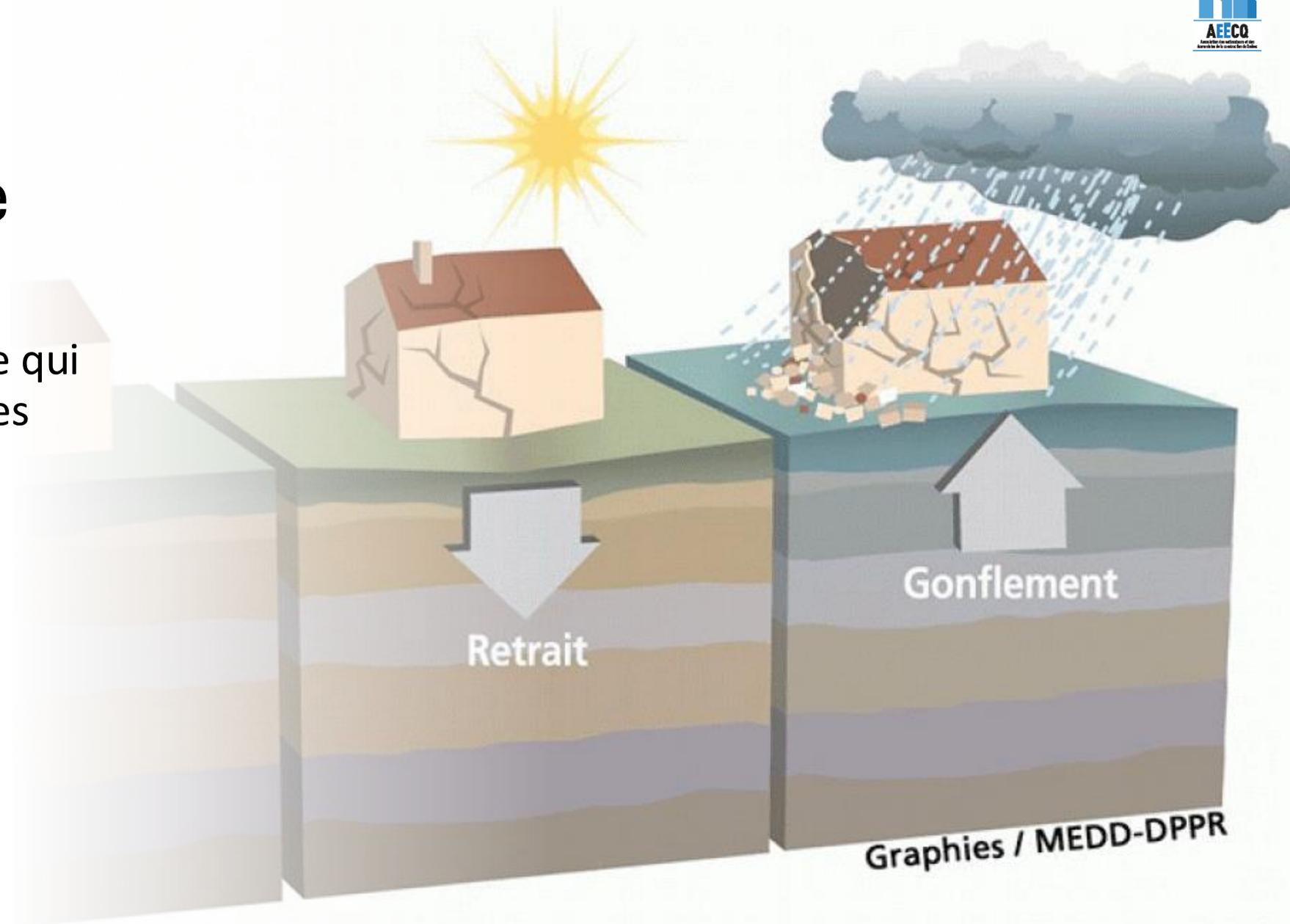
Exemple



Argile sous et surconsolidée

- Le sol est une éponge qui retient de 50 à 400 litres d'eau par mètre carré.

• Source: Marc-André Selosse



Être proactif plutôt que réactif

- La résilience implique aussi la protection de l'environnement et la biodiversité.
- En résumé :

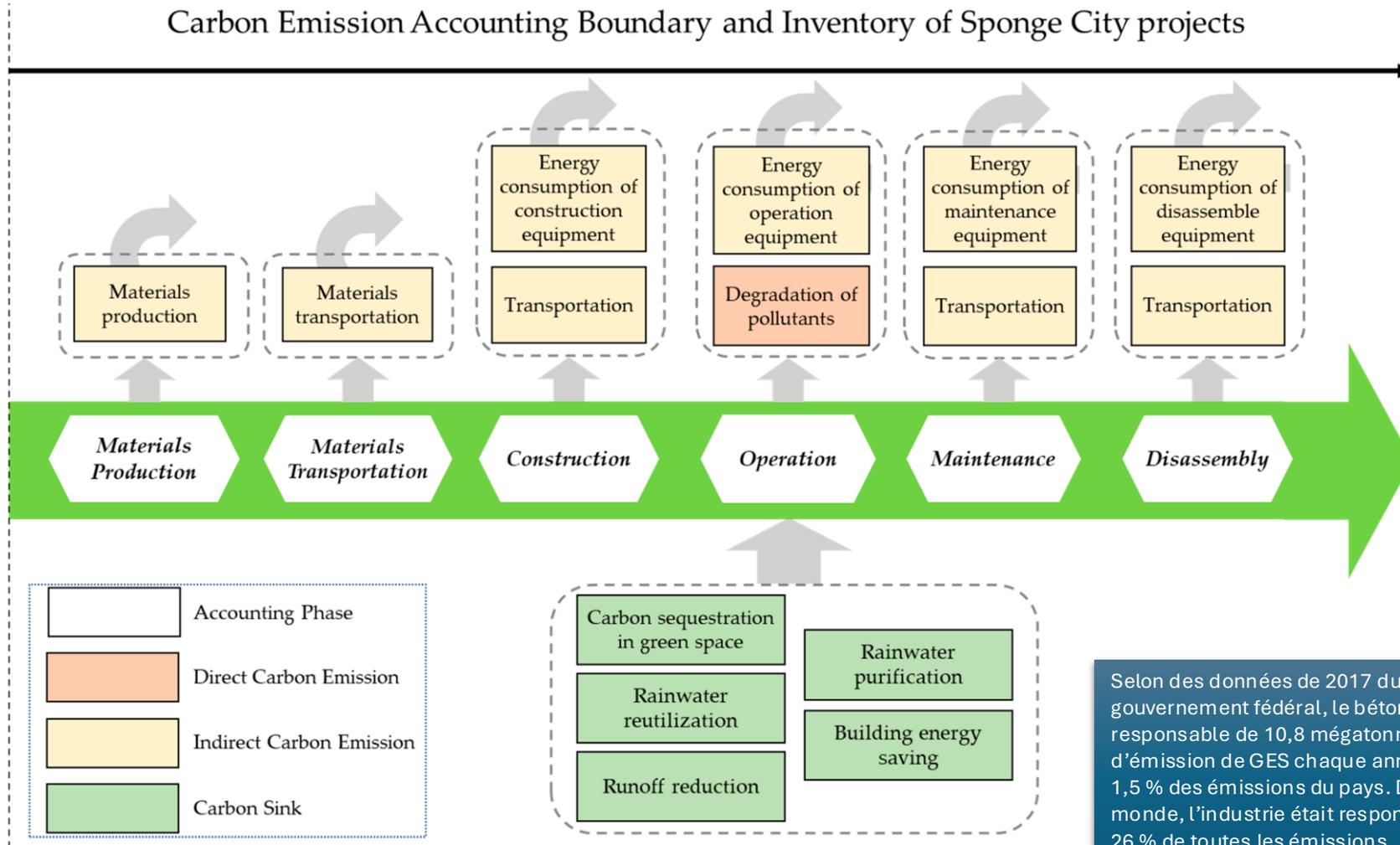
Type de bâtiment ou d'infrastructure	Possibilité de dommages structuraux	Possibilité de problèmes fonctionnels
Bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations côtières • Inondations riveraines • Neige • Vents • Incendie • Dégel du pergélisol • Sécheresse (fondations) • Augmentation des précipitations (fondations) 	<ul style="list-style-type: none"> • Crues soudaines • Augmentation des précipitations • Humidité plus élevée • Chaleur extrême

• Source : Conseil national de recherches Canada

GES et autres externalités négatives

(Un mètre cube de bois = 1 tonne de CO² qui est retirée / Un mètre cube de béton = ½ tonne de CO² d'émission)

Carbon Emission Accounting Boundary and Inventory of Sponge City projects



Selon des données de 2017 du gouvernement fédéral, le béton était responsable de 10,8 mégatonnes d'émission de GES chaque année, soit 1,5 % des émissions du pays. Dans le monde, l'industrie était responsable de 26 % de toutes les émissions industrielles en 2019.

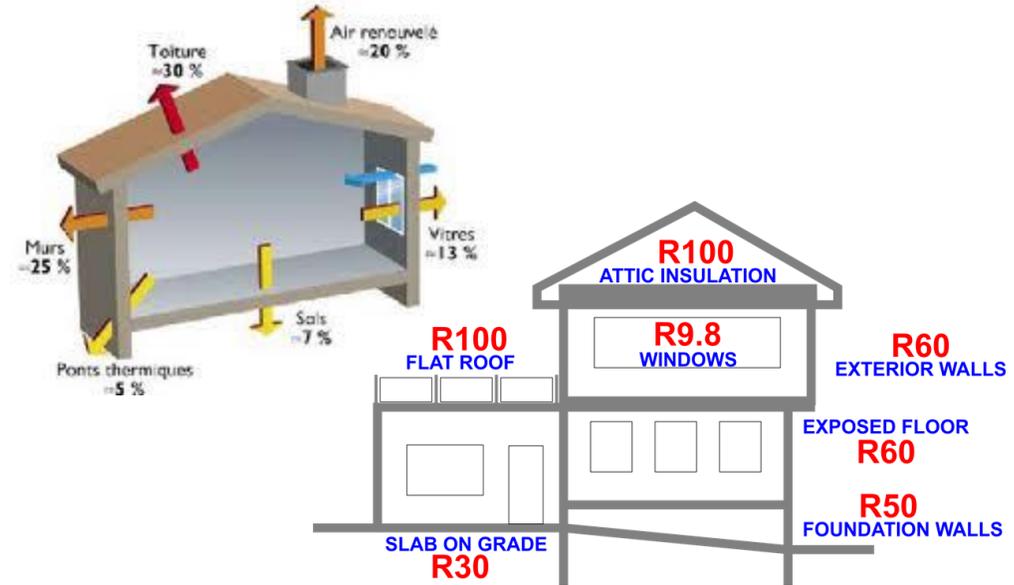
Architecture, enveloppe et structure du bâtiment

- Enveloppe et structure du bâtiment

- Isolation « R »
- Pont thermique
- Changement d'air et qualité d'air
- Performances hygrothermiques 1
 - Humidité

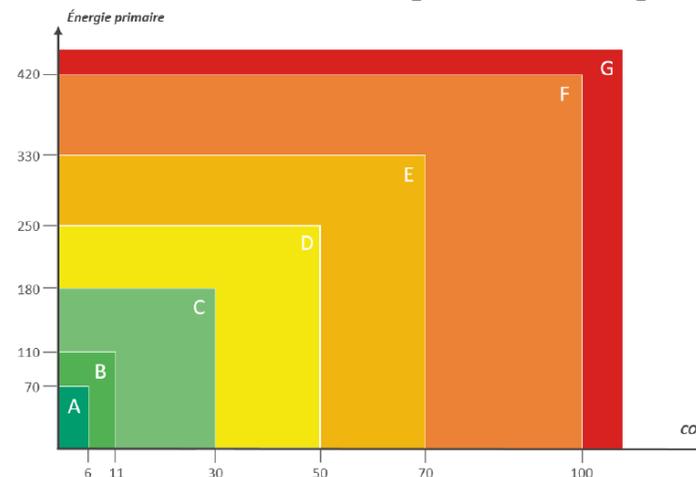
- Bilan performance thermique (DEB)

- Thermographie

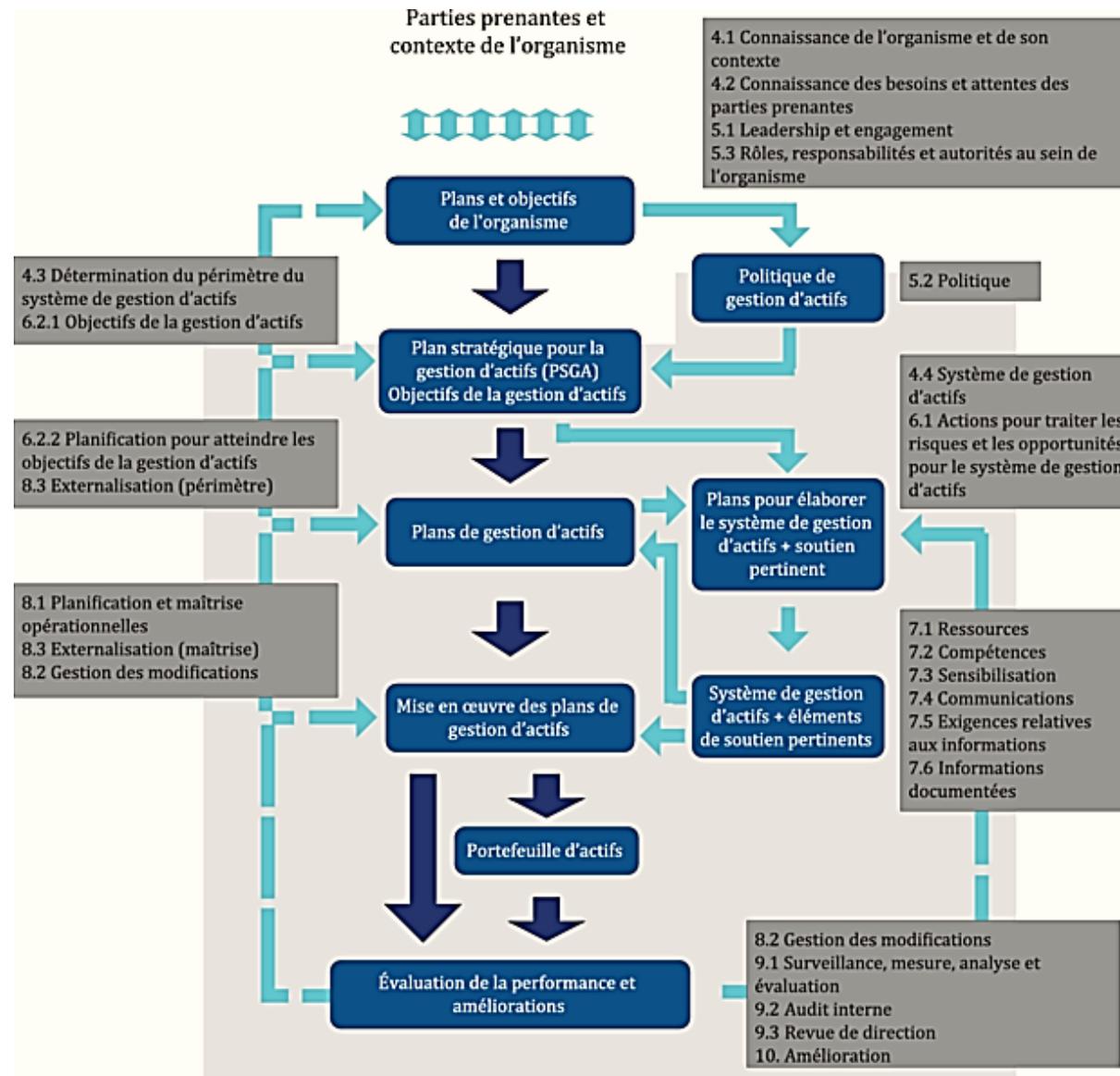


Nouveaux double-seuils des étiquettes de performance énergétique

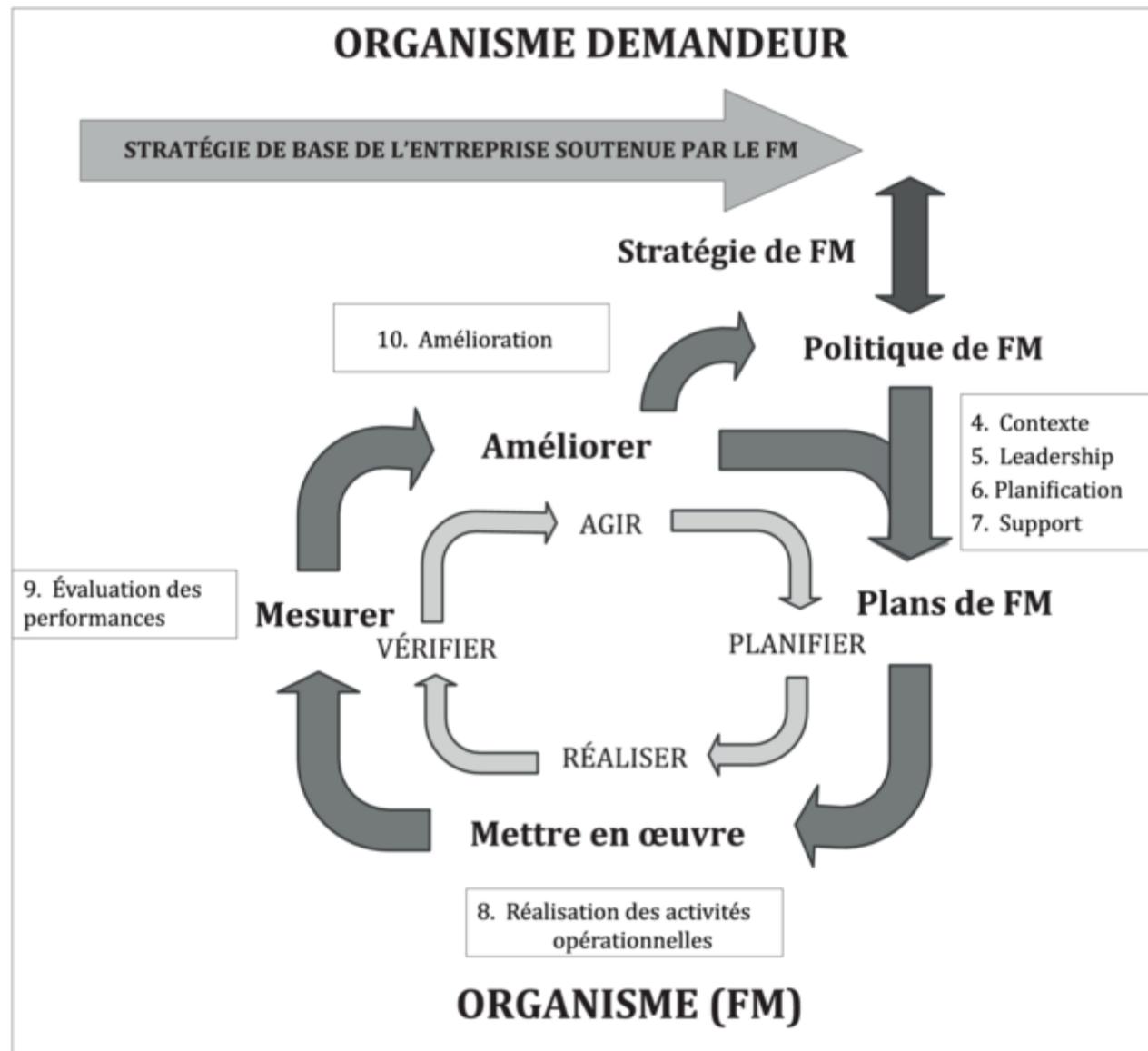
70	6	A
110	11	B
180	30	C
250	50	D
330	70	E
420	100	F
		G



ISO
55002:2018(fr)
Gestion d'actifs —
Lignes directrices
relatives à
l'application de
l'ISO 55001



ISO
41001:2018(fr)
Facility
management —
Systèmes de
management



Outils et solutions

- L'analyse coûts-bénéfices du cycle de vie (ACBCV) ou l'analyse des coûts du cycle de vie (ACCV) compare le coût total d'un projet sur toute sa durée de vie utile aux bénéfices qu'il générera pendant la même période. Toutefois ces outils sont mal adaptés aux changements climatiques.
- Comment s'adapter si les modèles ont des lacunes?
 - Les risques?
 - La résilience?

Les innovations



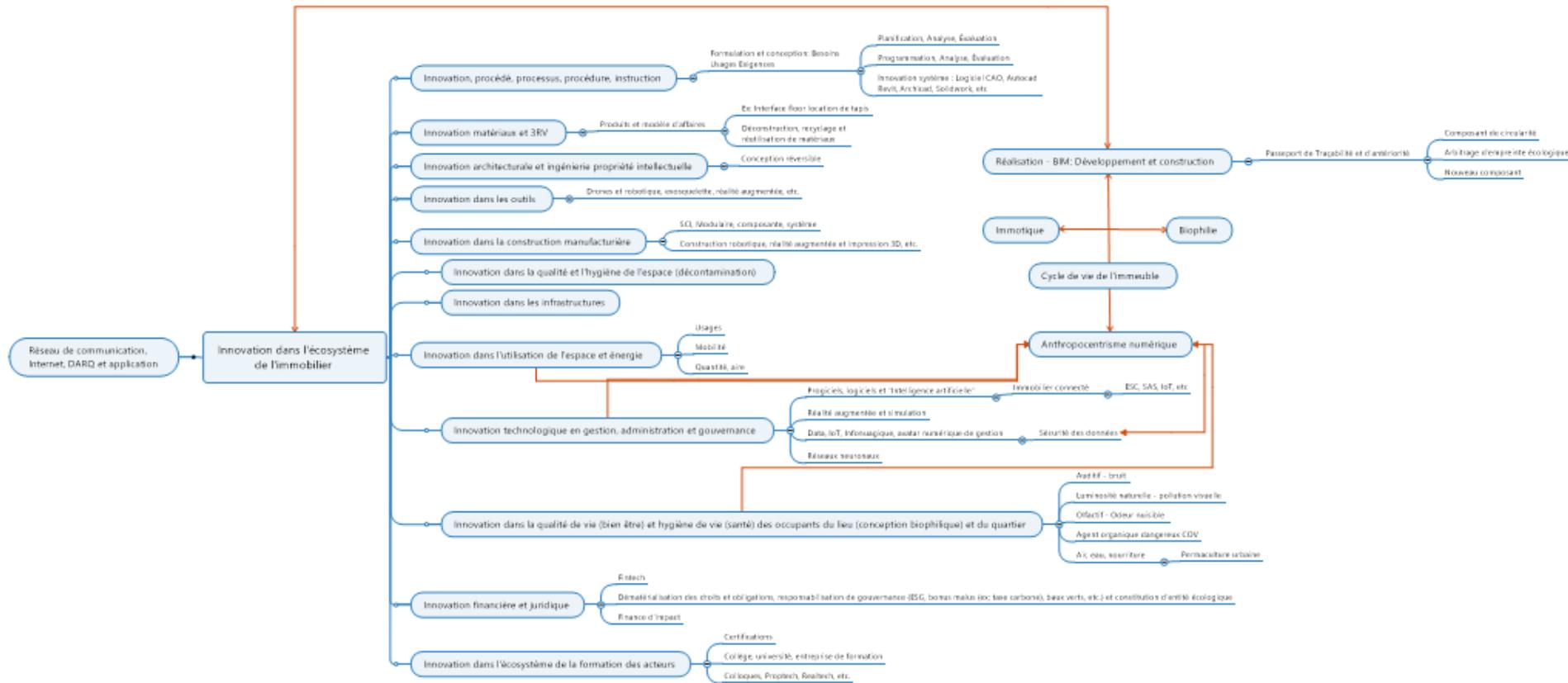
UN MODÈLE DE PRISE DE DÉCISION DYNAMIQUE ET INTELLIGENT EN MATIÈRE DE RÉNOVATION DES BÂTIMENTS EN RÉPONSE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES PAR XGBOOST



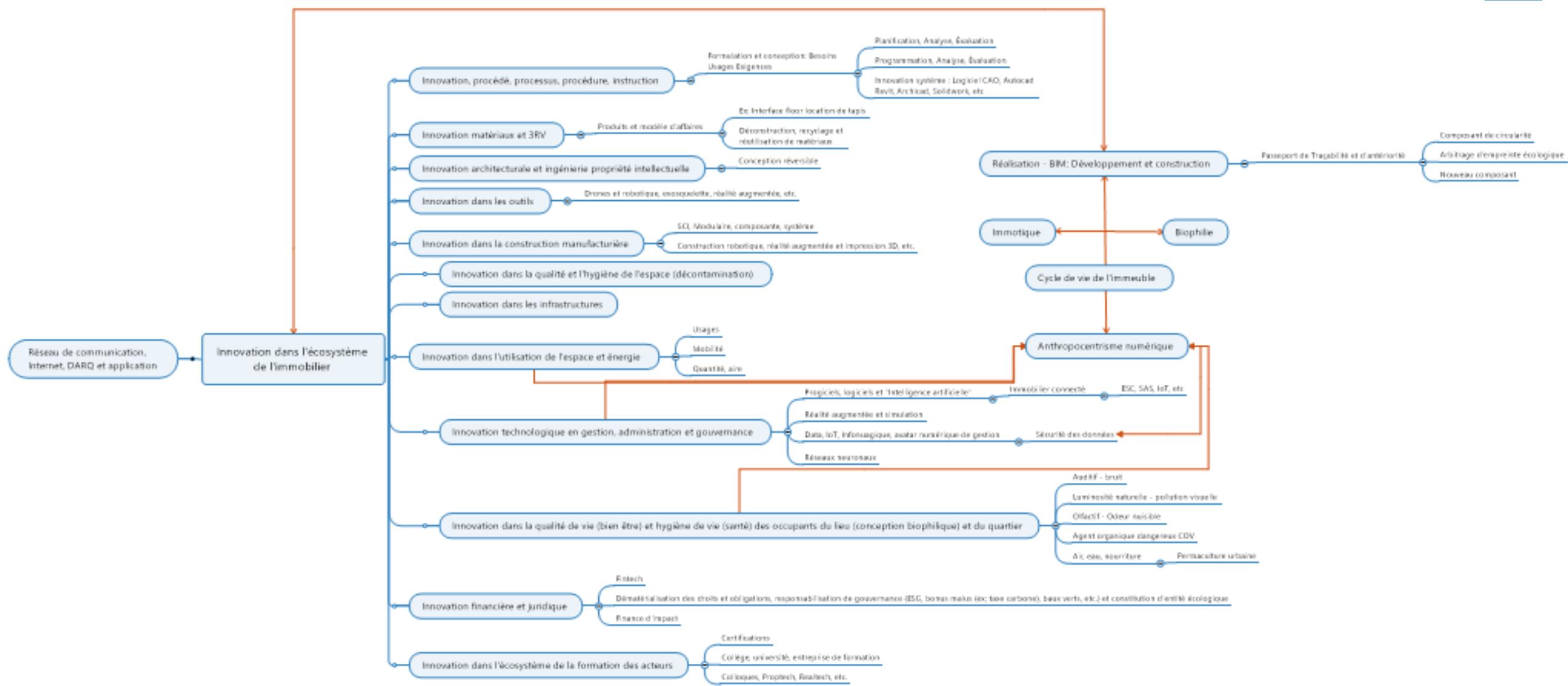
LES INTELLIGENCES ARTIFICIELLES ET QUOI ENCORE?

Technologie en immobilier

Les innovations dans la valeur et les risques d'obsolescence



Mind map



Mind map

Définition de la résilience des bâtiments

- Norme ISO 22301
 - Sécurité et résilience — Systèmes de management de la continuité d'activité
- La résilience des bâtiments est la capacité d'un bâtiment à être dans un état de continuité de son utilité et de fonctionner dans des conditions extrêmes, telles que (mais sans s'y limiter) des températures extrêmes, l'élévation du niveau de la mer, les catastrophes naturelles et les dangers d'origine humaine, y compris le terrorisme, etc. Alors que l'environnement bâti fait face aux effets imminents du changement climatique mondial, les propriétaires de bâtiments, les concepteurs et les constructeurs doivent concevoir des installations pour optimiser la résilience des bâtiments.
 - Source : Whole Building Design Guide

La plausibilité est à l'estimation des risques, ce que la probabilité est à l'évaluation des risques. *Georges Jousse, Traité de riscologie*

Certification

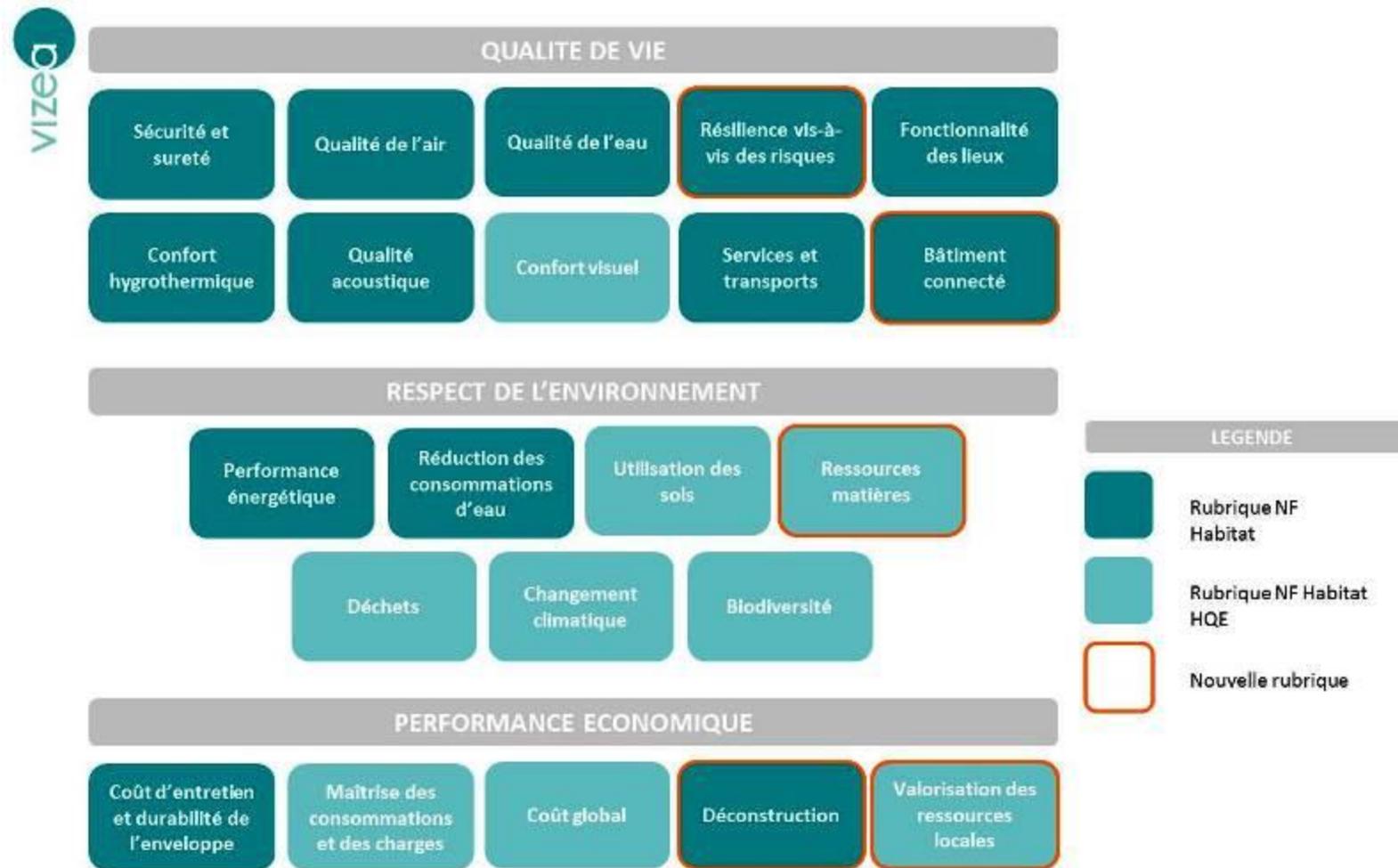
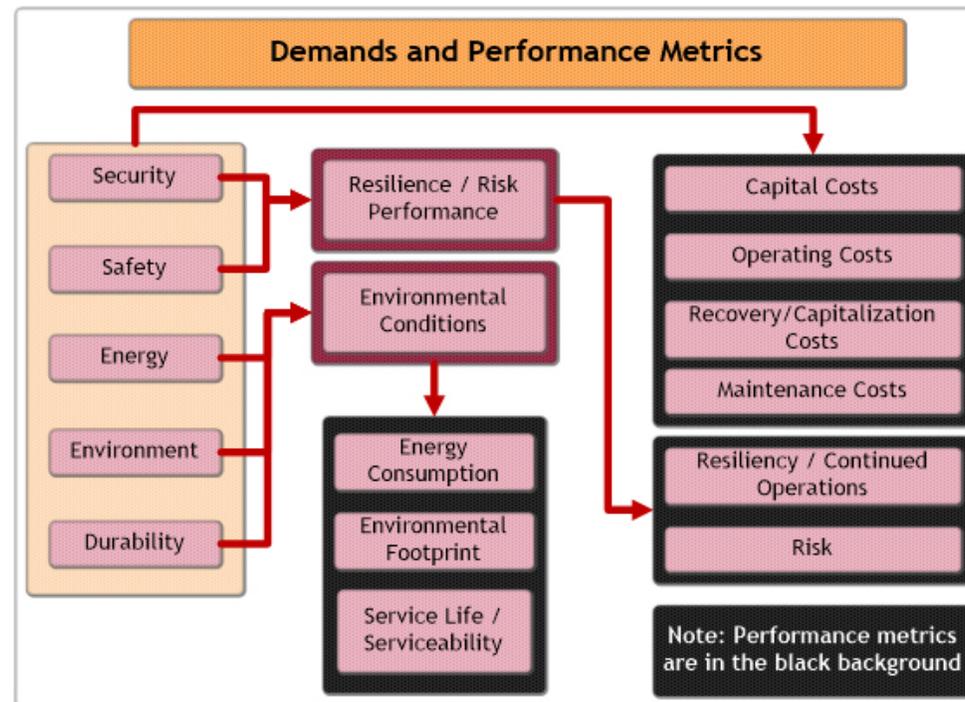


Figure : Composition du référentiel Construction NF Habitat HQE

Risques, résilience et relations de rendement

- Pour évaluer l'augmentation de la résilience, il est essentiel d'identifier les niveaux de performance (ou, dans le contexte de la sûreté et de la sécurité, la protection) et d'évaluer leur impact sur la réduction des risques et l'amélioration de la résilience. Une fois que les niveaux de performance ou de protection sont identifiés, il est possible de calculer les coûts associés à leur mise en œuvre et d'utiliser ces données pour évaluer les avantages d'une plus grande résilience. Les relations entre le rendement fonctionnel, le risque, la résilience et le coût sont illustrées dans la figure ci-dessous.



Source : Whole Building Design Guide

Risques et la résilience

- Résilience des actifs (bâtiments) et des communautés selon la FEMA (2005)
 - Cote de risque = fonction (conséquences, menace, vulnérabilité — C, M, V)

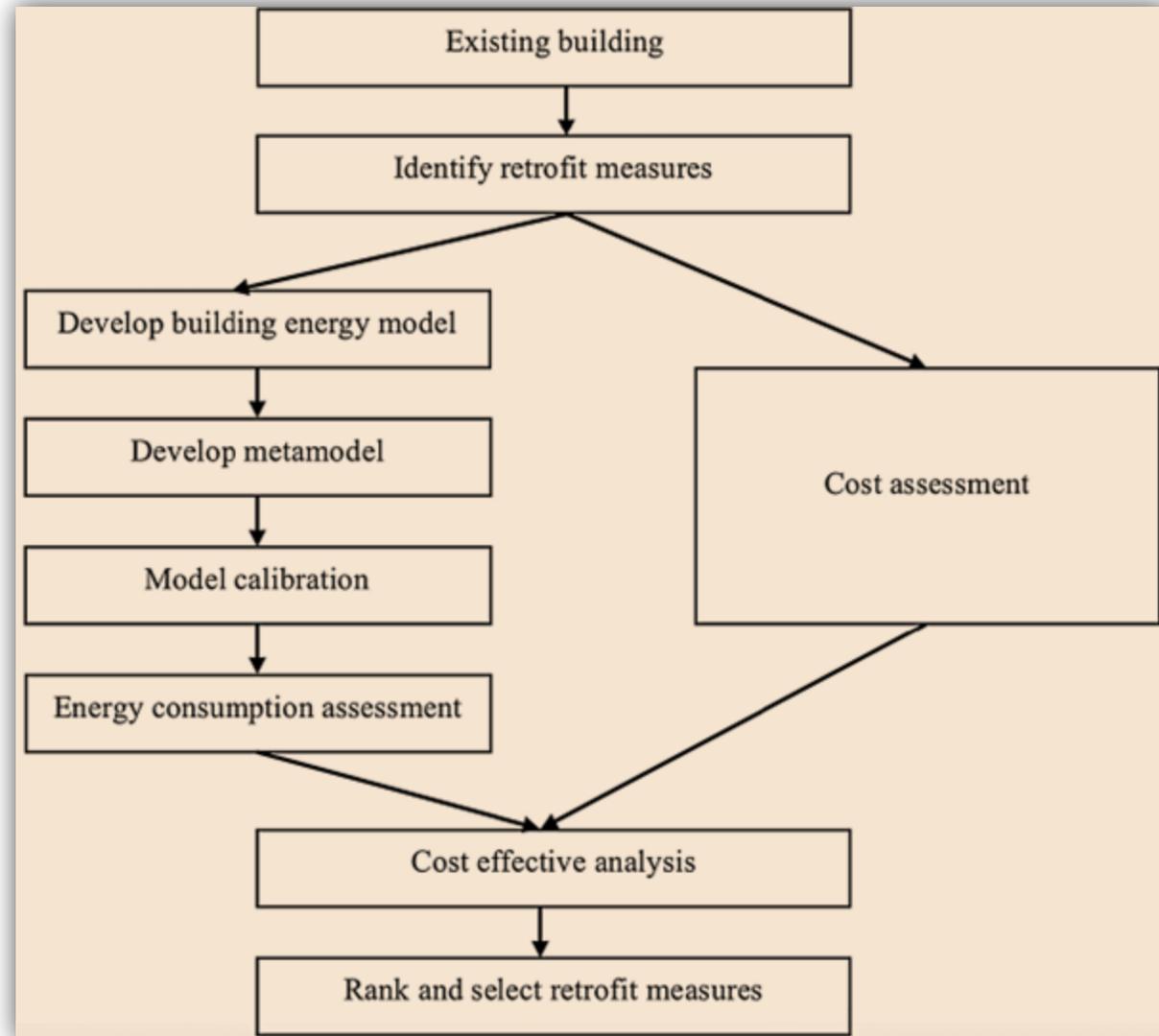
Tableau 1 - Relations entre le risque et la résilience
 Figure 4 : Interrelations en matière de risque, de résilience et de durabilité



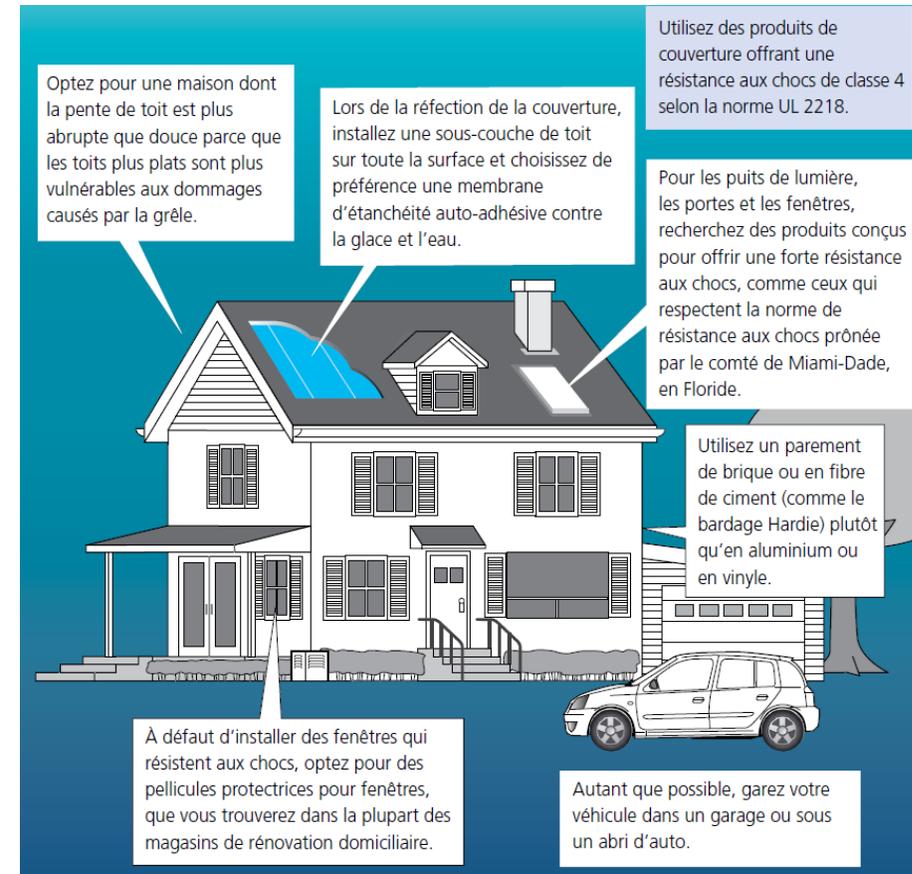
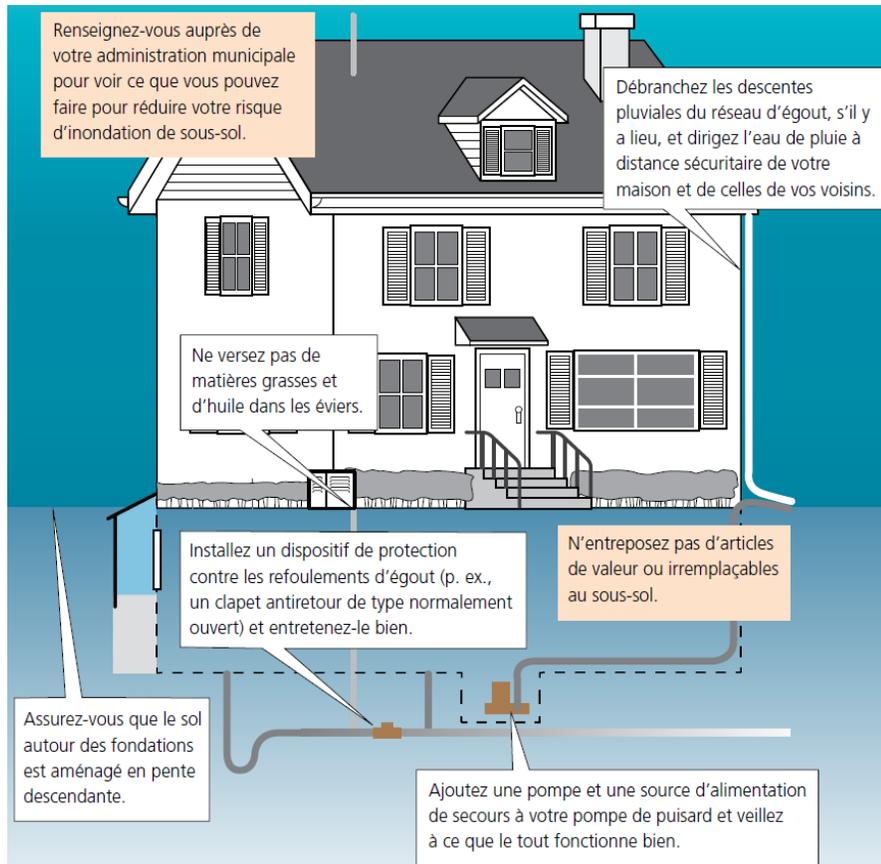
COMPOSANTES DU RISQUE	COMPOSANTES DE RÉILIENCE			
	Robustesse	Débrouillardise	Récupération	Redondance
Conséquences	Mineur	Majeur	Majeur	Majeur
Menace	Majeur	Mineur	Mineur	Majeur
Vulnérabilité	Majeur	Mineur	Mineur	Majeur

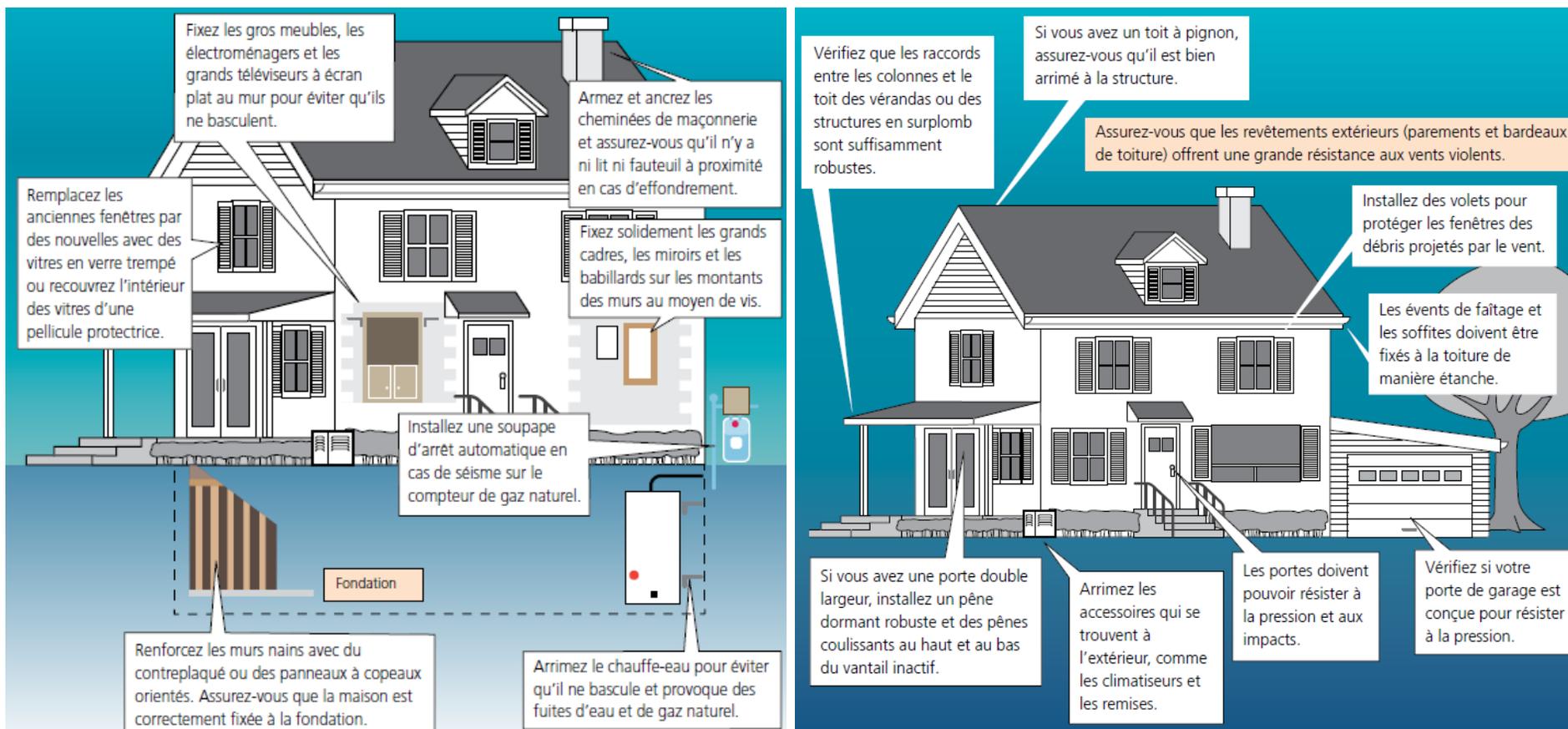
Rétrofit

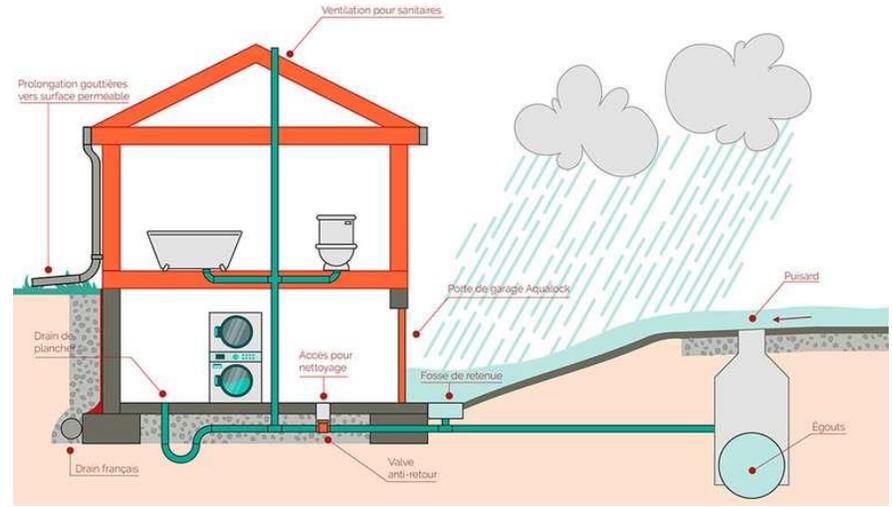
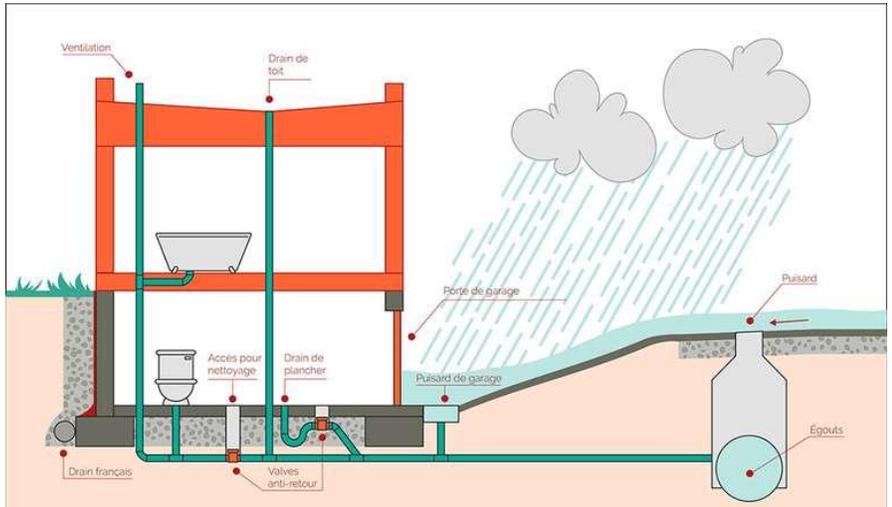
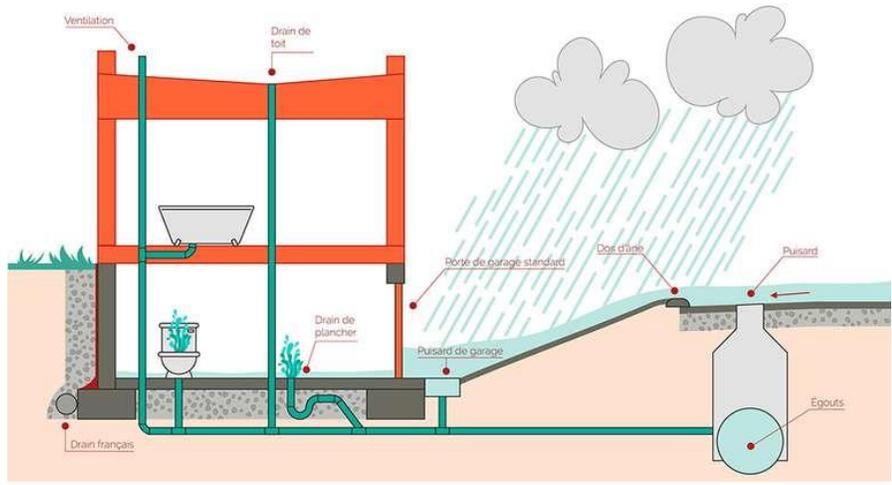
Une procédure intégrée pour classer et sélectionner des mesures de modernisation rentables, basée sur un métamodèle et une méthode d'analyse du coût du cycle de vie.



Exemple de prévention







Mesures d'adaptation résidentielle

Architecture Sans Frontières Québec (ASFQ)

Tableau sommaire

		● ● ● Très approprié ● Plus coûteux ● ● Moins approprié ● Moins coûteux ● Ne s'applique pas		Habitation existante	Nouvelle habitation	Inondation en eau libre	Submersion côtière	Inondation urbaine	Embâcle	Coûts
Mesures clés	C1	Aménagement d'une zone refuge	●	●	●	●	●	●	●	●
	C2	Réaménagement des espaces de vie	●	●	●	●	●	●	●	●
	C3	Mise hors d'eau des équipements	●	●	●	●	●	●	●	●
	C4	Source d'énergie indépendante	●	●	●	●	●	●	●	●
	C5	Dispositifs d'évacuation des eaux	●	●	●	●	●	●	●	●
	C6	Étanchéisation des ouvertures	●	●	●	●	●	●	●	●
	C7	Dispositifs anti-refoulement	●	●	●	●	●	●	●	●
Mesures d'adaptation	A1	Planchers résilients	●	●	●	●	●	●	●	●
	A2	Murs résilients	●	●	●	●	●	●	●	●
	A3	Menuiserie résiliente	●	●	●	●	●	●	●	●
	A4	Redistribution du réseau électrique	●	●	●	●	●	●	●	●
	A5	Événements d'inondation	●	●	●	●	●	●	●	●
	A6	Aménagements extérieurs résilients	●	●	●	●	●	●	●	●
Mesures d'évitement	E1	Élévation sur piliers ou colonnes	●	●	●	●	●	●	●	●
	E2	Élévation sur pieux ou pilotis	●	●	●	●	●	●	●	●
	E3	Rehaussement du plancher	●	●	●	●	●	●	●	●
	E4	Rehaussement des fondations	●	●	●	●	●	●	●	●
	E5	Hydrofugation des fondations	●	●	●	●	●	●	●	●
	E6	Ajout d'un étage	●	●	●	●	●	●	●	●

Risques, résilience et relations de rendement

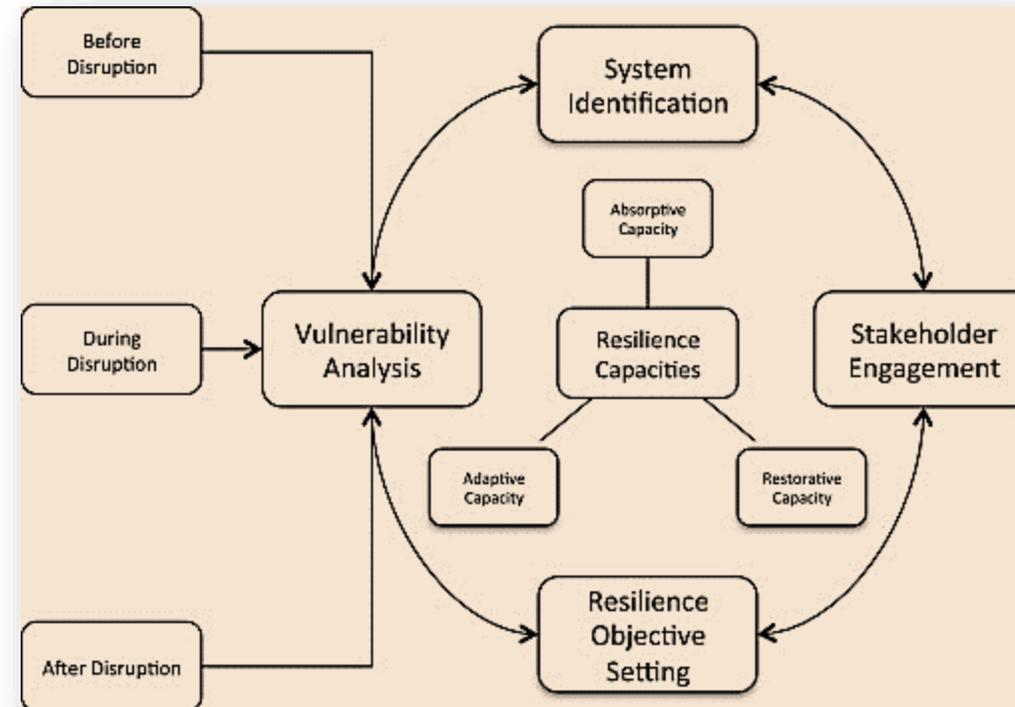
Table 1: Benefit-Cost Ratio by Hazard and Mitigation Measure.

	ADOPT CODE	ABOVE CODE	BUILDING RETROFIT	LIFELINE RETROFIT	FEDERAL GRANTS
Overall Benefit-Cost Ratio	11:1	4:1	4:1	4:1	6:1
Cost (\$ billion)	\$1_{/year}	\$4_{/year}	\$520	\$0.6	\$27
Benefit (\$ billion)	\$13_{/year}	\$16_{/year}	\$2200	\$2.5	\$160
 Riverine Flood	6:1	5:1	6:1	8:1	7:1
 Hurricane Surge	not applicable	7:1	not applicable	not applicable	not applicable
 Wind	10:1	5:1	6:1	7:1	5:1
 Earthquake	12:1	4:1	13:1	3:1	3:1
 Wildland-Urban Interface Fire	not applicable	4:1	2:1	not applicable	3:1

Cadre de résilience

Ce cadre est constitué de cinq composantes :

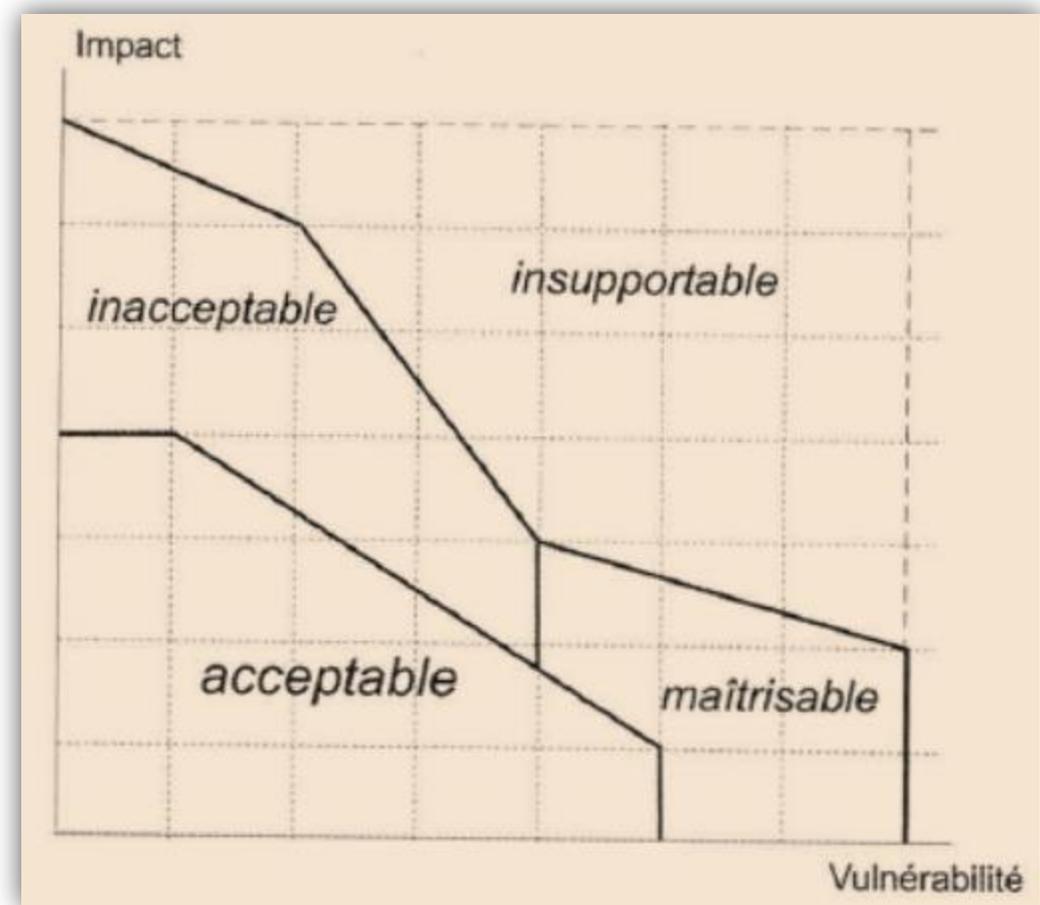
1. l'identification du système;
2. l'analyse de la vulnérabilité (avant, pendant et après la perturbation);
3. l'établissement d'objectifs de résilience (identification d'objectifs tels que la performance normale ou l'identité de base à atteindre ou à maintenir);
4. l'engagement des parties prenantes (coordination, coopération et partage d'informations);
5. les capacités de résilience.



Caractéristiques de la dépréciation

De quelle nature sont les risques :

- Physique
- Fonctionnelle
- Économique
- Environnementale
- Sociale
- Autres...



Agents de dégradation influant sur la durée de vie des composantes du bâtiment (ISO 15686-2)

Nature	Classe
Agents mécaniques	Pesanteur Forces et déformations imposées ou maîtrisées Énergie cinétique Vibration ou bruits
Agents électromagnétiques	Rayonnement Électricité Magnétisme
Agents thermiques	Niveaux extrêmes ou variations rapides de température
Agents chimiques	Eau et solvants Agents oxydants Agents réducteurs Acides Bases Sels Matières chimiquement neutres
Agents biologiques	Végétaux et micro-organismes Animaux

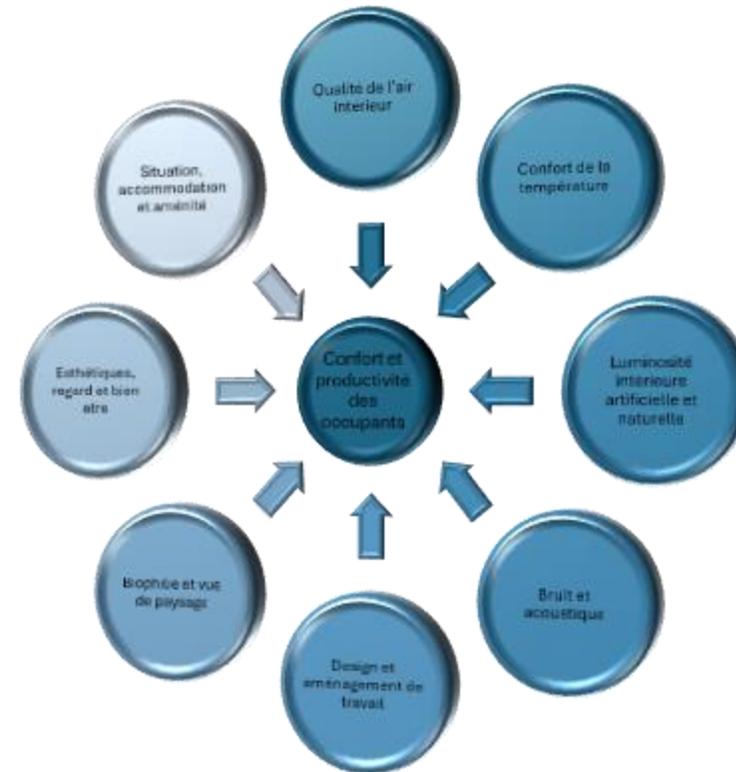
Variété de charges affectant une structure

- Charge permanente : structure, etc.
- Charge vive : mobilier, équipement mobile, etc.
- Charge de cisaillement : vent, érosion du sol, séisme, etc.
- Charge concentrée : baignoire, etc.
- Charge d'écartement : congère, etc.

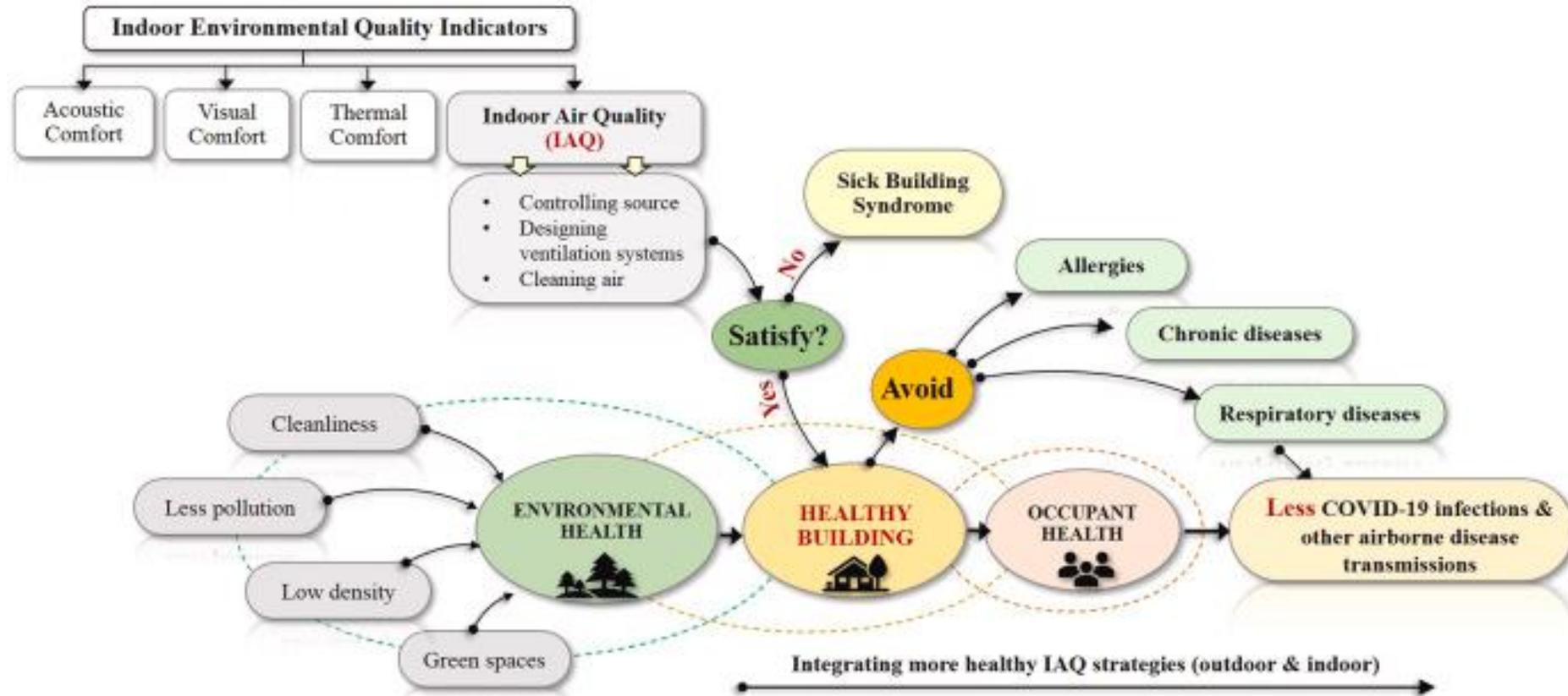
- Bâtiment résilient
 - Trois principaux éléments sont indiqués dans les courbes IDE
 - Intensité
 - Durée
 - Fréquence
 - ex: calcul IDE

Valeur ajoutée

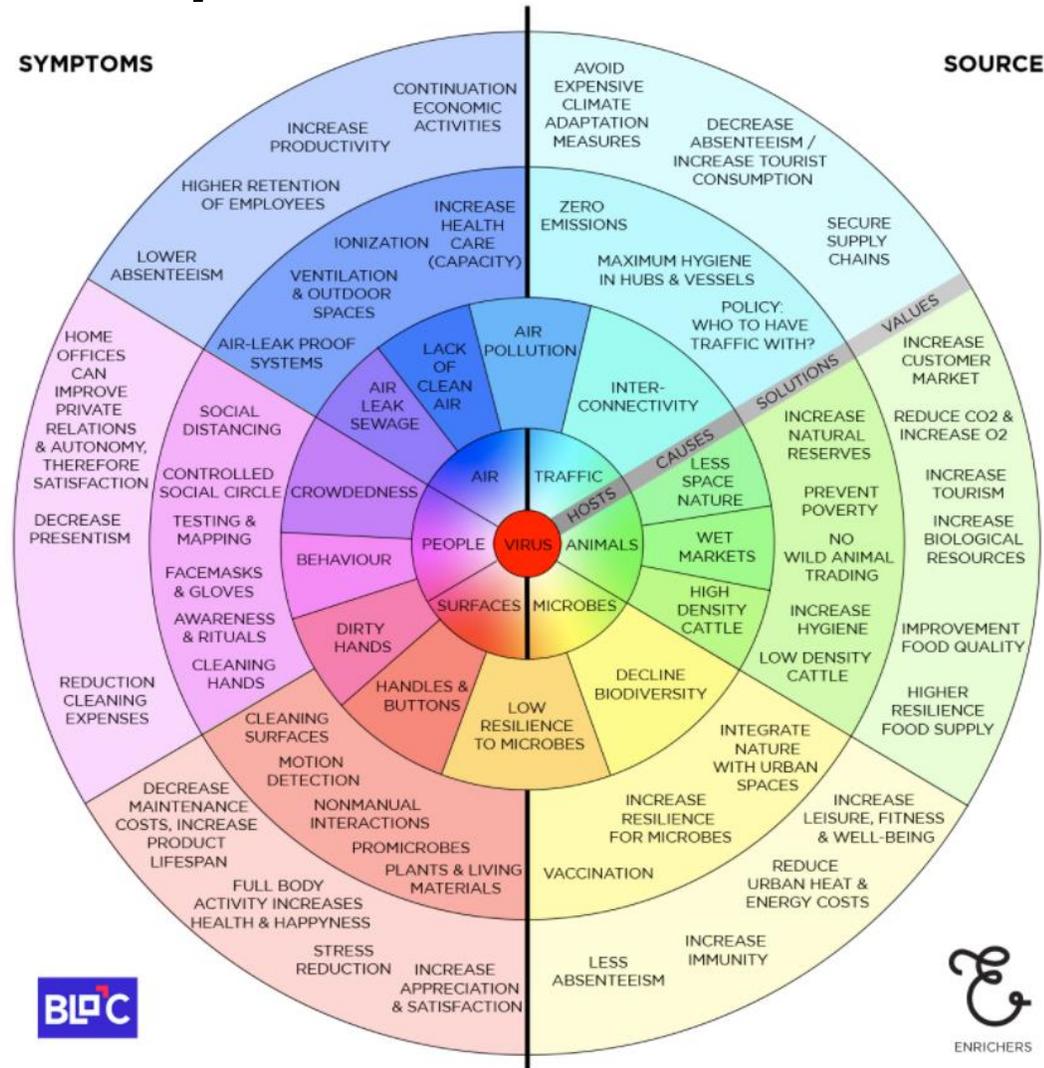
- Qualité de l'air intérieur
- Confort de la température
- Luminosité intérieure artificielle et naturelle
- Bruit et acoustique
- Design et aménagement de travail
- Biophilie et vue de paysage
- Esthétique, regard et bien être
- Situation, accommodation et aménité



Qualité de l'air intérieur



Valeur ajoutée



Risque managérial et opérationnel

- L'absentéisme
- Le présentéisme
- Le roulement du personnel
- Le risque de contagion

Salaire moyen * %io^{2*} = \$\$\$

Coût au pied carré de loyer

* Indice d'inefficience organisationnel pour l'optimalité

<https://thecogfxstudy.com/>

<https://www.bloc.nl/bloc-notes/neo-hygiene-collab/>

Principales caractéristiques

- Sans intervention, la perception de la qualité d'un bâtiment diminue avec le temps sous l'effet conjugué de sa dégradation physique et de la montée des attentes des utilisateurs (obsolescence).
- Le taux de détérioration physique est fonction de la qualité du bâtiment et de sa gestion (entretien et réparations mineures).
- Les réparations et les travaux de rénovation légers permettent aux investisseurs de lutter contre la détérioration physique tout en améliorant légèrement les caractéristiques de durabilité, mais leur action sur l'obsolescence fonctionnelle n'est que partielle.
- Les travaux de rénovation sont la seule solution pour ramener le bâtiment aux attentes des occupants. Ils se produisent à intervalles réguliers tout au long du cycle de vie du bâtiment.

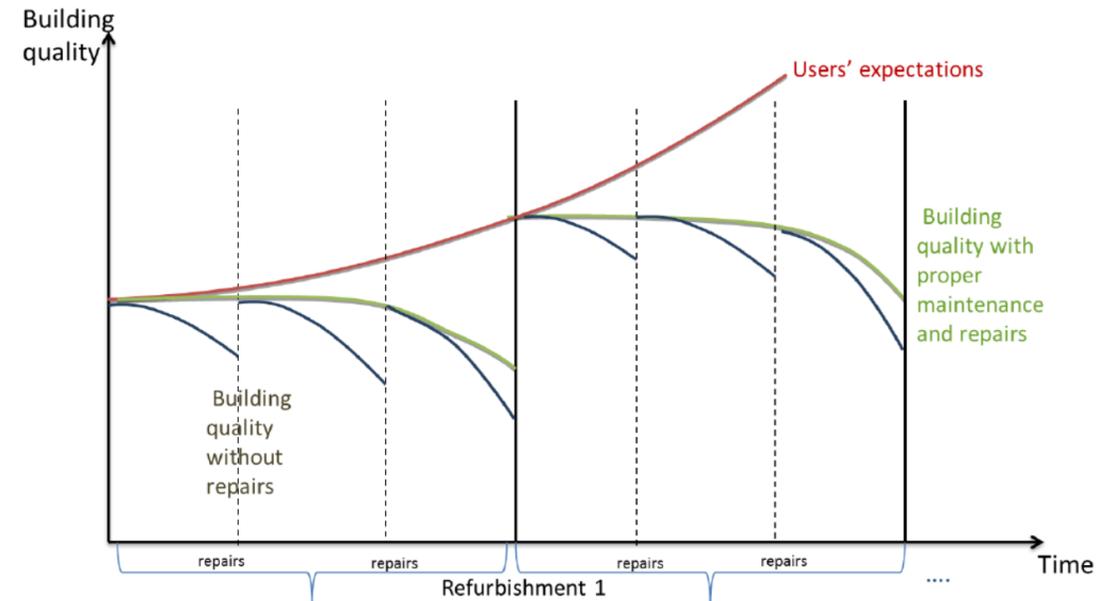


Figure 43: Simplified model for retrofit and refurbishment cycles

Types d'obsolescence

Sources	Mécanismes	Exemples
Légal	• Changements dans la réglementation du bâtiment	Régulation énergétique des constructions neuves et rénovations, régulation de la qualité de l'air intérieur, etc.
	• Modifications de la réglementation RSE	Divulgation non financière obligatoire
	• Changements dans le système fiscal	Nouvelle taxe carbone
Marché	• Hausse des prix des services publics	Hausse des prix de l'électricité
	• Élaboration de normes volontaires	Diffusion des labels HQE, BREEAM, LEED, DGNB Renforcement des ambitions de ces labels
Technologique	• Nouvelle technologie pour les composants de construction et les installations techniques	Développement de nouvelles générations de chaudières, de nouveaux matériaux d'isolation, etc.
	• Nouvelle technologie pour la mesure des performances de durabilité	Développement de compteurs intelligents
Sociale	• Transformation du lieu de travail	Développement de lieux de travail collaboratifs
	• Changement dans les pratiques de mobilité	Développement du vélo
Externe	• Développement de quartiers durables	Développement de réseaux intelligents, qui créeraient des différenciations entre les sites
	• Adaptation au changement climatique et aux événements naturels	Multiplication des problèmes de confort d'été, des inondations

Y. Kamelgarn (2015)

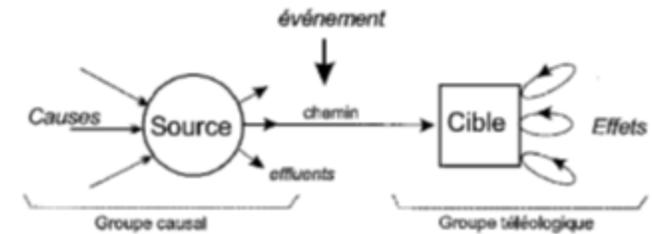
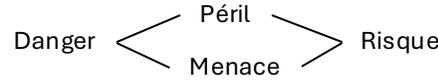
La dépréciation

- La dépréciation est un enjeu majeur pour les investisseurs et les évaluateurs immobiliers, car elle affecte à la fois les rendements et la valeur des actifs. Les causes de la dépréciation incluent la détérioration physique et diverses formes d'obsolescence qui surviennent avec les risques, les changements technologiques, sociaux ou réglementaires dans l'économie.
- Par exemple, qu'en est-il de la circularité des composants dans un bâtiment? Est-ce que les composants seront dépréciés à leur juste espérance de vie économique?

Principales façons de gérer les risques

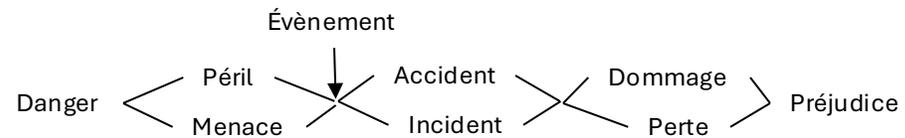
1. Établissement du contexte où l'on évolue,

- a) Groupe étiologique
- b) Groupe téléologique
- a) Incident (Déf. : Évènement imprévu qui survient dans le cours d'une entreprise)
- b) Accident (Déf. : Évènement fortuit, imprévisible)



2. Appréciation du risque

- a) Identification du risque;
- b) L'analyse du risque;
- c) Évaluation du risque;
- d) Arbitrer les risques;



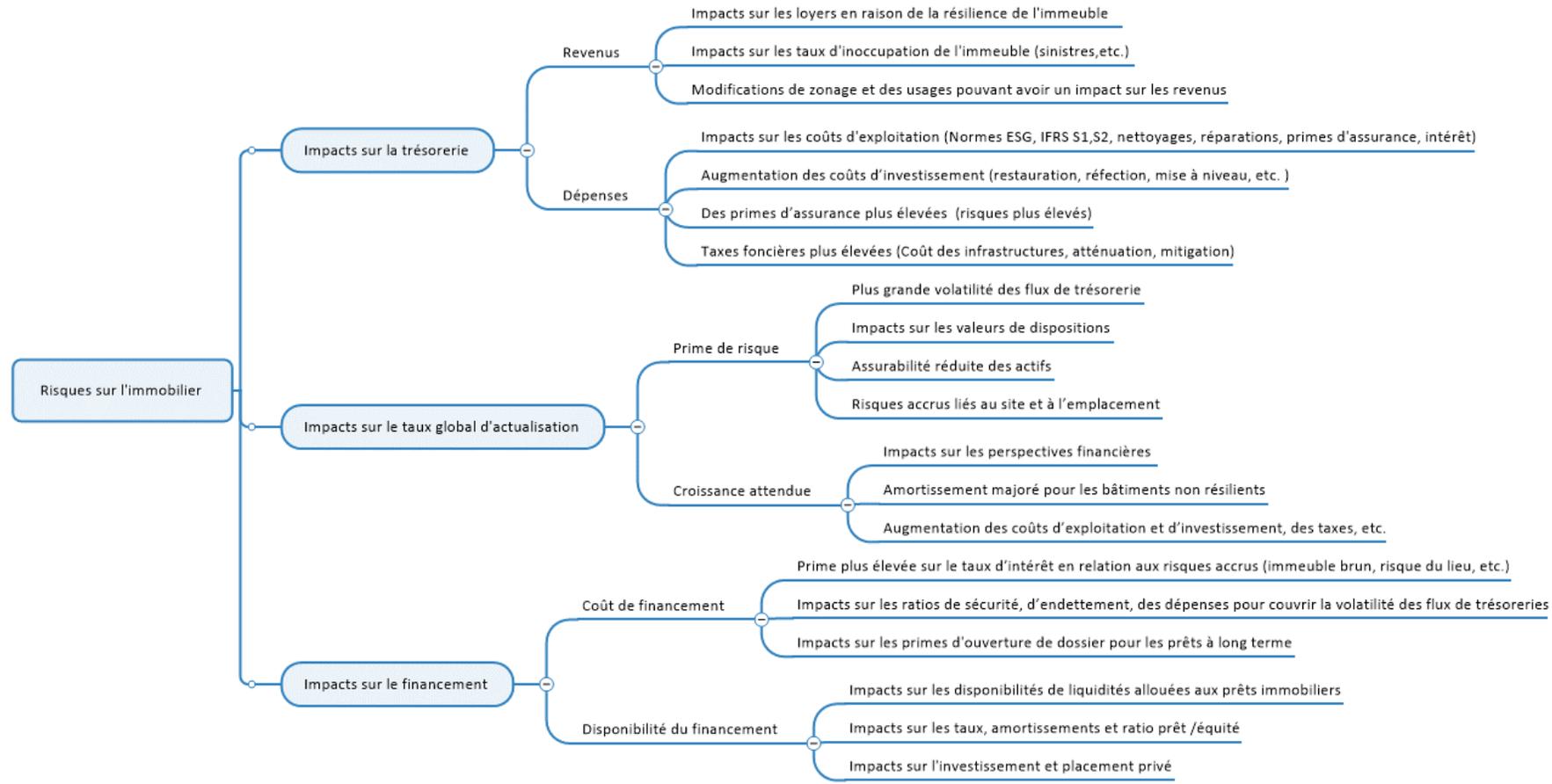
3. Traitement du risque

- a) Éviter les risques;
- b) Prévenir les risques (éviter);
- c) Absorber les risques (planifier, ignorer, diversifier, compenser, réduire, disperser, réorganiser, l'exploiter, maîtriser ou contrôler);
- d) Transférer les risques en tout ou en partie (l'assurant, le sous-traitant, le quottant);

4. Mise en œuvre [ex: SQI Logiciel VACCIn](#)

5. Contrôle.

Risques financiers liés à l'environnement et aux changements climatiques



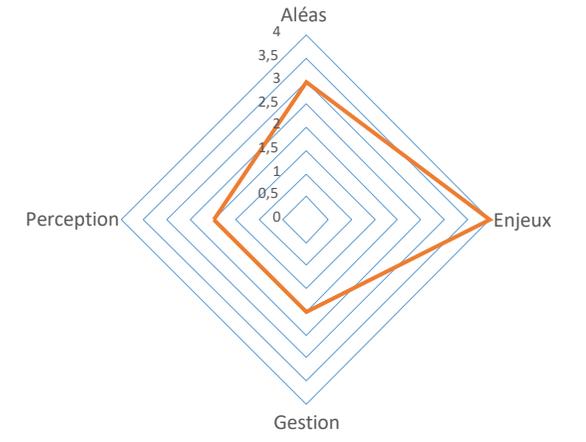
Risques liés à l'environnement et aux changements climatiques

Effets du changement climatique	Agents environnementaux	Spécifications théoriques pour la sélection des produits, méthodes d'installation
Augmentation du réchauffement climatique	Des températures plus élevées et une plus grande amplitude globale de changement de température annuel et diurne	<p>Produits dimensionnellement stables et compatibles ayant un coefficient de dilatation thermique plus faible, ce qui permet de réduire la dilatation globale (p. ex., pour les composants de fenestration en plastique directement exposés au rayonnement solaire)</p> <p>Produits ayant une élasticité accrue et résistant aux cycles de mouvement répétés (p. ex., lorsqu'il s'agit de produits d'assemblage et d'étanchéité)</p>
	Processus de vieillissement accéléré en raison de périodes plus longues de température plus élevée et d'une exposition à des niveaux plus élevés de rayonnement UV-B	Produits d'une résistance éprouvée et accrue au vieillissement thermique et aux rayons UV (c.-à-d. pour les produits directement exposés au rayonnement solaire et à l'environnement extérieur, p. ex., produits de toiture et de revêtement, unités de GI, composants de fenestration en plastique, membranes d'étanchéité et de revêtement à base de polymères, produits de jointoiement et d'étanchéité, peintures et revêtements pour revêtements et composants apparents exposés)
Augmentation des charges de pluie poussées par le vent	Conditions environnementales à l'intérieur des cadres de fenêtres et de portes et dans les ouvertures d'installation présentant des conditions d'humidité moyenne plus élevées ainsi qu'une incidence accrue d'humidité liquide lors d'un contact plus prolongé avec des produits de fenêtrage	Choisir les approches de conception les plus robustes qui améliorent le drainage de l'eau des surfaces et minimisent la probabilité de rétention d'eau dans les espaces interstitiels (p. ex., pour les assemblages muraux et pour la conception et l'installation de fenêtres)
		<p>Produits indéformables lorsqu'ils sont mouillés et ayant une résistance accrue à l'hydrolyse (c.-à-d. dégradation par contact avec de l'eau liquide chaude) (p. ex., pour : les produits d'isolation utilisés pour assurer la continuité de la résistance thermique aux interfaces mur-fenêtre et porte ; les membranes d'étanchéité et de revêtement à base de polymères ; les produits de jointoiement et d'étanchéité)</p> <p>Composants de produits métalliques ayant une résistance accrue à la corrosion après avoir été mouillés (p. ex., toit, revêtement, cadre de fenêtre, attaches de fenêtre, attaches de brique)</p>

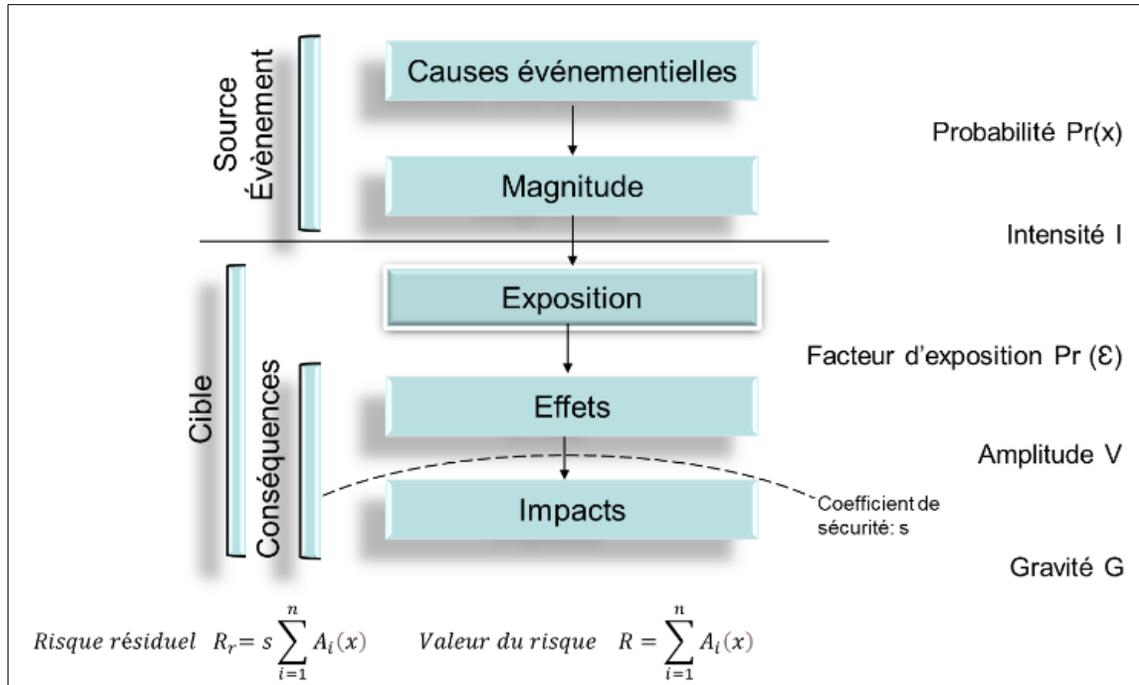
Quelques définitions

- Aléa
 - L'aléa est un phénomène (naturel ou technologique) plus ou moins probable sur un espace donné.
- Vulnérabilité
 - La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible de ce phénomène sur des enjeux (l'homme et ses activités).
- Risque
 - **Le risque peut être défini comme la probabilité d'occurrence de dommage compte tenu des interactions entre facteurs d'endommagement (aléas) et facteurs de vulnérabilité (peuplement, répartition des biens).** On peut ainsi résumer cette définition par une formule :
« risque = aléa × vulnérabilité ».

Analyse des risques



Processus d'analyse des risques



Matrice d'occurrence et de sévérité de l'événement

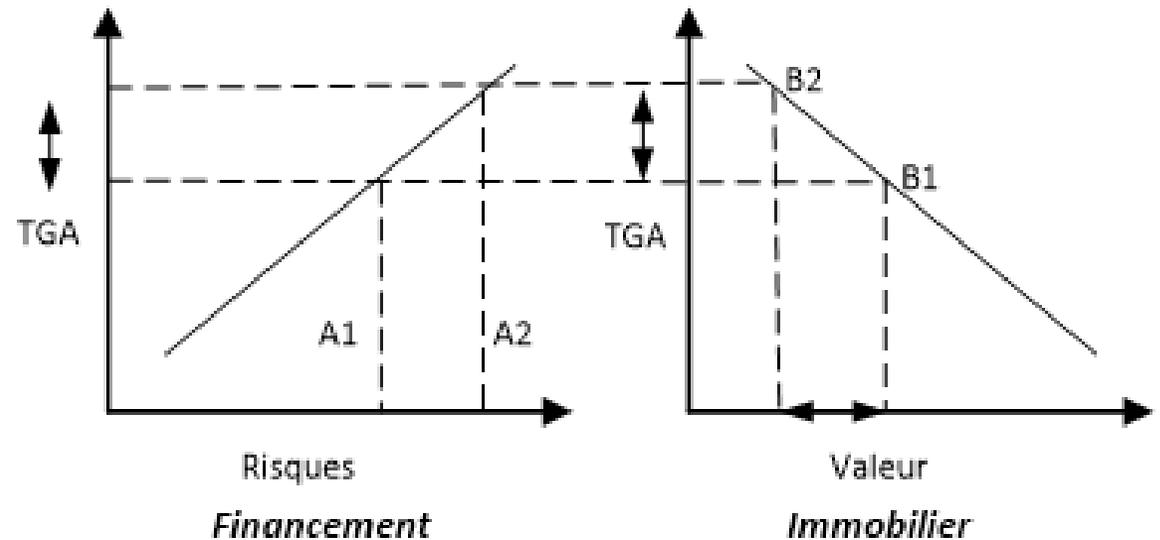
Probabilité	6	12	18	24	30	36
	5	10	15	20	25	30
	4	8	12	16	20	24
	3	6	9	12	15	18
	2	4	6	8	10	12
	1	2	3	4	5	6
	Sévérité					

La technique d'analyse PESTEL de Francis Aguilar de Harvard, adaptée pour prendre en compte les facteurs influençant l'immobilier (politique, économique, sociologique, technologique, environnemental, légal), appuyée par le modèle des 5 forces de Porter dans le contexte commercial mercatique de l'immobilier.

Matrice de catégorisation des cinq risques dynamiques

Les risques managériaux sont les principaux risques à atténuer

Risques au projet	Marchés Politiques/ Économiques	Patrimoniaux Managériaux et technique	Financiers	Technologiques	Environnementaux
Endogènes	Produits ou services obsolètes	Erreur humaine non planifiée et volontaire structurée, incompetence, ignorance.	Manque de liquidité, Évaluation interne des risques et de la solvabilité	Sécurité informatique, défaillance, obsolescence, etc.	Contamination, maladie, etc. Obsolescence de résilience climatique
Exogènes	Entrée de substitut, changement de consommation, etc.	Idem	Crise financière (2008)	Hacking	Contamination Catastrophe naturelle, guerre, attentat, épidémie, etc.

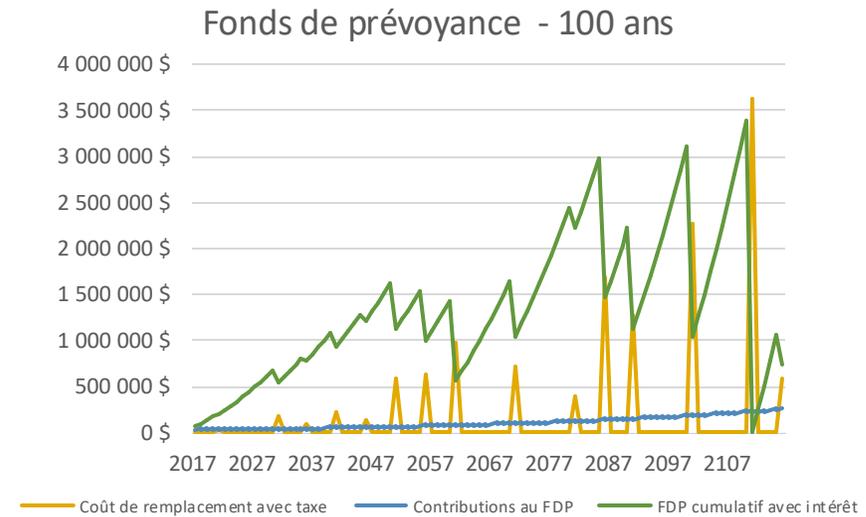
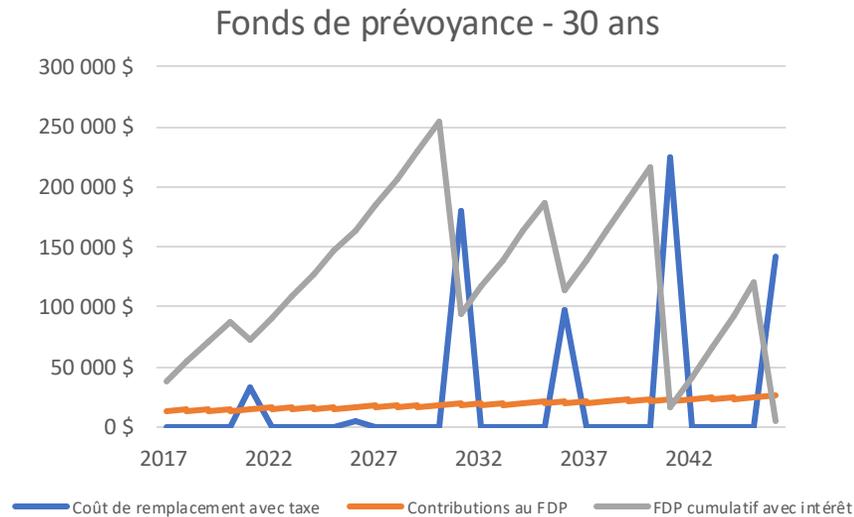


Fonds de réserve ou de prévoyance

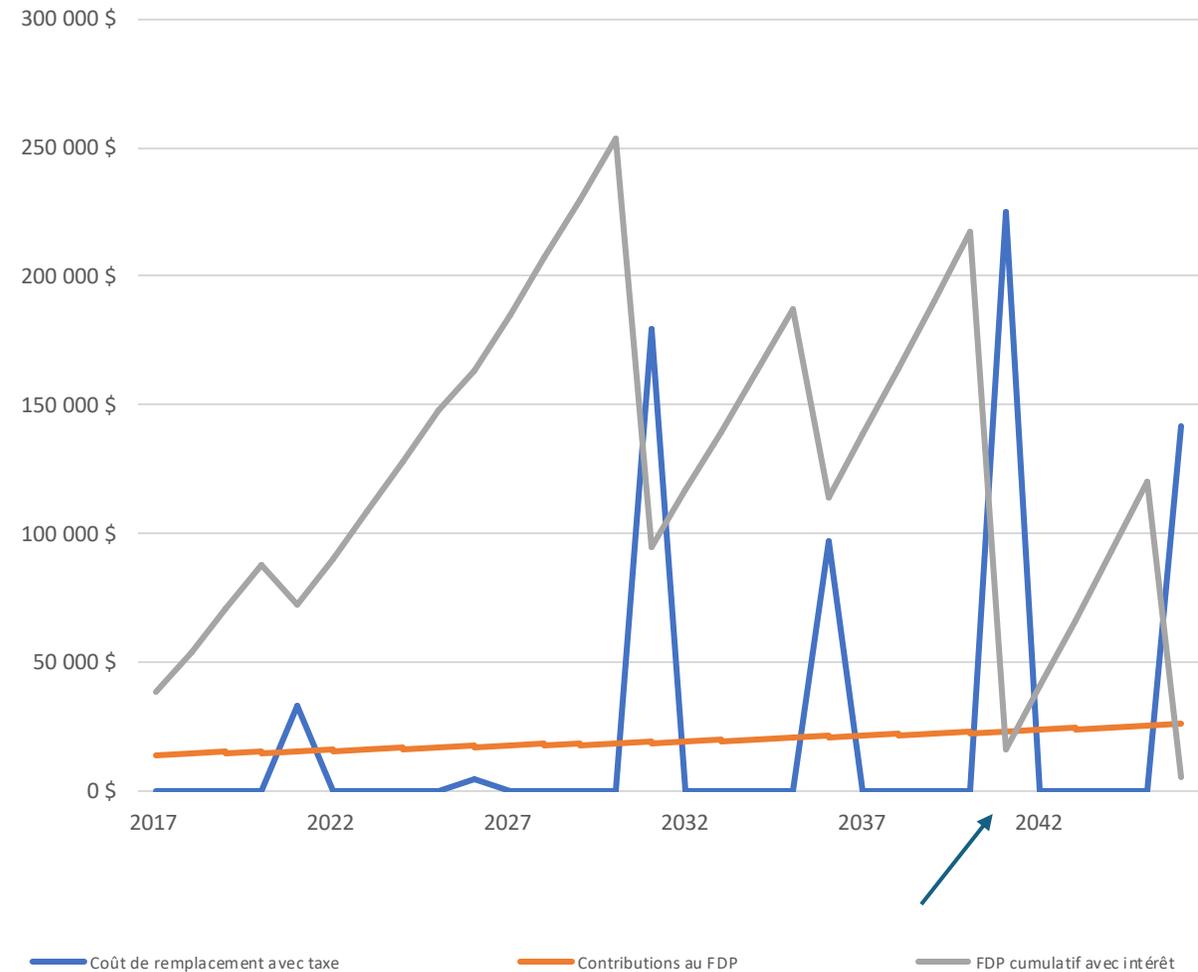
- [CAPEX \(capital expenditure\)](#), [OPEX \(operational expenditure\)](#)
- [GMAO](#), [SCADA](#), etc.
- Photo de la qualité du bâtiment
 - Réparation urgente
 - Relevé des non-conformités
 - Établissement de la vie économique des composants
- Calcul du coût des composants de composantes et de leur espérance de vie économique ([6D BIM](#))
 - Calcul de l'actualisation des coûts des composants de composantes dans le temps (enveloppe du bâtiment, revêtements de planchers, accessoires de plomberie, etc.)
- Établissement d'un budget pour le remplacement
- Établissement d'un cahier d'entretien [préventif](#)
- Suivi du plan de protection et de [préservation](#) du [bâtiment](#)

Réflexion : fonds de réserve ou fonds de prévoyance ?

- 30 ans ou 100 ans ?



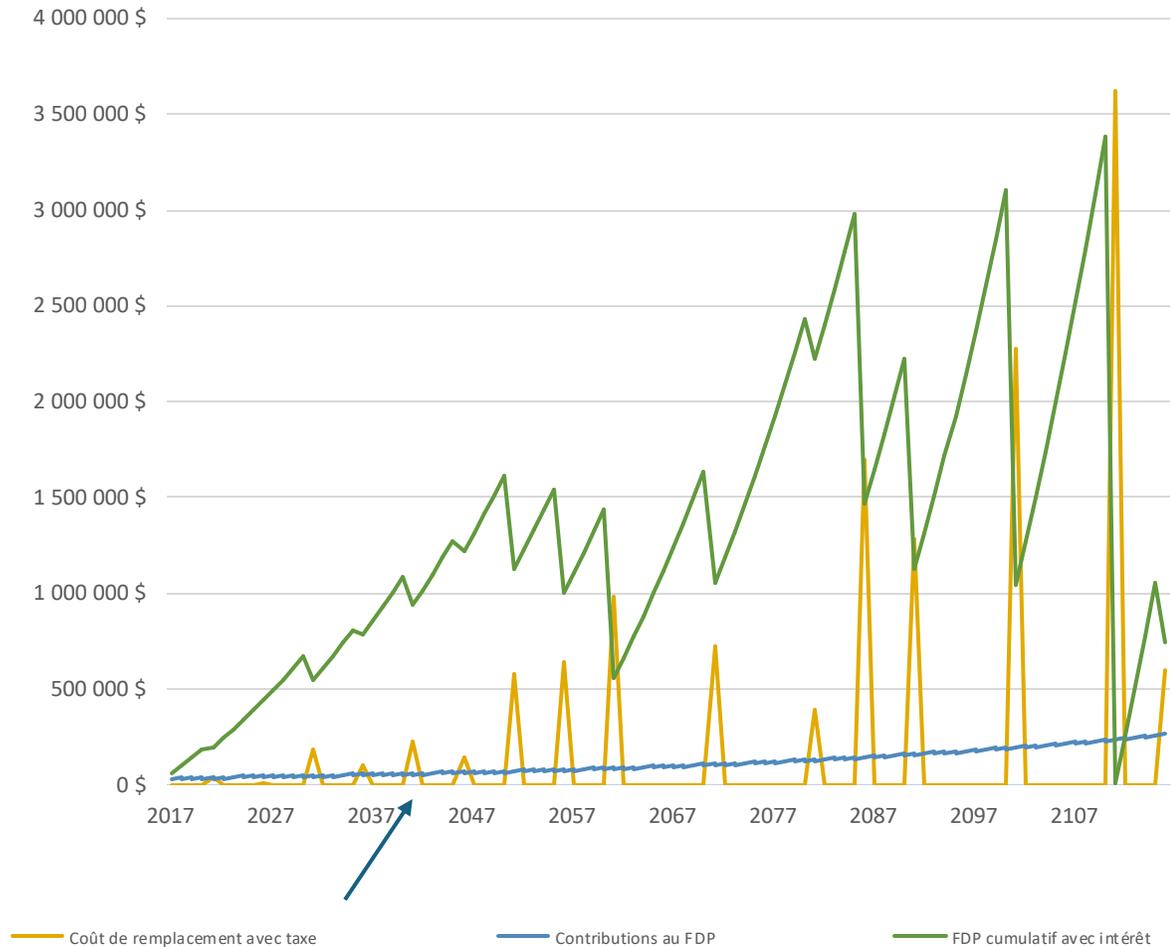
Fonds de prévoyance - 30 ans



Réflexion - fonds de réserve ou de prévoyance

30 ans ou 100 ans ?

Fonds de prévoyance - 100 ans



Réflexion - fonds de réserve ou de prévoyance

30 ans ou 100 ans ?

Gestion des ouvrages

Outre les contrôles et les inspections, la gestion des ouvrages comprend l'entretien et la réparation. L'entretien a un caractère préventif tandis que la réparation a un caractère curatif.

Chaque réparation est traitée comme un cas particulier, mais les opérations suivent un même ordre chronologique :

- constatation et appréciation des défauts;
- mesures immédiates (jusqu'à l'interdiction de passage);
- détermination des causes de dégradation;
- étude des travaux de réparation (ou de remplacement) à effectuer;
- estimation des coûts et financement de la réparation ou du remplacement;
- exécution et contrôle de la réparation ou du remplacement;
- contrôle du comportement ultérieur de la réparation.

La surveillance régulière et systématique des ouvrages permet de prendre à temps les mesures nécessaires, et donc de réduire les frais des travaux destinés à les maintenir en bon état et à préserver la sécurité des usagers.

Par ailleurs, de nombreuses leçons sont tirées grâce aux renseignements glanés lors de ces opérations : d'une part, des leçons de remédiation et, d'autre part, des leçons de conception. Il s'agit, par exemple, d'éliminer les causes des défauts constatés ou de faciliter l'accessibilité des diverses parties de l'ouvrage.

Source :

http://www.unit.eu/cours/cyberisques/etage_4/co/Module_Etage_4_70.html

http://www.unit.eu/cours/cyberisques/etage_4/co/Module_Etage_4_47.html

Détermination des grands groupes des composantes de l'immeuble avec leurs composants

- **Structure** (fondations, ossature et/ou charpente du bâtiment);
- **Enveloppe extérieure** du bâtiment (toiture, parement extérieur, fenestration, ancrage au toit, garde-corps, scellant, membrane d'étanchéité, balcons, etc.);
- **Enveloppe intérieure** du bâtiment (revêtement de sol, finition de murs et plafonds, ouvertures, etc.);
- **Services de mécanique** du bâtiment :
 - circulations verticales et horizontales motrices;
 - chauffage, ventilation, climatisation, récupérateur de chaleur;
 - plomberie (tuyauterie, chauffe-eau, drainage, etc.);
 - électricité (distribution du système électrique, interphone, appareils d'éclairage, etc.);
 - protection incendie (contrôle d'accès, caméras, système d'alarme, gicleurs, etc.);
 - accessoires auxiliaires (presse-rebuts, etc.);
- **Services immotiques et anthropocentriques numériques;**
- **Aménagement intérieur** (piscine, spa, sauna, etc.);
- **Aménagement extérieur - terrain** (pavage, piscine, terrasse, clôture, mobilier urbain, etc.);
- **Biens meubles** (équipements de gymnase, tracteur, etc.).

Catégorie de dépenses en gestion

Nous pouvons identifier quatre niveaux de débours pour le maintien de l'utilité à vocation déterminée par l'usage de l'immeuble. Ces quatre niveaux sont les suivants :

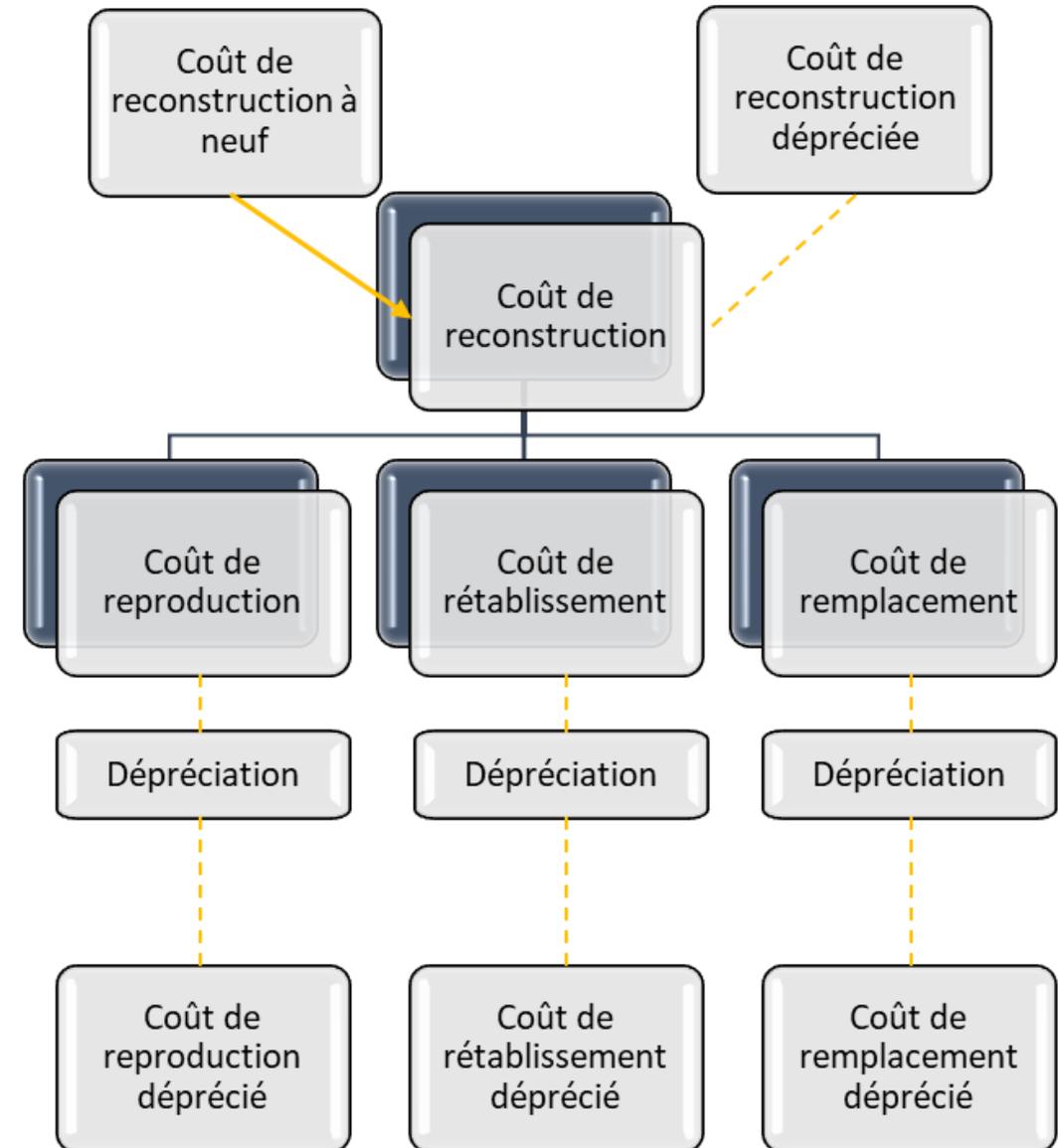
- **Dépenses d'entretien*** : Ces dépenses ne sont pas liées au remplacement ou à la réparation majeure des composants; elles relèvent plus de l'entretien usuel de l'immeuble comme le lavage des vitres, la coupe du gazon, le déneigement, les retouches de peinture, les menues réparations de plomberie, de mécanique et d'électricité, les contrats d'entretien des ascenseurs.
 - **Dépenses d'opération usuelles** : Ces dépenses usuelles sont liées à l'opération de l'immeuble. Elles comprennent notamment les frais suivants : chauffage, électricité, assurance, surveillance, taxes, gestion et administration, etc.
- **Maintenance et réparation de défaillance** : Ces dépenses sont liées à des défaillances non prévues de composants, d'installation ou accidents et sinistres.
- **Entretien préventif** : Ces dépenses sont liées à l'entretien préventif permettant de maintenir et de prolonger la vie économique des composants du bâtiment, de l'aménagement extérieur et des accessoires de l'immeuble. Elles comprennent également les dépenses reliées aux études nécessaires pour accomplir son activité.
- **Remplacement de composants et réfection de composantes de l'enveloppe du bâtiment et des services** : Ces dépenses sont compensées par le fonds de prévoyance. Elles comprennent les dépenses reliées aux études nécessaires ainsi que celles de tous les composants des parties communes (liste exhaustive) d'une copropriété dont le remplacement est prévisible à court, à moyen et à long terme. Ceux-ci touchent différentes catégories des espaces communs, dont l'enveloppe extérieure du bâtiment, l'enveloppe intérieure et les finis intérieurs, les équipements mécaniques, les aménagements extérieurs, les biens meubles (meubles intérieurs et extérieurs, tracteur, etc.).
 - **Coût de remplacement de composantes et composants**
 - C'est le coût lié à l'organisation, aux ressources humaines, matérielles et capital requis aux prix courants pour remplacer une ou des composantes ou composants d'une utilité équivalente à celui ou ceux défectueux ou en fin de vie économique, utilisant des matériaux, normes, technologies, concepts et modes d'aménagement semblables et courants.

Évaluation

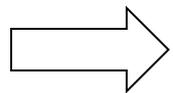
- Valeur assurantielle
 - Copropriété
 - Résidentielle
 - Commerciale
 - Industrielle
 - Commercial
- Gestion des risques
 - Managériaux (légal, entretien, préventif, financier, PMU Plan de Mesures d'Urgence)
 - De types physique, chimique, biologique
 - Canutec
- Normes de pratique

Catégorie de coûts pour des fins assurables

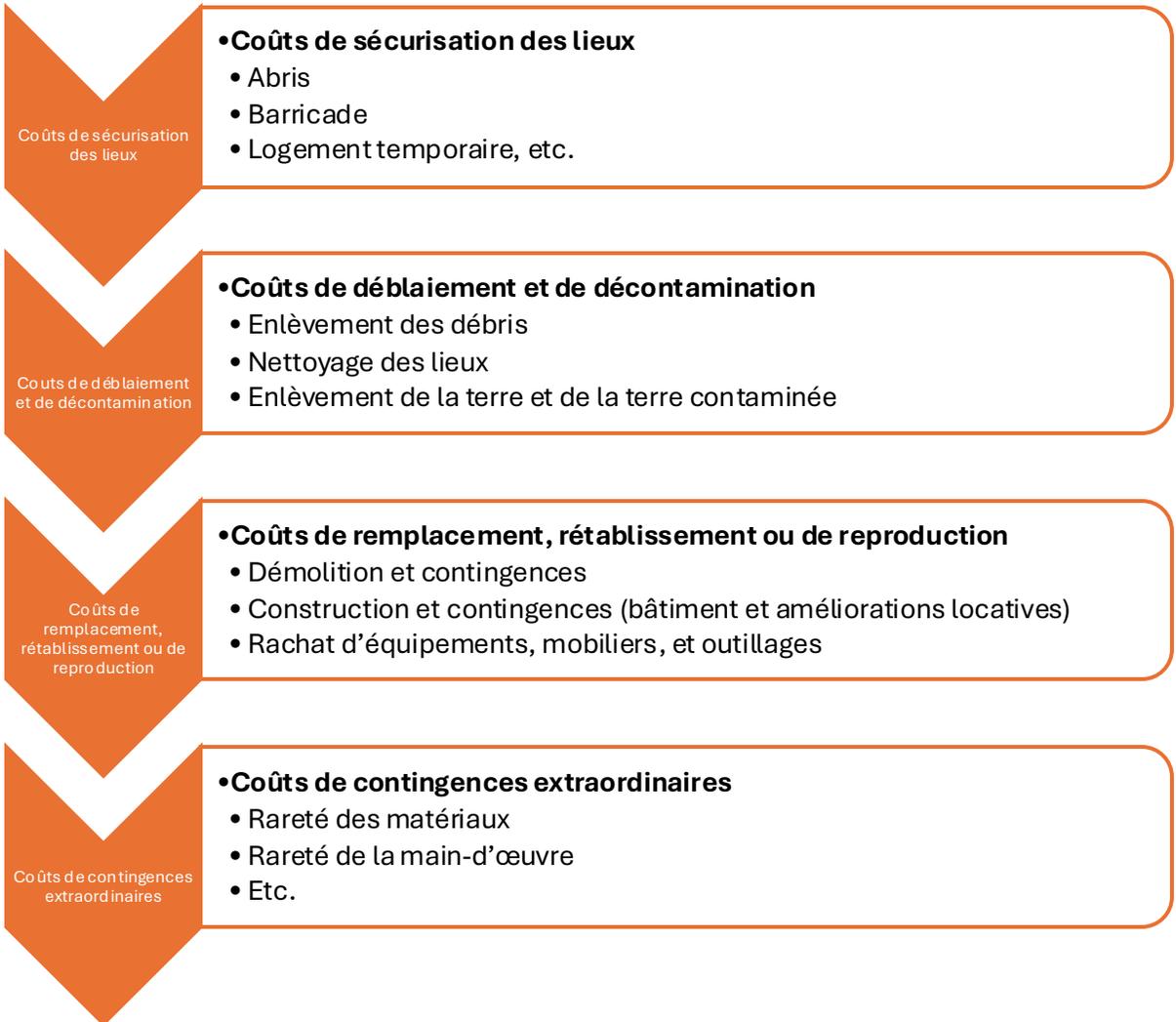
- Coût de reconstruction à neuf avec contingences liées à un sinistre
- Différence (hypothèque vs assurance) inflation



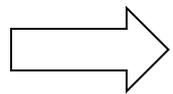
Valeur assurantielle



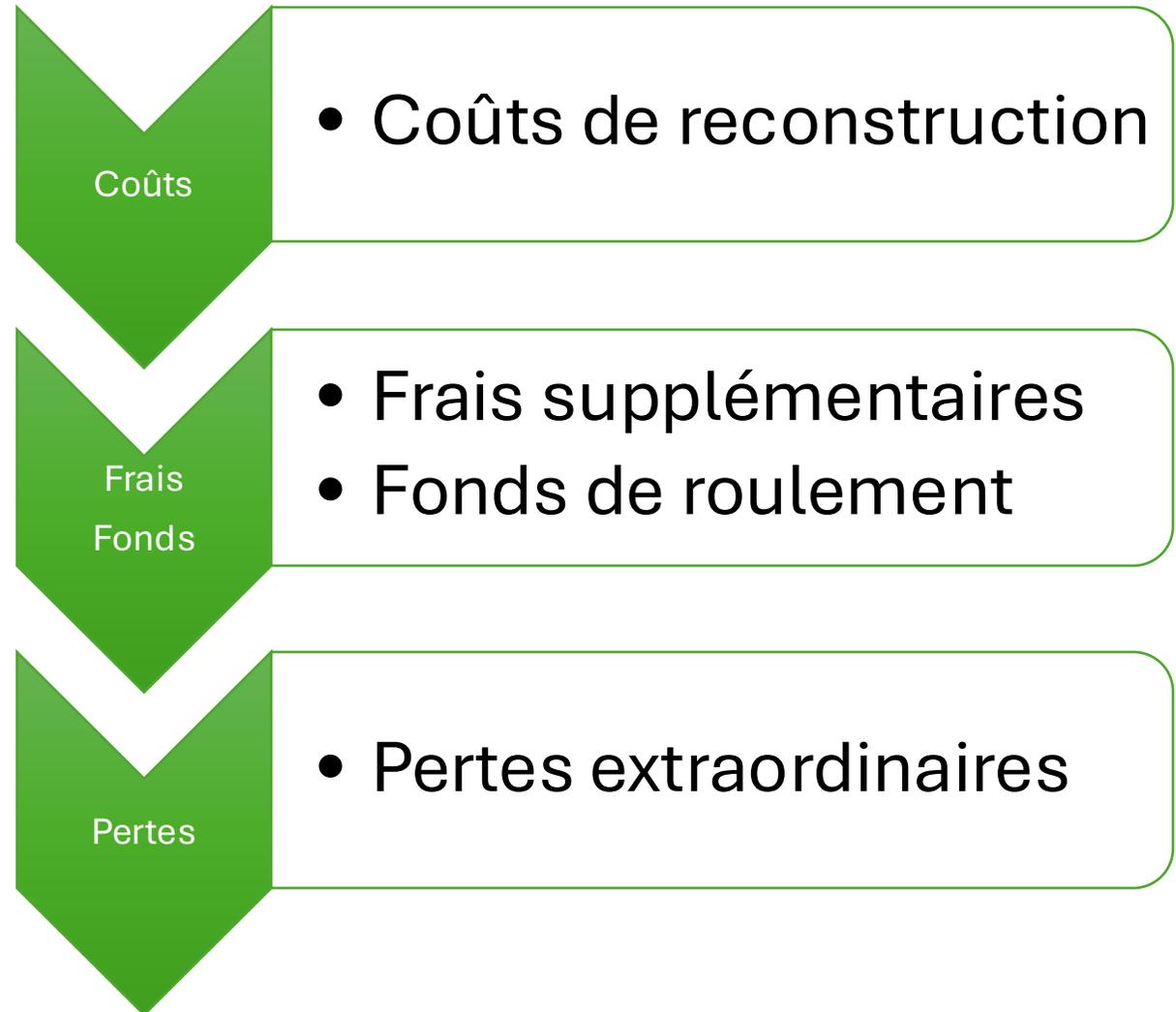
Coûts de reconstruction

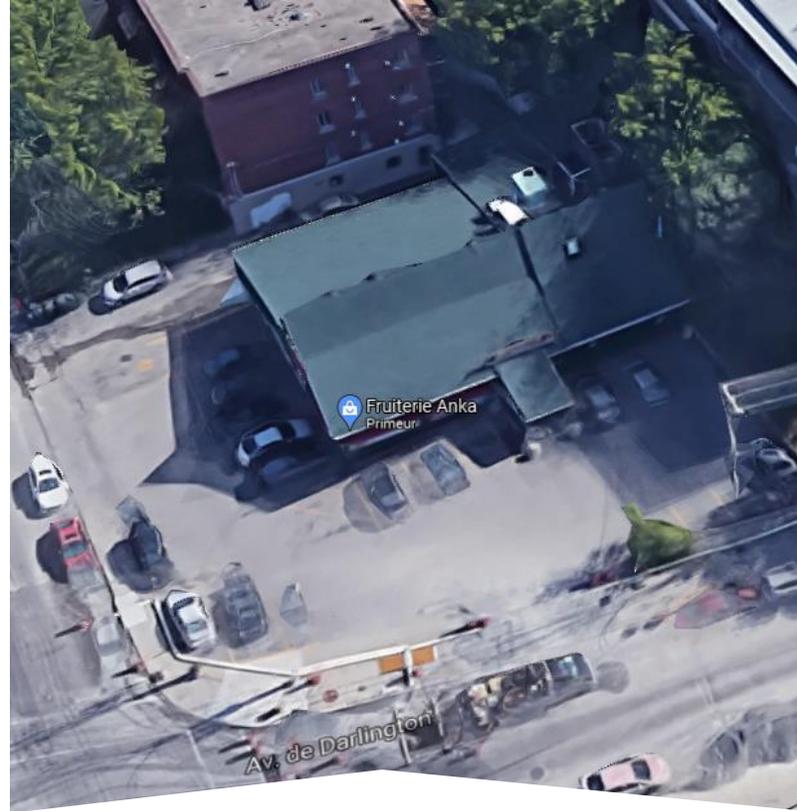


Valeur assurantielle



Valeur assurantielle





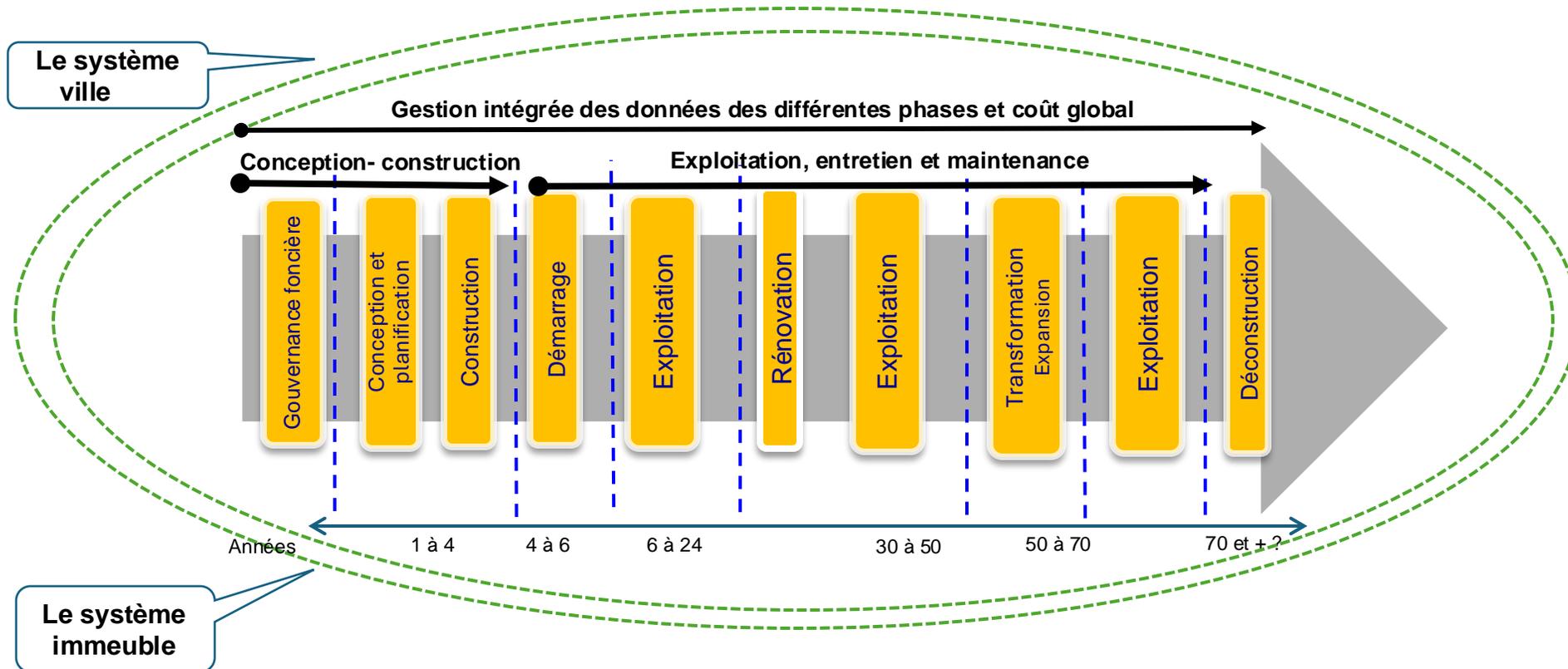
Cas possible de rappel de prêt hypothécaire

Possibilité de sous-assurance

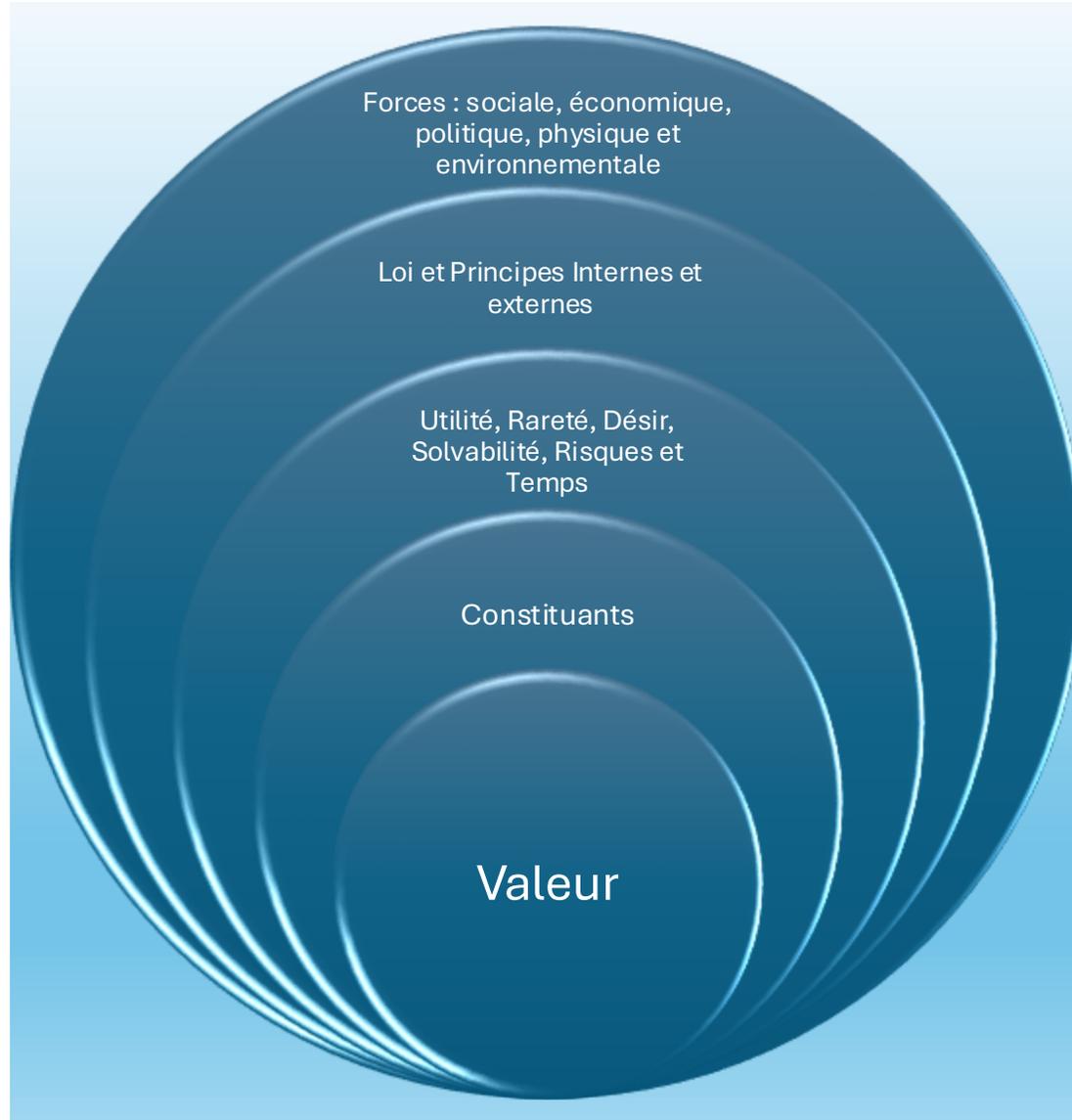
Zonage et valeur assurantielle

- Risque de cas de droit acquis

Gestion intégrée des données des phases du cycle de vie et coût global des immeubles



- Identification des métiers, emplois, entreprises propres à chaque phase
- Identification des liens et interdépendance
- Identification des modèles d'affaires et de collaboration
- Prise en compte de l'évolution du contexte socio-politique et économique des villes



Résumé des influents et des constituants de la valeur

Application proposée

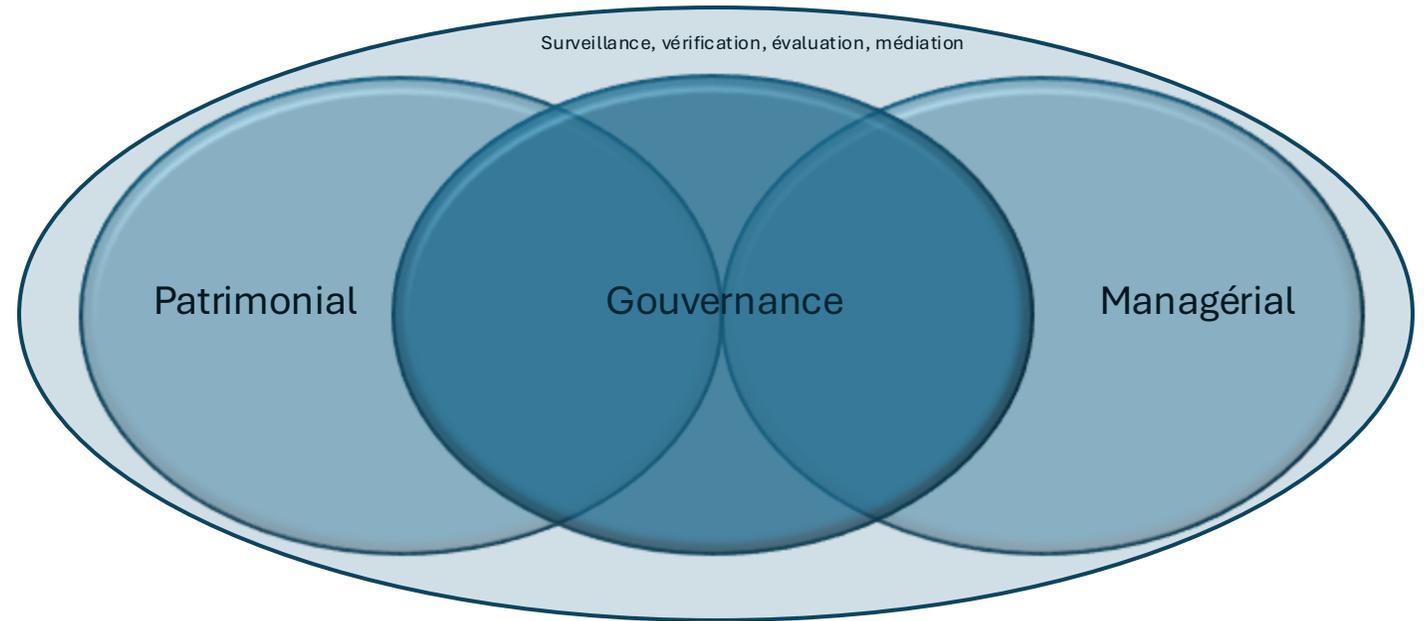
Méthode des sommations (nouvelle appellation pour la méthode des coûts)

- **Technique de répartition (proposée)**
 - **Détérioration physique et externalités positives ou négatives (ACV) et résilience climatique, corrigible** (anomalie-malfaçon) (+ valeur de récupération et de circularité le cas échéant)
 - **Détérioration physique et externalités positives ou négatives (ACV) et résilience climatique incorrigible** – (anomalie-malfaçon) Court terme, Long terme (+ valeur de récupération et de circularité le cas échéant)
 - **Appréciation et dépréciation fonctionnelle** (contribution intangible) **et désuétude corrigible** – valorisation, anomalie-malfaçon,
 - Absence, Insuffisance, Excès (+ valeur de récupération le cas échéant)
 - **Appréciation et dépréciation fonctionnelle** (contribution intangible) **et désuétude incorrigible** – valorisation, anomalie-malfaçon,
 - Absence, Insuffisance, Excès (+ valeur de récupération le cas échéant)
 - **Appréciation ou dépréciation économique** – micro-macro, limitation de droit, financière, managériale et patrimoniale, social et environnemental



Actualiser les coûts des ressources et les risques à court, moyen et long terme.

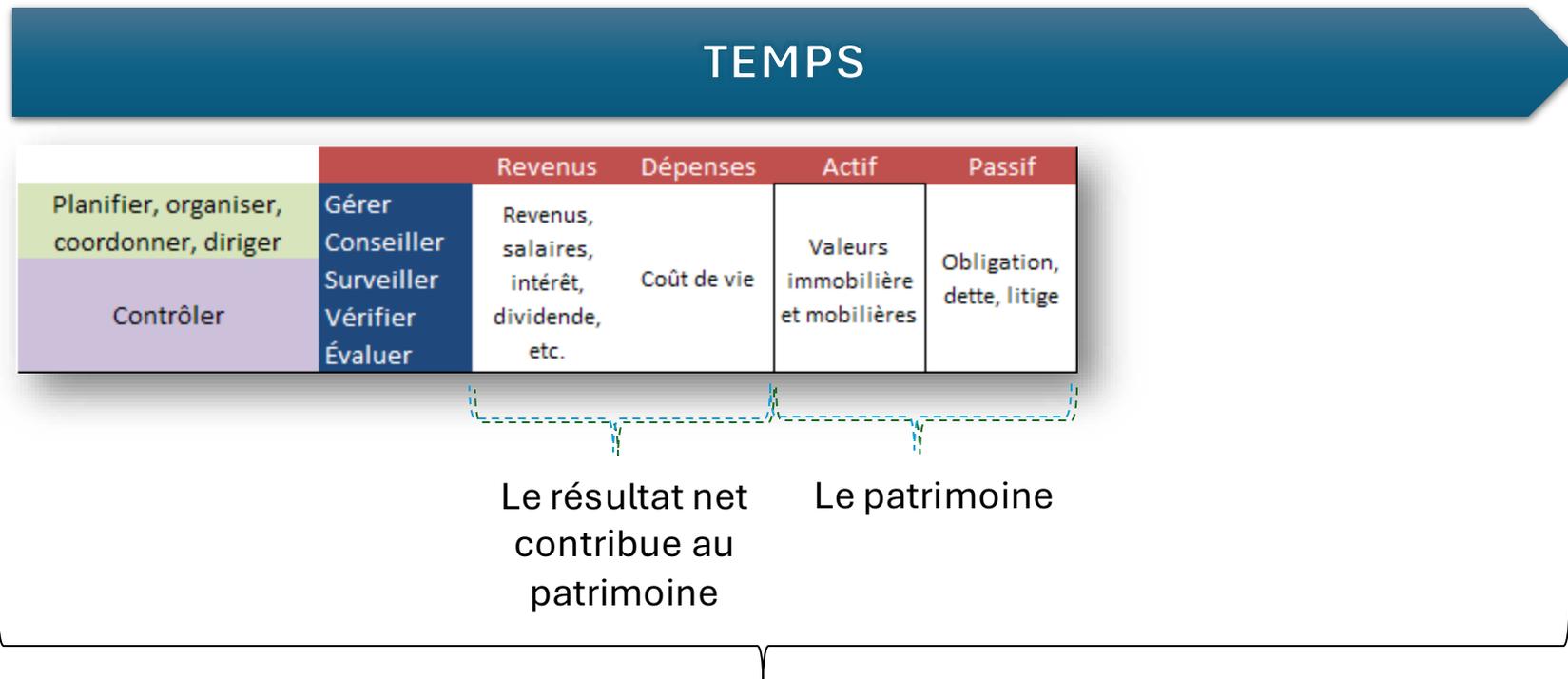
Concept patrimonial et managérial



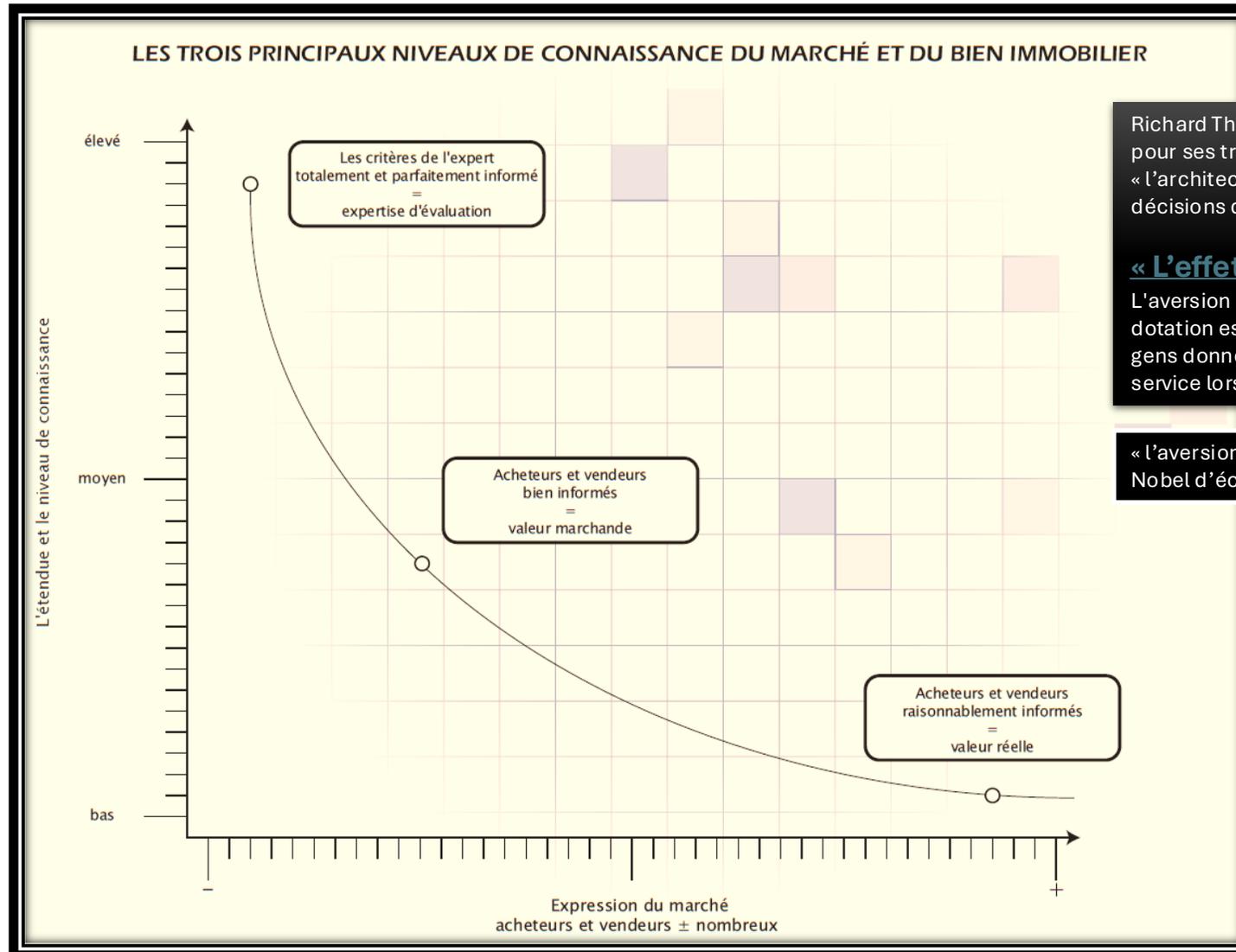
L'administrateur agréé

Individu(s), entreprise, fiducie

Événements de vie



Agnotologie et Hypothèse de marché efficace



Richard Thaler prix Nobel de l'économie 2017 pour ses travaux sur l'importance de « l'architecture des choix » dans la prise de décisions des acteurs économiques.

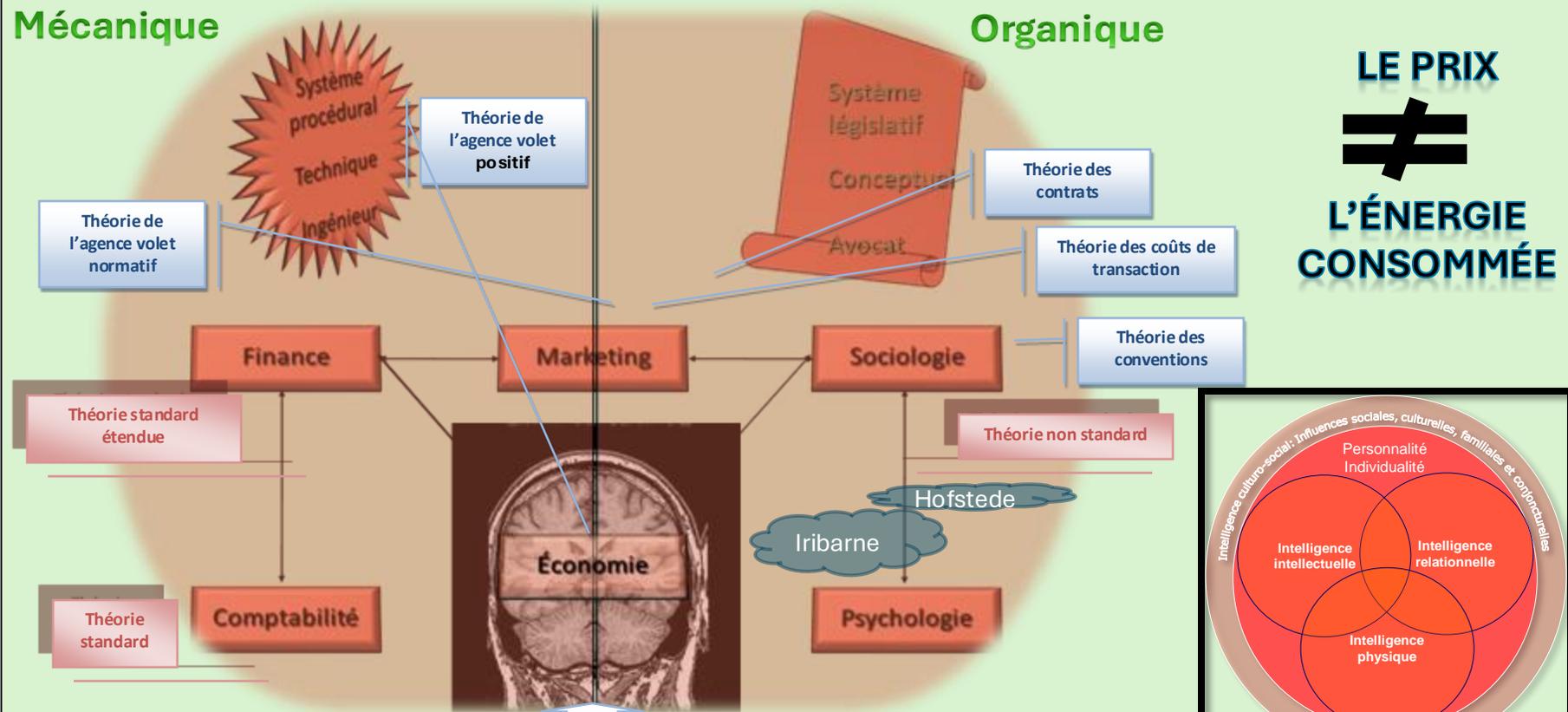
« L'effet de dotation »

L'aversion à la dépossession ou l'effet de dotation est une hypothèse selon laquelle les gens donnent plus de valeur à un bien ou un service lorsque celui-ci est leur propriété.

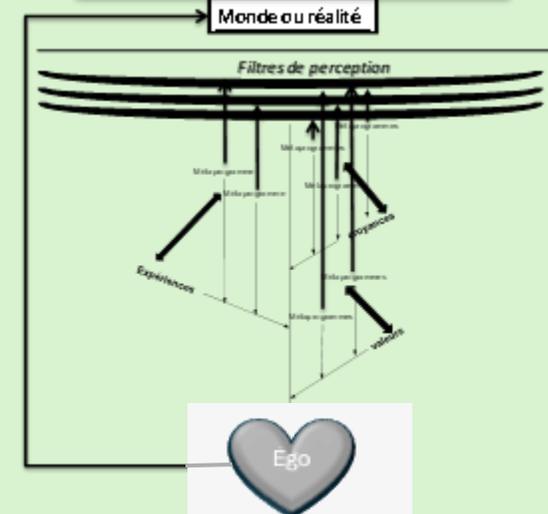
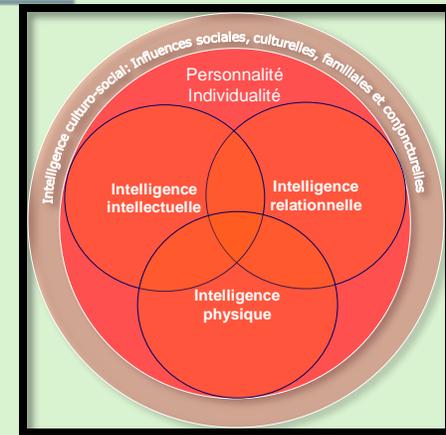
« l'aversion à la perte » Daniel Kahneman, Prix Nobel d'économie 2002,

Mécanique

Organique



LE PRIX
 \neq
L'ÉNERGIE CONSOMMÉE



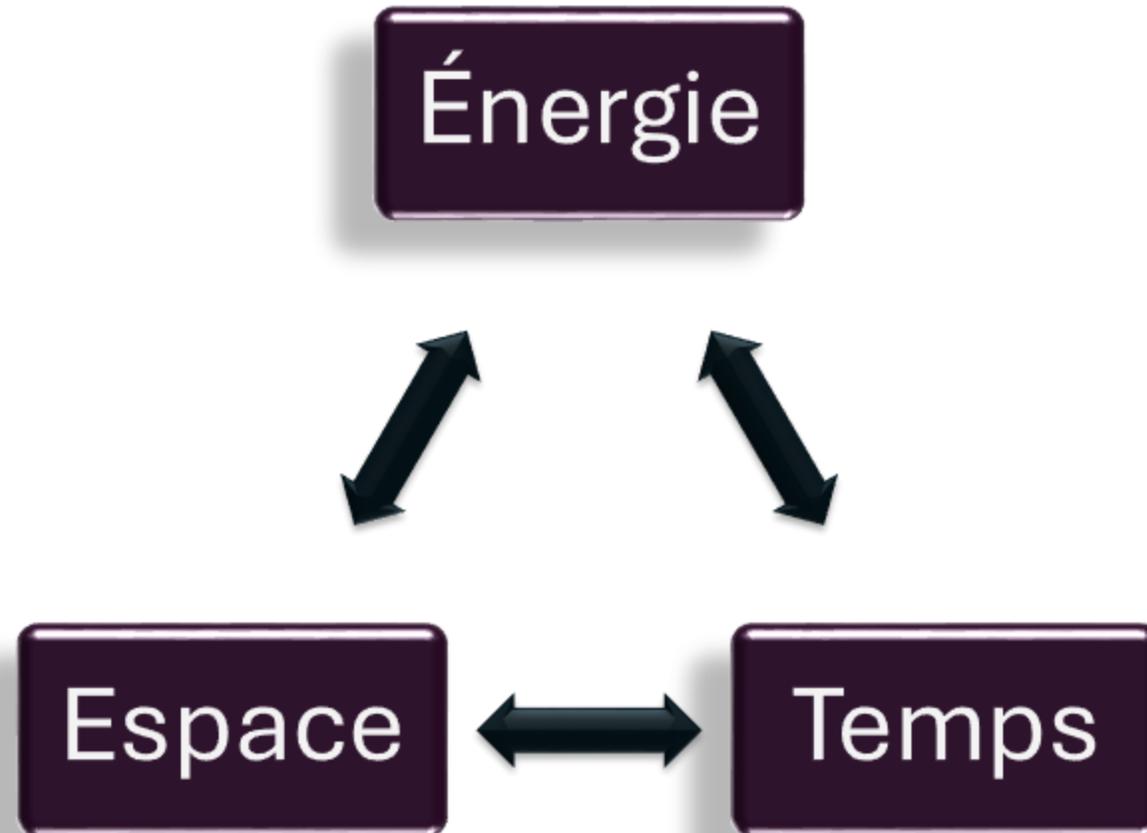
L'holisme de l'homo oeconomicus



← Le temps →

Asynchronisme avec l'écosystème

Efficienne : les grands oubliés et la théorie du chaos



Thermodynamique
et
Entropie

Connaissances

Le manque de connaissances sur l'écosystème et la dynamique systémique en immobilier ne fait aucun doute. On peut penser aux connaissances issues de récentes recherches à propos des différentes approches telles que :

1. l'utilité de la vie restante et l'obsolescence des éléments suivants en pratique de gestion et d'évaluation :
 - a) vie physique (par exemple, d'un actif tangible sous-jacent);
 - b) vie fonctionnelle (par exemple, d'un actif tangible sous-jacent);
 - c) vie d'usage;
 - d) vie technologique;
 - e) vie économique;
 - f) vie légale;
2. le design et les technologies d'information, et la gestion des données recueillies pour une meilleure gestion et pour le mieux-être des occupants;
3. les types de mobilité « imposés » par le lieu et son environnement;
4. les différents niveaux de gestion et d'administration de l'immeuble pendant son cycle de vie;
5. la sécurité, l'impact des changements climatiques, l'environnement, etc.;
6. l'adaptation du milieu en conséquence des caractéristiques anthropocentriques des comportements des occupants et selon le concept d'homéostasie par algorithmes numériques.

Le déni climatique

- 1. Développement de la théorie** : Dans les années 1980, des psychologues sociaux ont développé la théorie de la gestion de la terreur, montrant comment les gens nient la mort. Des expériences ont montré que penser à la mort pousse les gens à utiliser des distractions et des rationalisations pour repousser ces pensées.
- 2. Influence inconsciente** : Même lorsque les gens ne pensent pas consciemment à la mort, elle influence leur comportement. L'inconscient continue de traiter cette peur, ce qui pousse les gens à s'attacher à des idéologies culturelles (religieuses, politiques, sportives) pour donner un sens à leur vie et atténuer la terreur de la mortalité.
- 3. Impact sur le comportement** : Les rappels de mortalité renforcent l'importance des systèmes de signification pour le fonctionnement psychologique des individus. Les menaces existentielles, comme les catastrophes naturelles, peuvent renforcer le déni et l'engagement envers des visions du monde qui rejettent des réalités inconfortables, comme le changement climatique.
- 4. Déni climatique** : Le déni du changement climatique est un mécanisme de défense similaire au déni de la mort. Les catastrophes naturelles déclenchent l'angoisse de la mort, mais les gens ont tendance à oublier rapidement ces menaces pour éviter la détresse. Accepter la réalité du changement climatique nécessiterait de réévaluer des idéologies profondément ancrées.

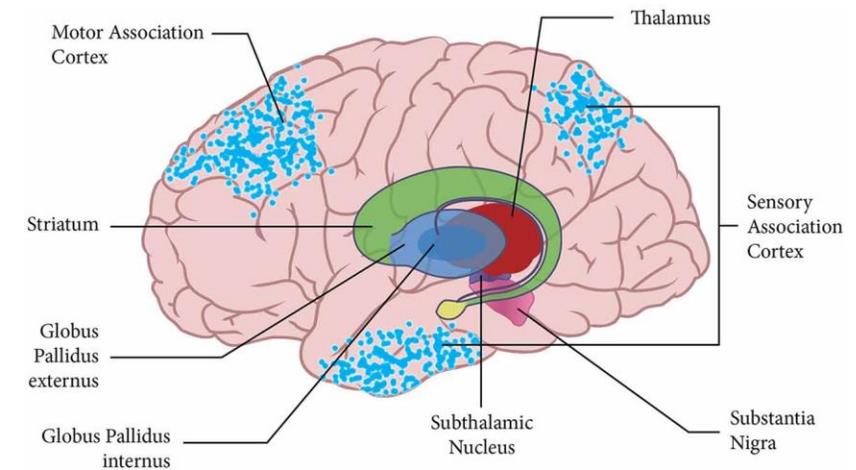
Pas si rationnel le cerveau...

Notre cerveau reptilien, via le striatum, nous pousse à atteindre cinq objectifs essentiels pour notre survie : manger, se reproduire, acquérir du pouvoir, minimiser l'effort et recueillir des informations sur notre environnement.

Le cortex frontal, plus développé, permet de vivre en communauté et joue un rôle crucial dans la libération de dopamine.

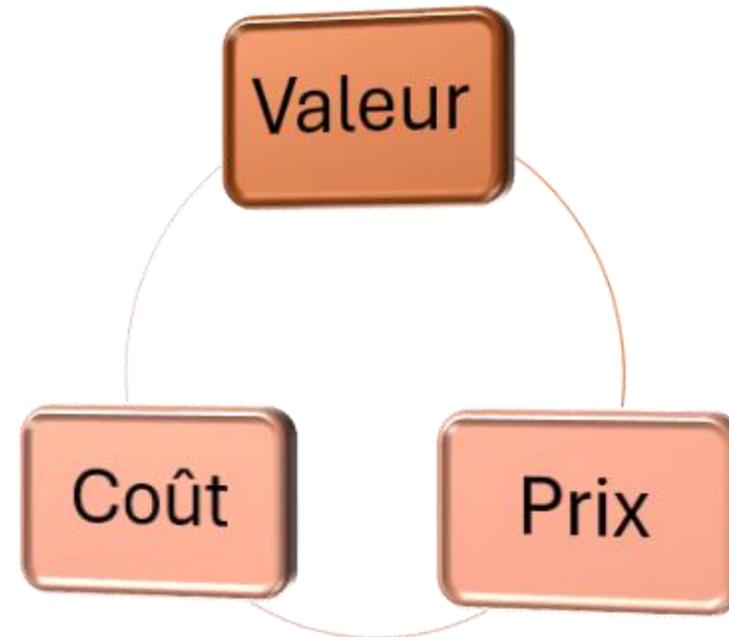
Cependant, il est vulnérable au plaisir immédiat, ce qui peut entraîner des comportements excessifs et une perte de vision à long terme. La discipline est difficile à maintenir, sauf avec l'aide du cortex frontal.

Source : «Le bug humain» Sébastien Bohler, Robert Laffont, 2019



La valeur – le coût – le prix

- Les paradigmes du prix, du coût et de la valeur
 - Le prix fait référence à un montant que paye un acheteur particulier qui accepte et un vendeur particulier qui accepte selon des circonstances entourant une transaction. Le prix est un fait et est l'expression de l'acheteur.
 - En évaluation, le coût est utilisé pour représenter la production et non pas l'échange.
 - La valeur peut avoir plusieurs définitions selon le contexte et l'usage. C'est un concept économique. Pour éviter toute confusion, l'évaluateur n'utilise jamais le terme « valeur » seul.



Selon la théorie économique libérale classique, le coût commande au prix; mais les prix désobéissent souvent; ce que l'on exprime en disant que coût, prix et valeur d'un même bien se fixent rarement au même niveau, sauf parfois, lorsque le bien, neuf, entre au stade de la circulation.

Cannone

La valeur

- Combien vaut cette pièce de monnaie?
- Sa représentation?
- Son coût?



L'argent : « il est le corps dont s'habille la valeur »

Tiré de « Philosophie de l'argent »
de Georg Simmel

Trois caractéristiques principales d'une convention sont nécessaires : l'efficacité (le bénéficie à tous), la stabilité (la règle fonctionne donc elle ne change pas), l'arbitraire (le libre choix de solutions).

Conclusion

- Le problème le plus important des analyses coût-bénéfice et de la valeur est sans contredit les biais cognitifs dans le comportement humain en regard aux estimations.
- Face à un avenir incertain, inédit dans l'histoire humaine, une vision prospective est cruciale. L'analyse de risques sera prédominante dans les décennies à venir. Il est donc préférable d'adopter une approche proactive plutôt que réactive, avec une stratégie dynamique.
- L'écosystème est complexe et la recherche du savoir est la seule solution pour acquérir une instrumentation valable afin d'atténuer notre empreinte écologique anthropique.
- Un changement de paradigme s'impose.



Questions?