

International Yearbook

2023

Sustainable Real Estate and Building

Mastère Spécialisé®

de l'École des Ponts ParisTech

Immobilier et bâtiment durables (IBD)

Transitions énergétique et numérique



SUSTAINABLE REAL ESTATE AND BUILDING
INTERNATIONAL YEARBOOK
2023

Avertissement

Ces mémoires constituent un travail à visée pédagogique dans le cadre d'un diplôme universitaire et ne constituent en aucun cas une étude susceptible d'être réutilisée dans un cadre commercial ou scientifique. Leur contenu n'engage que la responsabilité de leurs auteurs.

Warning

These studies are academic works, made in an academic context. They cannot be used for commercial or scientific purposes. Their content is the sole responsibility of their authors.

Sustainable Real Estate and Building International Yearbook 2023

Mastère Spécialisé® de l'École des Ponts ParisTech
Immobilier et bâtiment durables
Transitions énergétique et numérique



École des Ponts
ParisTech

EN 2011, dans le contexte du Grenelle de l'Environnement, le Mastère Spécialisé® Immobilier et bâtiment durables (IBD) – Transitions énergétique et numérique, accrédité par la RICS et la CGE, a été créé pour offrir une approche globale et durable de la construction, de la réhabilitation et de la gestion de bâtiments. Dix ans plus tard, cette approche a abouti à l'organisation par le MS® d'un webinar sur la « Stratégie Neutralité carbone pour le bâtiment et l'immobilier à travers le monde », l'occasion d'une expérience permettant la rencontre avec des experts des 5 continents.

Au cœur des échanges, la nécessité de l'économie des ressources et de la rupture avec notre modèle d'économie linéaire, mais aussi, la résilience de la ville et des immeubles. Autant de sujets qui prolongent la réflexion sur la transition écologique, au cœur des préoccupations de l'École des Ponts ParisTech. Les travaux élaborés par les élèves à l'issue du webinar étant d'une grande qualité, nous avons souhaité les faire connaître plus largement, avec la parution du présent ouvrage, nouvel opus de la collection des *Yearbook*. Je tiens à remercier Dominique Naert, Bruno Mesureur, Karen Peyronnin et toute l'équipe organisatrice pour leur implication, pour la réussite de cette semaine internationale et pour leur investissement soutenu dans notre Mastère Spécialisé®.

THE *Advanced Master's® in Sustainable Real Estate and Building - Energy and Digital Transitions, which is accredited by both the RICS and the CGE, was created in 2011 in the context of the Grenelle environmental forum, the goal being to develop a global and sustainable approach to construction, renovation and building management. Ten years later, this approach led to the Advanced Master's® organising a webinar on "Carbon neutral strategies for buildings and real estate worldwide", an experience that featured experts from 5 continents.*

Discussions centred around the need to save resources and to break away from our linear economy, plus the resilience of towns and buildings, providing food for thought on the subject of the green transition, a central concern for École des Ponts ParisTech. Given the exceptional quality of the work of the students on the webinar, we wanted to get it to a wider audience through this latest edition in the Yearbook collection. I would like to thank Dominique Naert, Bruno Mesureur, Karen Peyronnin and all the management team for their hard work and for the success of this international week, as well as their intense commitment to our Advanced Master®.

Anthony Briant



Anthony
BRIANT

Directeur de l'École
des Ponts ParisTech
École des Ponts
ParisTech Director

Au lendemain de la pandémie, le Mastère Spécialisé® Immobilier et bâtiment durables (IBD) a créé un cycle de conférences internationales qui donne la parole à des intervenants du monde entier. Auparavant, les élèves entreprenaient un voyage d'études à l'étranger. Aussi, plutôt que de nous déplacer pour aller à la rencontre de 5 ou 6 intervenants, c'est l'accès à près de 60 intervenants de tous les continents que permet cette nouvelle approche. Par ailleurs, ces conférences sont ouvertes à un public très large, ce qui donne une visibilité importante au Mastère Spécialisé®. Ces conférences sont enregistrées et forment désormais un corpus très riche mis à la disposition des élèves du MS® IBD, mais aussi, à tous les élèves de l'École des Ponts ParisTech. En 2023, le cycle s'est déroulé, en avril, sur 5 journées.

Les nombreux éclairages, très techniques mais aussi scientifiques, économiques et politiques qui y ont été présentés, ont donné matière à des analyses comparatives entre plusieurs pays, que vous pourrez lire dans le présent ouvrage. L'ensemble de ces réflexions fournit des exemples qui doivent nourrir notre réflexion sur la décarbonation de l'économie, en général, et de l'immobilier, en particulier. Elles rappellent aussi l'importance de la coopération et de l'intelligence collective, qui sont le ferment de ce webinaire. Cette collaboration continue d'ores et déjà, grâce à la communauté qui s'est désormais créée autour du MS® IBD, et se poursuivra dans les prochaines années, qui seront, espérons-le, de moins en moins carbonées.



Dominique Naert

Directeur du Mastère
Spécialisé® Immobilier
et bâtiment durables –
Transitions énergétique
et numérique

*Advanced Master's®
director*

Dominique Naert

DUE to the pandemic, the Advanced Master® Sustainable Real Estate and Building created a cycle of international conferences which give the floor to speakers from all over the world. Previously, students undertook a study trip abroad. Also, rather than travelling to meet 5 or 6 speakers, this new approach allows access to nearly 60 speakers from all continents. In addition, these conferences are open to a very wide audience, which gives significant visibility to the Advanced Master®. These conferences are recorded and now form a very rich corpus made available to students of the Advanced Master®, but also to all students of the École des Ponts ParisTech. In 2023, the cycle took place over 5 days.

The highly technical – but also scientific, economic and political – insights that were shared as part of the webinar provided material for comparative analyses between different countries, that you can read in the Yearbook. All of this should give us plenty to think about as we seek to decarbonise the construction industry and the economy more generally. We should also be reminded of the importance of cooperation and collective intelligence, which was the catalyst for this webinar. Indeed, this cooperation has already taken root through the community that has developed around the Advanced Master® in Sustainable Real Estate and Building, and which is set to grow over the coming years - which we hope will see carbon emissions continue to drop.

Dominique Naert



CCRÉDITÉ par la Conférence des grandes écoles et, à l'international, par la *Royal Institution of Chartered Surveyors*, le Mastère Spécialisé® IBD est centré sur les performances énergétiques et environnementales. Il s'inscrit dans le bouleversement en cours des processus de construction, de rénovation, de gestion de l'immobilier et du bâtiment : innovations technologiques, organisationnelles, financières, BIM (bâtiment et information modélisés), *big data*, etc.

Les nouvelles pratiques professionnelles sont en effet au cœur du MS® IBD, l'une des rares formations en Europe à articuler la culture de l'immobilier (fondée sur la finance et le droit) et la culture du bâtiment (tournée vers l'architecture et les sciences de l'ingénieur). Durant le premier semestre, le contexte est d'abord explicité en six thèmes : troisième révolution industrielle et dérèglement climatique ; quartier et ville durables ; conduite du changement et utilisation ; financements durables ; stratégie et gestion de parc ; management de projet et énergie. En complément, est organisé un voyage d'études en Allemagne, en partenariat avec l'université technique de Munich, remplacé depuis 2021, par la semaine internationale, à découvrir dans le présent *Yearbook*. Le second semestre permet d'entrer dans le détail du *process* d'un bâtiment durable : programmation, conception, réalisation, exploitation-maintenance. Chaque année, est ainsi formée près d'une vingtaine de cadres confirmés de toute la filière : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, gestionnaires, énergéticiens, industriels.

Les diplômés possèdent dès lors des arguments à opposer aux cyniques et aux sceptiques lorsqu'ils retournent dans leurs organisations. Il reste 30 ans pour aller vers une prospérité sans croissance de flux physiques carbonés, avec un modèle économique fondé sur la coopération, les usages et la circularité. Des solutions existent dans tous les secteurs ; il suffit maintenant d'accélérer leur mise en œuvre, changer les modèles d'affaires, les *process*, la commercialisation, le mode d'innovation et le système de management. Dans ce contexte, le MS® IBD vise à transformer les pratiques, sous l'égide de la décarbonation de l'économie, de la préservation des écosystèmes et de l'économie des ressources.



ACCREDITED by the Conférence des grandes écoles in France and internationally by the Royal Institution of Chartered Surveyors, the Advanced Master® in Sustainable Real Estate and Building - Energy and Digital Transitions is centred around energy and environmental performance. The course is designed to reflect the significant changes taking place in construction, renovation and property management, from technological, organisational and financial innovation to BIM (building information modelling) and big data.

New professional practices are very much central to the Advanced Master®, one of very few courses in Europe to combine property culture (based on finance and law) and construction culture (centred around architecture and engineering). The first semester covers six topics: the third industrial revolution and climate change; sustainable cities and neighbourhoods; use and change management; sustainable financing; property management and strategy; energy and project management. The course also includes a study trip to Germany in partnership with the Technical University of Munich, replaced since 2021 by the international week, which you can find out more about in this Yearbook. The second semester goes into more detail on the process of a sustainable building: scheduling, design, construction, operation and maintenance. Each year, the course trains twenty or so experienced executives from throughout the sector: contracting authorities, project managers, companies, administrators, energy specialists and manufacturers.

Once qualified, they will have the arguments they need to take on cynics and sceptics when they return to their organisations. There are still 30 years to go to reach prosperity without growth in carbon emissions, with an economic model centred around cooperation, uses and circularity. Solutions can be found in all sectors; what has to be done now is to accelerate their implementation, to change business models, processes, marketing, modes of innovation and management systems. The aim of the Advanced Master® is to transform practices as we seek to decarbonise the economy, protect our ecosystems and save resources.

L'histoire du Mastère Spécialisé®

The history of the Advanced Master®

2011

Création du MS® Immobilier, bâtiment, énergie avec Jean Carassus pour directeur

Creation of the Advanced Master® Real Estate, Building and Energy, directed by Jean Carassus

2016

Le Mastère Spécialisé® devient

« Immobilier et bâtiment durables -
Transitions énergétique et numérique »
(accrédité par la RICS)

*The Advanced Master® changes its name
and is registered by RICS*

2017

Soutien du ministère des Armées

*Support from the French Ministry for the Armed
Forces (part of the country's Defence Infrastructure)*

2020

Dominique Naert devient directeur du MS®

*Dominique Naert becomes
the Advanced Master® director*

2021

Création du cycle de conférences internationales « Stratégie neutralité carbone dans le monde pour l'immobilier et le bâtiment »

*Creation of the International conference week
"Net Zero Carbon strategy in real estate and
building sector in the world"*

Créé en 2011, le Mastère Spécialisé® Immobilier, bâtiment, énergie de l'École des Ponts ParisTech s'inscrit dans la lignée des lois « Grenelle de l'environnement » de 2009 et 2010. Depuis sa création, son originalité est double : son approche socio-éco-technique et le fait qu'il articule la culture de l'immobilier (droit, finance) et celle du bâtiment (architecture, sciences de l'ingénieur). De format *Executive*, il s'adresse prioritairement aux cadres confirmés de la filière de l'immobilier et du bâtiment. Jean Carassus, professeur de l'École, en est le premier directeur. Le MS® a dès lors le soutien actif de Saint-Gobain et du CSTB.

En 2016, le MS® intègre la révolution numérique et le développement durable, par le biais de ses trois dimensions : environnement, social et économie. Il devient le MS® Immobilier et bâtiment durables - Transitions énergétique et numérique. La même année, il est accrédité par la *Royal Institution of Chartered Surveyors* (RICS), organisation professionnelle mondiale des métiers de l'immobilier, de l'urbanisme et de la construction. C'est la première formation accréditée en Europe par la RICS qui soit entièrement dédiée à l'immobilier durable.

À partir de 2017, le MS® bénéficie du soutien du ministère des Armées (service d'infrastructure de la Défense). En 2020, Dominique Naert, Compagnon du devoir, diplômé en 2015 de la formation, en devient le nouveau directeur.

Ecole des Ponts ParisTech created the Advanced Master® in Real Estate, Building and Energy in 2011, influenced by the Grenelle environmental laws of 2009 and 2010. Since its inception, its originality has lain in both its combined social, economic and technical approach, and its combination of property culture (law and finance) with construction culture (architecture and engineering). The course is aimed primarily at experienced executives in the property and construction sectors. Jean Carassus, a professor at the École, was made the course's first director. The Master's then received active support from Saint-Gobain and the CSTB.

In 2016, the Advanced Master® incorporated the digital revolution and sustainable development through three dimensions – the environment, society and the economy – becoming the Advanced Master® in Sustainable Real Estate and Building - Energy and Digital Transitions. That same year, it was accredited by the Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), an international professional organisation for property, urban planning and construction. This was the first course in Europe devoted exclusively to sustainable buildings to be accredited by the RICS.

Since 2017, the course has been supported by the French Ministry for the Armed Forces (part of the country's Defence infrastructure). In 2020 Dominique Naert, a Compagnon du devoir, who graduated from the course in 2015, became its new director.

15

Conférences internationales 2023
International Conferences 2023

27

Immobilier durable, économie, finance
Sustainable real estate, economy, finance

79

Construire et utiliser autrement
Build and use differently

129

Bâtiments, quartiers et villes durables
Sustainable buildings, districts and cities

193

Rénover autrement
Renovate otherwise

227

Biodiversité
Biodiversity

255

Eau, déchets, énergie
Water, wastes, energy

322

L'équipe de la semaine internationale
The International Conference team

324

Les auteurs du *Yearbook*
The Yearbooks authors

326

La Source, diffuseur de savoirs
La Source, spreading knowledge

Conférences internationales 2023 : enseignements et perspectives

International Conferences 2023: lessons and prospects



Dominique NAERT

Directeur du Mastère Spécialisé®
Immobilier et bâtiment durables
(IBD) de l'École des Ponts Paris-
Tech

Bruno MESUREUR

Coordonnateur et animateur de
la semaine internationale du Mas-
tère Spécialisé® Immobilier et
bâtiment durables (IBD) de l'École
des Ponts ParisTech, membre du
comité scientifique et pédago-
gique



École des Ponts
ParisTech

Le Mastère Spécialisé® IBD de l'École des Ponts ParisTech a organisé et animé 5 journées de web conférences du 3 au 7 avril 2023.

Ces conférences internationales s'inscrivent dans le cadre de notre cycle de conférences sur le thème « Neutralité carbone dans l'immobilier et le bâtiment durables dans le monde à l'horizon 2050 ». Cette thématique générale – qui est la même sur l'ensemble du cycle – est déclinée en 5 sous-thématiques (*cf. programme, infra*) :

- Immobilier durable, économie, finance
- Construire et utiliser autrement
- Bâtiments, quartiers et villes durables
- Rénover autrement. Biodiversité
- Eau, déchets, énergie

Dans ce cadre, les élèves du MS® IBD se sont vu confier la responsabilité de rédiger, en groupe de travail, des articles synthétiques pour chacune des journées du cycle de conférences. Chaque journée reprenant une thématique spécifique en adéquation avec la thématique générale de la semaine, immobilier durable, économie et finance. On trouvera dans le présent Yearbook une analyse élargie avec un regard sur l'ensemble des actions des acteurs de la filière du bâtiment, allant du concepteur à l'expert en finance durable, en passant par l'industriel.

Cette année encore, les présentations des vingt-cinq conférenciers français et internationaux ont été d'une incroyable richesse et il serait très présomptueux de vouloir les résumer en quelques lignes. Tentons de dégager les idées majeures de cette édition 2023 par quelques mots ou phrases clés :

trouver les mécanismes de financement adaptés pour créer et surtout rénover les bâtiments en France et en Europe dans une optique de développement durable. Ces mécanismes existent, mais il est encore difficile de tous les identifier, de les mobiliser et de les mettre en œuvre, surtout, pour les particuliers et les petites copropriétés privées.

construire et utiliser autrement. Les conférenciers ont apporté des points de vue différents, mais complémentaires sur cet « autrement » qui touche les solutions techniques (nouveaux matériaux, nouveaux process de construction, nouvelle conception), l'innovation par le numérique, mais aussi, la gouvernance, la formation et les usages. Notons que la question des usages a pris une place importante et croissante. Il semble que les objectifs 2050 de la transition environnementale ne seront pas atteints en misant uniquement sur le couple ENR + efficacité (énergétique, carbone), ou encore, sur l'innovation technique, mais en intégrant un troisième paramètre qui est

la sobriété dans les différents usages (énergie, eau, foncier, etc.). Le « construire autrement, utiliser autrement » s'applique également à la ville avec l'émergence de villes durables et résilientes, de villes du quart d'heure ou encore du concept 3/30/300. Cet urbanisme durable ne mise pas sur la seule densification, mais combine les solutions : solutions vertes qui font appel à la nature, solutions techniques relatives aux infrastructures urbaines et solutions douces qui relèvent du comportement et de la gestion urbaine.

les enjeux se trouvent à toutes les échelles : matériaux, produits et composants, bâtiments, quartiers et villes durables, voire, à l'échelle d'une région. Les solutions, qu'elles soient techniques ou managériales, ne devront pas être standardisées et généralisées, mais elles seront adaptées au contexte local. On ne construit pas en Afrique, en Inde, en Chine comme on construit en Europe. Il est important que les solutions durables soient adaptées aux besoins, aux préférences et aux capacités de financement des habitants.

une priorité : la rénovation du bâti existant en privilégiant les rénovations globales. On en revient une fois de plus aux constats et aux besoins. Pour le résidentiel, l'objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050 implique la rénovation complète de 370 000 logements (privés et sociaux) par an jusqu'à 2029, puis, de l'ordre de 700 000 logements par an entre 2030 et 2050. Nous sommes loin du compte : le chiffre des rénovations globales qui seules apportent une véritable amélioration de la performance énergétique est de l'ordre de 20 000 logements par an. Il est donc important de réorienter les aides publiques vers les rénovations globales et d'en contrôler l'efficacité.

inciter et aider l'ensemble des ménages à rénover leur logement, sans oublier ceux qui sont dans une situation de précarité et qui ne pourraient pas supporter de reste à charge. En effet, la multiplicité des aides et la complexité des démarches administratives découragent de trop nombreux ménages. On note que la question du financement est cruciale et qu'elle doit être traitée en distinguant les différents types d'acteurs (publics, privés, institutionnels, sociaux, particuliers). Il convient d'éviter que l'obligation de rénovation n'entraîne pour certains une aggravation de la précarité.

la biodiversité : nous avons vu au cours de ce cycle de conférences qu'il y a une urgence climatique. Et si l'urgence en matière de biodiversité était une menace tout aussi grave ? Depuis des décennies, il est question de perte de la biodiversité. Nous assistons aujourd'hui à un effondrement de cette biodiversité. Les causes sont multiples. Le secteur de la construction, l'étalement urbain, l'artificialisation des sols contri-

buent à cette dégradation. Il y a donc nécessité désormais à construire et à rénover le bâti existant tout en préservant la biodiversité. Cela passera très certainement par un verdissement beaucoup plus important de nos villes, verdissement qui est également une des meilleures solutions pour lutter contre d'effet d'îlot de chaleur.

la gestion de l'eau : aucun des exposés n'a porté exclusivement sur ce thème et pourtant la question de l'eau (accès à l'eau potable, sécheresse ou inondations, baisse du niveau des nappes phréatiques, etc.) est apparue de manière récurrente pendant cette conférence, car l'eau est une ressource vitale et qui se raréfie dans de nombreuses régions du globe. La gestion de l'eau devient donc un sujet crucial pour les constructions et pour les villes durables. Les villes devront être conçues ou adaptées pour limiter l'artificialisation et l'imperméabilisation des sols, pour réduire les risques d'inondation et pour gérer efficacement les ressources en eau.

la question de la sobriété et pas uniquement en matière énergétique : sobriété foncière, sobriété en ressources naturelles, eau, matériaux, minéraux, etc. Ce concept de sobriété n'implique pas seulement de construire « autrement » mais peut se signifier, dans certains contextes, de construire moins ou pas de bâtiment neuf et de privilégier la rénovation, mais aussi, le recyclage et le réemploi des produits, des composants, voire, des ouvrages

Pour conclure, comme souligné par les étudiants, relever le défi de la neutralité carbone du secteur de la construction en 2050 va nécessiter une transformation de l'ensemble des acteurs qui composent la chaîne de production et d'exploitation. Le législateur, le concepteur, l'économiste, le financier, l'industriel, pour ne citer qu'eux, doivent prendre part à cette ambition en adaptant leur positionnement et leurs manières de faire pour « construire autrement ». Mais ces adaptations et ces changements de pratiques concernent également les usagers – c'est-à-dire nous tous – qui devront apprendre à « utiliser autrement ».

Toujours en 2023...

Il a été beaucoup question de rénovation en 2023 et ce sera encore le cas en 2024. Notons à ce sujet que le Mastère Spécialisé® IBD participe avec RX France à l'organisation des RenoDays, le premier salon exclusivement axé sur la rénovation durable. Ce salon se déroulera au Parc des Exposition de la Porte de Versailles à Paris les 12 et 13 septembre 2023. Un point fort de cette manifestation sera l'espace « Nouvelle

Génération » qui permettra de rencontrer et de recruter. Des conférences et des tables rondes seront également organisées.

... et les perspectives 2024 et au-delà

Ce cycle de conférences internationales qui s'est désormais installé dans le paysage universitaire et dans le monde de la construction durable se poursuivra donc en 2024. 25 conférenciers se succéderont du 8 au 12 avril 2024, toujours en visio-conférence afin de permettre à un public professionnel très large d'appréhender les mutations qui s'opèrent sur les 5 continents.

The Advanced Master® IBD of École des Ponts ParisTech organized and hosted 5 days of web conferences from April 3 to 7, 2023.

These international conferences are part of our cycle of conferences on the theme of "Carbon neutrality in sustainable real estate and building in the world to 2050". This general theme - which remains the same throughout the cycle - is broken down into 5 sub-themes (see table 1 in the appendix):

- Sustainable real estate, economy, finance
- Build and use differently
- Sustainable buildings, districts and cities
- Renovate otherwise. Biodiversity
- Water, wastes, energy.

The IBD Master's students were asked to work in groups to write articles summarizing each day of the conference cycle. Each day focused on a specific theme in line with the week's overall theme of sustainable real estate, economics and finance. This Yearbook 2023 provides a broader analysis, looking at the actions of all players in the building industry, from designers to sustainable finance experts and manufacturers.

Once again this year, the presentations by the twenty-five French and international speakers were incredibly rich, and it would be very presumptuous to attempt to summarize them in just a few lines. Let us try to highlight the major ideas of this 2024 edition in a few key words or phrases:

find the right financing mechanisms to create and, above all, renovate buildings in France and Europe with a view to sustainable development. These mechanisms do exist, but it is still difficult to identify, furnish and implement them all, especially for individuals and small private condominiums.

we need to build differently and use differently. The speakers brought different but complementary points of view to bear on this "otherwise", which involves technical solutions (new materials, new construction processes, new designs), innovation through digital technology, but also governance, training and uses. We note that the question of uses has taken on increasingly importance. It seems that the 2050 objectives of the environmental transition will not be achieved by relying solely on the ENR + Efficiency (energy, carbon) pairing or on technical innovation, but by integrating a 3rd parameter, which is sobriety in our various uses (energy, water, land, *etc.*). "Build differently, use differently" also applies to the city, with the emergence of sustainable and resilient cities, quarter-hour cities and the 3/30/300 concept. This sustainable urbanism does not rely on densification alone, but combines solutions: green solutions

that call on nature, technical solutions relating to urban infrastructures, and soft solutions relating to behavior and urban management.

the challenges are to be found on all scales: materials, products and components, buildings, sustainable neighborhoods and cities, and even on a regional scale. Solutions, whether technical or managerial, must not be standardized and generalized, but adapted to the local context. Building in Africa, India or China is not the same as building in Europe. It is important for sustainable solutions to be adapted to the needs, preferences and financing capacities of local residents.

one priority: the renovation of existing buildings, with the emphasis on comprehensive renovation. Once again, we come back to the facts and the needs: for the residential sector, the goal of carbon neutrality by 2050 implies the complete renovation of 370,000 homes (private and social) per year up to 2029, then around 700,000 homes per year between 2030 and 2050. We are a long way off the mark: only around 20,000 homes a year will undergo the kind of comprehensive renovation that will deliver a real improvement in energy performance. It is therefore important to redirect public subsidies towards comprehensive renovations, and to monitor their effectiveness.

to encourage and help all households to renovate their homes... not forgetting those in precarious situations who would not be able to afford the remaining costs. Indeed, the multiplicity of grants and the complexity of administrative procedures discourage too many households. Once again, the question of financing is a major issue for too many households. The question is crucial, and needs to be addressed by distinguishing between the different types of players (public, private, institutional, social, private). It is important to ensure that the obligation to renovate does not lead to more precariousness for some households.

Biodiversity: we have seen during this conference cycle that there is a climate emergency. But what if the biodiversity emergency was just as serious a threat? For decades, we have been talking about the loss of biodiversity. Today, we are witnessing a collapse in biodiversity. The causes are manifold. The construction industry, urban sprawl and soil artificialization are all contributing to this decline. We therefore need to build and renovate existing buildings while preserving biodiversity. This will undoubtedly require much greater greening of our cities, which is also one of the best solutions for combating the heat island effect.

Water management: none of the presentations focused exclusively on this theme, yet the issue of water (access to drinking water, drought or flooding, falling

groundwater levels, *etc.*) came up repeatedly during the conference, as water is a vital resource that is becoming increasingly scarce in many parts of the world. Water management is therefore becoming a crucial issue for construction and sustainable cities. Cities will have to be designed or adapted to limit the artificialization and sealing of land, to reduce the risk of flooding and to manage water resources efficiently.

there has been much talk of sobriety, and not just in terms of energy. Sobriety of land, sobriety of natural resources, water, materials, minerals... This concept of sobriety implies not only building "differently", but in certain contexts perhaps, building fewer or no new buildings, instead giving priority to renovation, as well as recycling and reusing products, components and even structures.

In conclusion, as the Master's students noted, meeting the challenge of carbon neutrality in the construction sector by 2050 will require a transformation of all the stakeholders in the production and operating chain. Legislators, designers, economists, financiers and manufacturers, to name but a few, will have to contribute to this ambition by adapting their positioning and ways of doing things to "build differently". But these adaptations and changes in practices also concern users - in other words, all of us - who will have to learn to «use differently».

Still in 2023.....

There has been a lot of talk about renovation in 2023, and this will continue to be the case in 2024. The IBD Specialized Master's program is participating with RX France in the organization of RenoDays, the first trade show to focus exclusively on sustainable renovation. The show will take place at the Parc des Expositions de la Porte de Versailles in Paris on September 12 and 13, 2023. One of the highlights of the show will be the *Nouvelle Génération* (New Generation) area, where visitors will be able to meet and recruit. Conferences and round tables will also be organized.

...and prospects for 2024 and beyond

This cycle of international conferences, now a fixture in the university landscape and the world of sustainable construction, will continue in 2024. 25 speakers will take the floor from April 8 to 12, again *via* videoconferencing, to give a wide audience of professionals an insight into the changes taking place on all 5 continents.

Programme

3 avril 2023. Immobilier durable, économie, finance

Ouverture du cycle de conférences

Anthony Briant, directeur, École des Ponts ParisTech

Introduction à la conférence d'avril 2023 « Stratégie Neutralité Carbone dans l'immobilier et le bâtiment à travers le monde à horizon 2050 »

Dominique Naert, directeur du MS® IBD

Bruno Mesureur, coordinateur de la semaine internationale

Accélération de la décarbonation de l'immobilier

Marjolaine Grisard, directrice RSE, Nexity

La Banque européenne d'investissement

Grégoire Chauvière Le Drian, directeur du bureau du groupe EIB en France, Banque européenne d'investissement

How an EU Renovation Loan can fill the finance gap for European homeowners?

Peter Sweatman, fondateur et PDG, Climate Strategy and Partners

4 avril 2023. Construire et utiliser autrement

L'innovation au service de la transformation du secteur : Comment les dispositifs d'innovation se transforment pour faire face aux défis de la filière

Thomas Le Diouron, responsable des partenariats, Impulse Partners

Roadmap towards a Net Zero Energy City by 2038. Springfield, Australia

Charles Édouard Delpierre, DGA, TRACTEBEL

Comment concilier croissance et décarbonation ?

Fabrice Denis, directeur général du pôle Construire autrement, Bouygues Bâtiment

Saint-Gobain : des solutions pour décarboner le bâtiment

Emmanuel Normant, VP Sustainable Development, Saint-Gobain

Construire autrement. Enjeux et limites

Doudou Deme, directeur général, Elementerre

Nicolas Rondet, cofondateur, associé, Atelier Worofila

Défis et leviers d'une diffusion à grande échelle de pratiques constructives adaptées en Afrique

Thomas Granier, fondateur, directeur général, Association La Voûte Nubienne

Away. Building Tomorrow's Cities. How to accelerate the transition?

Stéphanie Merger

5 avril 2023. Bâtiments, quartiers et villes durables

Construire un avenir durable : le contexte indien

Abha Narain Lambah, architecte, ANL Associates

Carbone sensible

Nicolas Ziesel, architecte, associé, KOZ Architectes

Les stratégies territoriales en Chine et au Brésil : deux exemples de projets sans frontière

Cristina Garcez, directrice des projets urbains, CSTB

L'accélération des bâtiments et villes bas-carbone

Hélène Chartier, responsable du développement zéro carbone, C40 Cities

6 avril 2023. Rénover autrement

Rénovation énergétique et pauvreté

Michel Pelenc, président, Solinergy

Comment financer une politique de rénovation thermique à la hauteur des enjeux ?

Pierre Larrouturou, député européen

Incitations et contrôles pour atteindre les objectifs fixés

Philippe Estingoy, directeur général, Agence Qualité Construction

6 avril 2023. Biodiversité

Biodiversité : évolution, effondrement, solutions

Tatiana Giraud, chercheuse, Académie des Sciences ; professeure, Collège de France, École polytechnique

7 avril 2023. Eau, déchets, énergie

Transitions énergétique, numérique et écologique. Des ressources fossiles vers les ressources minérales

Stéphane Bourg, directeur, OFREMI

Vers des métropoles « vertes » ou des villes « stationnaires » ?

Philippe Bihouix, directeur général, AREP

Le nucléaire, un atout français pour aujourd'hui et demain

Claude Imauven, président, ORANO

Développer l'économie circulaire dans le bâtiment

Hervé de Maistre, président, VALOBAT

Immobilier durable, économie, finance

Sustainable real estate, economy, finance



Oumaima AARICH
Lionel ARAS
Adrien DELGADO
Isabelle MARANDET
Manuel PORCHET



Introduction

Les dernières évolutions réglementaires amènent le secteur de l'immobilier à s'interroger sur sa capacité à s'inscrire dans une dynamique de développement durable.

Alors que l'année 2022 voyait l'avènement de la RE2020 et la mise en pratique du décret tertiaire, l'année 2023 avec la loi Énergie Climat, s'impose comme une volonté établie de changement de notre rapport au bâti. La compréhension de ces lois dans l'acte de construire amène les professionnels du secteur à porter un autre regard sur leur activité.

Là où précédemment les démarches environnementales étaient appréciées au prisme de l'amélioration des consommations d'énergies, les nouvelles réglementations vont élargir la vision environnementale pour permettre au secteur de l'immobilier de s'inscrire dans une démarche de développement durable.

La prise en compte de l'approche bas-carbone induit une réflexion sur une temporalité qui dépasse l'acte de construire, mais qui s'inscrit dans une analyse à long terme comme le précise Anthony Briant. Il conviendra de parler d'empreinte carbone qui représente près de 60 % pour un bâtiment fraîchement livré.

Mais l'analyse ne fait que commencer, car il reste 40 % de son empreinte à définir. Cela va se traduire par les consommations liées à la vie et l'exploitation du bâtiment. Et nous pouvons imaginer que ces 40 % peuvent générer un impact plus ou moins important sur le long terme en fonction des orientations programmatiques stratégiques qui auront été arrêtées au moment de la conception.

Les nouveaux enjeux nous amènent donc à intégrer une nouvelle façon de concevoir les bâtiments (réemploi, matériaux bas-carbone, locaux, issus de l'économie circulaire ou de ressources renouvelables, gestion des déchets, biodiversité, construction hors site), mais également, d'imaginer comment pouvoir les utiliser pour mettre fin à la dépendance aux combustibles fossiles tout en garantissant le confort nécessaire à l'acceptation de cette nouvelle démarche.



Note : ne sont prises en compte que les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergies fossiles. Le contenu carbone de l'électricité et de la chaleur achetée à des réseaux n'est pas pris en compte.

Figure 1 Répartition des émissions de CO₂ liées aux bâtiments résidentiels en France

© Ministère de la Transition énergétique, 2022, p. 57

Bien évidemment, toute innovation a un coût. Il est donc nécessaire de fiabiliser et de pérenniser le financement de ces nouvelles démarches pour inscrire son succès sur le long terme.

Cependant, la société dans laquelle nous vivons ne va pas naturellement porter un regard bienveillant sur le besoin de modification d'un investissement qu'il qualifie de « produit immobilier » d'autant plus s'il doit être apprécié sur le long terme, là où le retour sur investissement est attendu dès la fin de la construction au plus tard. Dans un monde financier qui a développé la spéculation de la nanoseconde, cela n'est pas naturel !

Dans ces conditions, quels champs économiques le secteur du bâtiment doit-il explorer pour y semer les graines de durabilité qui donneront naissance à la finance durable ?

1. Le nécessaire état des lieux du secteur du bâtiment

1.1. Où se situe le secteur du bâtiment dans les émissions de GES ?

Le plan Climat de 2017 a fixé un objectif ambitieux, mais précis pour la France à l'horizon 2050 : atteindre la neutralité carbone. La Stratégie Nationale Bas-Carbone a fixé des objectifs pour y parvenir dans les différents secteurs les plus générateurs de gaz à effet de serre comme le transport, l'énergie et le bâtiment.

Mais définir des objectifs est une chose, y parvenir en est une autre. Cela est rendu d'autant plus difficile lorsque la définition même des secteurs est complexe, voire, floue. Le secteur du bâtiment en est un bon exemple à l'image des multiples études qui n'arrivent pas à s'accorder sur une valeur unique et incontestable pour identifier sa responsabilité dans les émissions de gaz à effet de serre en Europe ou en France. Cela s'explique par la complexité du secteur qui comprend de multiples intervenants, paramètres à corrélérer au travers de différentes unités de lieu et de temps. Cependant, accordons-nous sur une réalité, celle de l'urgence climatique et des moyens qui doivent être déployés massivement et globalement pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

Nous retiendrons simplement, pour situer les enjeux et l'impact du secteur du bâtiment sur l'environnement, qu'il représente environ un tiers des émissions de GES et 40 % des consommations d'énergie par an en Europe et en France.

Pour identifier précisément les leviers d'actions qui s'offrent aux professionnels du secteur, il convient de considérer deux cas de figure : la construction neuve et la rénovation.

1.2. La situation de la construction neuve

Le bilan carbone d'un bâtiment neuf envisagé pour un cycle de vie de 50 ans peut être apprécié suivant quatre principaux postes présentés dans le graphique ci-dessous :

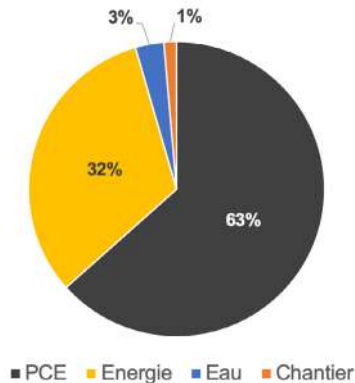


Figure 2. Impact de chaque contributeur sur le bilan carbone © Build Green, 2019.

Nous pouvons observer que 95 % du bilan carbone est issu des produits nécessaires à la construction et aux équipements, accompagnés du poste énergétique. Pour matérialiser cet impact, nous retiendrons que 1 m² construit émet en moyenne 1,35 tCO₂ sur son cycle de vie.

L'analyse de ces données indique que l'empreinte carbone d'un bâtiment neuf est principalement alimentée par les matériaux de construction et les équipements qui le constituent. Il conviendra donc que la chaîne amont à la construction (programmistes, concepteurs, industriels, etc.) s'approprie cette dimension structurante pour proposer des projets qui feront appel à des modes constructifs plus sobres en carbone. Cet aspect est désormais intrinsèque à la conception d'un bâtiment neuf avec la mise en application de la RE2020 depuis 2022.

Cependant, un bâtiment neuf qui est, par définition, rattaché à un environnement et à des usages, ne pourrait être résumé en une conception « idéale » qui tiendrait uniquement compte de sa performance carbone au moment de sa construction. En effet, le poste énergétique nous invite à dépasser l'instantanéité de la livraison d'un bâtiment neuf pour l'inscrire plus largement dans un cycle de vie. Le bâtiment doit être conçu, réfléchi avec des logiques d'interaction entre l'ensemble des lots qui le constituent et leur capacité à accompagner la performance énergétique du bâtiment.

À titre d'exemple, dans certains cas, il peut s'avérer pertinent de privilégier une solution structurelle mixte bois et béton bas-carbone pour utiliser les qualités inertielles de ce dernier qui permettent d'emmagasiner l'apport interne en calories de

la journée afin de les restituer en soirée. Nous pouvons comprendre que suivant certaines situations une solution plus carbonée à un instant T pourrait devenir une solution plus économe en chauffage ou refroidissement, donc en énergie en phase exploitation.

La dimension de la temporalité au travers du cycle de vie d'un bâtiment doit devenir une composante majeure de la conception des prochains bâtiments neufs d'une société décarbonée.

Mais, comme le souligne Dominique Naert, le premier levier pour agir sur l'optimisation du carbone dans la construction neuve est de s'interroger sur la nécessité même de construire du neuf. Il est nécessaire de s'interroger sur les réels besoins en termes de surfaces neuves à bâtir.

Cette démarche de sobriété est devenue nécessaire et induit une prise de conscience du collectif, car dans nos sociétés, nous disposons actuellement de plus de logements qu'il n'en faut par habitant et nous construisons actuellement sur un rythme qui s'installe dans cette démarche.

Indice base 100 en 1990

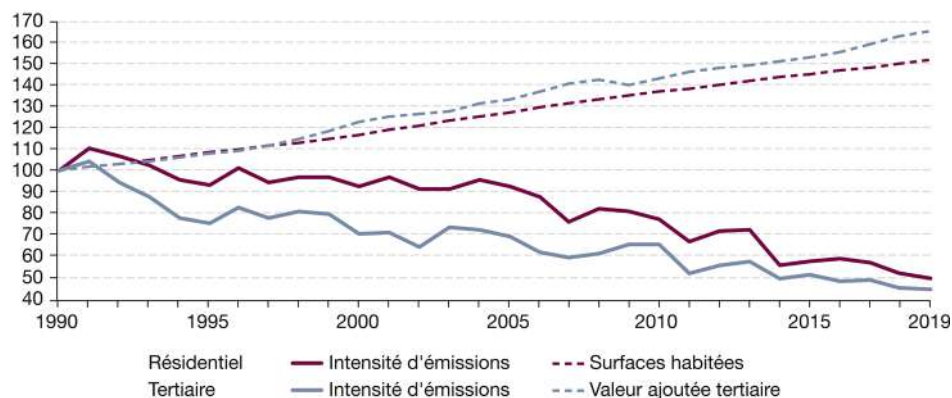


Figure 3. Intensité d'émissions de CO₂ du résidentiel et du tertiaire en France
© Ministère de la Transition énergétique, 2022, op. cit., p. 57

Cela est également aggravé par un autre constat qui révèle que, malgré l'efficacité des équipements en matière de consommations d'énergie, le poste d'énergie du secteur du bâtiment ne baisse que très légèrement. En effet, nous constatons que la surface m²/hab. n'a cessé d'augmenter ces dernières années, ce qui vient limiter mécaniquement les efforts réalisés en matière d'efficacité énergétique.

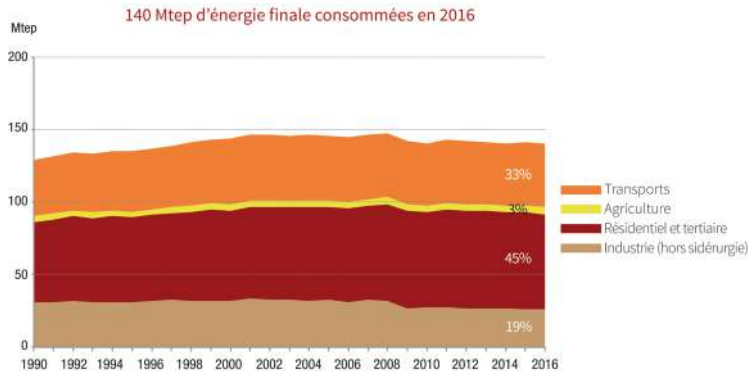


Figure 4. Évolution de la consommation d'énergie finale par secteur (hors secteur de l'énergie et usages non énergétiques) © ADEME, 2018, p. 50.

Les bâtiments neufs doivent donc être appréciés suivant leurs réelles nécessités de besoins et en s'inscrivant dans une démarche qui reposerait sur la prise en compte de leurs nécessaires adaptations et évolutions tout au long de leur cycle de vie.

1.3. L'importance de la rénovation

Pour atteindre l'objectif de neutralité carbone, la SNBC a fixé des objectifs très ambitieux. Elle souhaite la réalisation de rénovations globales donc performantes pour 370 000 logements par an jusqu'en 2030. Ce nombre doit ensuite passer à 700 000 logements par an jusqu'en 2050 pour la France (Dugast, Daunay, 2019). Pour l'Union Européenne, les chiffres apparaissent astronomiques avec un objectif d'environ 160 à 170 millions de logements à rénover soit environ 6 millions par an.

Atteindre cet objectif signifie que la moitié du parc français, qui compte environ 36 millions de logements, serait rénovée efficacement pour atteindre un classement A ou B suivant les critères des derniers DPE. Actuellement les logements qui répondent à ces critères représentent environ 5 % du parc, soit environ 1,8 million de logements.

L'atteinte de ces objectifs ambitieux nécessite un rythme soutenu qui doit être accompagné d'un environnement économique consolidé et dynamique. La rénovation de 700 000 logements par an représente en effet un investissement d'environ 25 milliards d'euros HT, soit environ 1 % du PIB français. Les gouvernements conscients des enjeux qui s'offrent à eux s'impliquent depuis quelques années en multipliant les dispositifs d'aides et d'accompagnements. Pour ne citer que le dispositif MaPrimeRénov' mis en place par le gouvernement français depuis 2020, il est constaté un bon accueil de la part des propriétaires, car en 2022 un peu moins de 700 000 dossiers ont été traités au travers de ce dispositif.

Mais que signifie ce nombre de dossiers en matière d'efficacité énergétique, donc de rénovation globale comme le recommande la SNBC pour atteindre une décarbonation du secteur du bâtiment d'ici 2050 ?

Il apparaît que sur l'ensemble des dossiers, seulement 10 % ont concerné une rénovation élargie qui s'intéressait à plusieurs champs d'action simultanés comme l'enveloppe du bâtiment et le remplacement du chauffage. Et parmi ces rénovations seulement 20 % répondraient aux critères exigés par la SNBC, soit 2 % des 700 000 logements qui ont bénéficié de l'accompagnement du dispositif MaPrimeRénov' (Le Fustec, 2023).

L'ambition annoncée par la SNBC n'est donc pas atteinte à ce stade, car à ce rythme la neutralité carbone du secteur du bâtiment serait atteinte dans 1 200 ans.

Néanmoins, nous pouvons noter une dynamique qui paraît nécessaire faute d'être efficace et qu'il va falloir consolider pour la rendre opérante. Ainsi, pour mener à bien la quête de la neutralité carbone les acteurs de la rénovation (propriétaires, promoteurs, gestionnaires de parcs, collectivités, industriels, etc.) doivent être accompagnés politiquement, économiquement et socialement.

L'atteinte des objectifs ambitieux passera notamment par la mise en cohérence du secteur de l'immobilier en construisant une démarche globale qui proposera des outils réglementaires, des aides financières adaptées et contrôlées, un développement des compétences des acteurs du secteur et la poursuite de la R&D chez les industriels.

2. L'approche durable des entreprises

2.1. Un contexte réglementaire incitatif

Le secteur du bâtiment connaît une dynamique positive du point de vue de la création et du déploiement de nouveaux cadres réglementaires. En 2022, a notamment été mise en application la Réglementation environnementale 2020 (RE2020) qui a pour objectif de décarboner la construction neuve de bâtiments. La même année, le décret tertiaire a commencé à contraindre la construction neuve de bâtiments tertiaires avec l'obligation d'installer des équipements performants, et la mise en place de dispositifs de contrôle et de gestion active de ces derniers.

En 2023, la loi Énergie Climat entre en application pour permettre la sortie des énergies fossiles et le développement des énergies renouvelables, ou encore, la fin des passoires thermiques via un processus d'interdiction de location progressive des logements en fonction de leur classification énergétique.

2.2. Définition de la stratégie RSE

Les entreprises actuelles adoptent de plus en plus la démarche de Responsabilité Sociétale des entreprises (RSE). Ce principe est défini par la Commission européenne en 2011 comme « la responsabilité des entreprises vis-à-vis des effets qu'elles exercent sur la société » (MEFSIN, 2022). Il s'agit de la contribution des entreprises aux enjeux du développement durable. Elle est définie par la norme ISO 26000, standard international, autour de sept thématiques centrales qui sont : la gouvernance de l'organisation, les droits de l'homme, les relations et conditions de travail, l'environnement, la loyauté des pratiques, les questions relatives aux consommateurs et enfin les communautés et le développement local. Nexity, premier promoteur immobilier de France, agit sur l'ensemble de ces volets. Marjolaine Grisard, directrice RSE du groupe, nous a présenté quelques exemples : la réduction de l'empreinte carbone, la préservation des ressources en favorisant l'économie circulaire, l'amélioration de l'accès au logement pour tous en promouvant l'inclusion et l'égalité des chances, ou encore, une gouvernance ouverte et responsable.

La RSE prend une place grandissante au sein des organisations, devenant même désormais stratégique. Nexity se dote, par exemple, d'un nouveau plan stratégique 2026, avec pour ambition de rendre la ville plus durable et d'évoluer vers un modèle d'opérateur global immobilier. La conflictualité avec la part « *business* » doit s'effacer pour laisser place à un travail collaboratif entre les deux parties. L'entreprise va chercher à être socialement responsable tout en étant économiquement viable.



Figure 5. La démarche RSE de Nexity © Marjolaine Grisard, 2023.

Cette nouvelle politique d'entreprise doit être de long terme, en associant la pérennité économique de la structure et son action positive pour le bien commun, via la RSE. Actuellement, l'approche bas-carbone est sur le devant de la scène, grâce

à la mise en application récente de la réglementation environnementale de 2020 s'appliquant à la construction neuve. Pour y répondre, Nexity essaye « d'éviter la tonne de carbone pour un coût neutre », nous précise Marjolaine Grisard. Autrement dit, les structures engagées dans une démarche RSE essayent de réduire les émissions de carbone sans perte de chiffre d'affaires et/ou de résultats.

Des bilans carbone permettent de calculer les quantités émises lors d'un projet de construction, par exemple. Ils sont établis sous la notion de scope 1, 2 et 3 (Ayoun, 2023). Le scope 1 concerne les gaz à effet de serre directement émis par l'entreprise, le scope 2 ceux indirectement émis et liés à l'énergie utilisée lors des processus de production de produits. Enfin, le scope 3 concerne les émissions indirectes, comme les achats de marchandises, les services, *etc.*, représentant couramment la part majeure.

2.3. Une dynamique extra-financière

Des partenariats ou mutualisations d'effort se créent entre acteurs majeurs du bâtiment. Nexity est par exemple partenaire du programme de recherche appliquée et d'action collective BIG (*Biodiversity Impulsion Group*)¹. Son objectif est d'intégrer les enjeux de biodiversité dans la conception et la gestion des projets immobiliers en France.

La signature de *Green Deals* permet aux acteurs de se fixer des objectifs en matière de transition écologique, en passant par des formations de collaborateurs ou la réalisation de projets de rénovation énergétique ambitieux. Nexity a signé en 2018 un premier *Green Deal* avec le Plan Bâtiment Durable, puis, un second en 2022 avec le Plan Bâtiment Durable et le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires².

2.4. Des outils économiques et financiers spécifiques

Les entreprises françaises (promoteurs, aménageurs, constructeurs ou autres acteurs), ou bien, des structures administratives françaises, telles que les collectivités territoriales, ont des moyens financiers à leur disposition leur permettant d'agir en faveur du développement durable.

Il y a un premier levier qui correspond aux *Green Bonds* ou obligations vertes (Cuny, 2017).

1 • Voir : <https://biodiversity-impulsion-group.fr/en/home/>.

2 • Voir : <https://pressroom.nexity.fr/actualites/foncia-nexity-et-le-plan-batiment-durable-sengagent-pour-la-renovation-energetique-des-logements-privés-3dbf-6731a.html>.



Figure 6. Qu'est-ce qu'une obligation verte ?

© Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires/Ministère de la Transition énergétique, 2021

Leur intérêt réside dans la réalisation d'emprunts sur le marché financier auprès d'investisseurs afin de financer des projets en faveur de la transition écologique. Marjolaine Grisard nous rappelle qu'en 2019, Nexity a réalisé sa première émission d'obligation verte pour un montant de 240 millions d'euros, afin d'aligner le financement de ses projets immobiliers avec ses objectifs RSE. L'intérêt et la différence avec des obligations classiques résident dans la transparence des projets financés. En effet, un rapport extra-financier est obligatoirement émis par les sociétés de gestion depuis la loi sur la transition énergétique du 17 août 2015. Ce dernier permet d'expliquer comment sont pris en compte les critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) quand les sociétés de gestion sélectionnent les valeurs figurant dans les fonds qu'elles proposent.

Les critères ESG existent depuis l'Accord de Paris sur le climat en 2015 et les objectifs climatiques des Nations unies.



Figure 7. Définition des critères ESG © Mon épargne et moi, 2021

Il y en a 19, parmi lesquels nous retrouvons les émissions de CO₂, le recyclage des déchets, l'emploi des personnes handicapées, la formation des salariés, la lutte contre la corruption, ou encore, la féminisation des conseils d'administration. Les performances extra-financières des entreprises sur ces critères sont ensuite reconnues par des tiers indépendants et permettent d'avoir une lisibilité factuelle de leurs impacts sur ce domaine. Nexity par exemple est notée AA par MSCI, ce qui la place dans les 15 % des entreprises les plus performantes de son secteur, ou encore, notée C par ISS ESG, ce qui correspond aux 20 % des entreprises les plus performantes.

Un label peut être obtenu et rendre visibles ces émissions d'obligations vertes. Il s'agit du label Investissement socialement responsable (ISR)³. Il est attribué par des organismes indépendants et permet ainsi de justifier de la réalisation d'investissements responsables.

Un deuxième levier est d'avoir une ligne de crédit *corporate*⁴ alignée avec des indicateurs clés de performance (KPI) de l'engagement RSE. Ce crédit a la particularité d'être utilisé par l'entreprise comme elle l'entend. En effet, il s'agit d'un fonds accordé par une banque dont l'entreprise est remboursée par le *cash-flow*, sans prise de garantie particulière.

Un troisième levier concerne la taxonomie européenne des activités durables (Gouvernement, 2022). Il s'agit d'une classification des activités économiques ayant un impact favorable sur l'environnement, afin d'orienter les investissements vers des activités « vertes ». Côté entreprise, cela leur permet de démontrer leur implication dans la transition écologique, de planifier et lever des fonds avec des investissements durables et enfin d'éviter un *green-washing* involontaire. Nexity va notamment l'utiliser pour les activités de construction de bâtiments et pour leurs clients, dans les activités de ventes/acquisitions de bâtiments.

Un autre levier, plus économique que financier, est à disposition des acteurs importants du secteur du bâtiment, disposant de grandes ressources financières. Il s'agit de la réalisation d'économies d'échelles. L'achat ou la production de grandes quantités de matériaux, produits ou équipements qui sont plus chères que les « standards » sur le marché, leur permet de réduire les coûts et de les proposer à leurs clients à un prix acceptable. Chez Nexity, ce travail est mené par les services achats de l'entreprise en partenariat avec leurs fournisseurs, et permet ainsi d'absorber l'augmentation des coûts, nous explique Marjolaine Grisard.

3 • Voir : <https://www.llelabelisr.fr/>.

4 • Pour une définition, voir : <https://www.boursedescredits.com/lexique-definition-credit-corporate-1325.php>.

3. L'accompagnement des ménages par l'ingénierie financière

L'investissement en faveur du climat repose actuellement sur trois principaux secteurs : les transports, le bâtiment et la production d'énergie. Le secteur du bâtiment consomme à lui seul près de 40 % de l'énergie à l'échelle européenne, ce qui en fait le premier consommateur. Des actions rapides, globales et efficaces doivent être réalisées pour contenir ces dérives de consommations énergétiques qui restent un réel obstacle à l'atteinte de la décarbonation du secteur à l'horizon 2050.

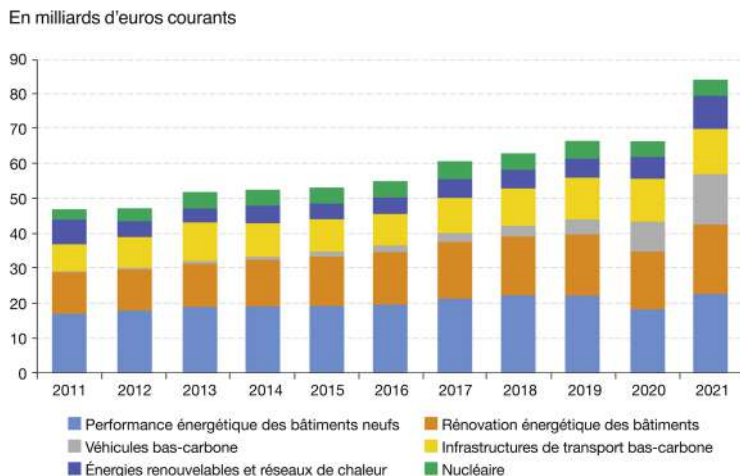


Figure 8. Évolution des investissements climat en France
© Ministère de la Transition énergétique, 2022, op. cit., p. 90.

L'urgence induit une réorganisation profonde du secteur, notamment d'un point de vue financier, car tout nouvel investissement engendre des coûts qui doivent être supportés. Les habitudes et modèles économiques doivent donc évoluer, se réinventer pour accompagner au mieux le défi de la transition énergétique.

Ce levier apparaît indispensable, mais complexe, car il intéresse l'ensemble des acteurs du secteur du bâtiment qu'ils soient professionnels, institutionnels, industriels, mais surtout, propriétaires privés. Des outils financiers spécifiques et adaptés doivent être inventés pour générer une motivation, car force est de constater que la dynamique envisagée n'a pas encore trouvé son rythme avec seulement 9 % du parc réhabilité chaque année au niveau européen.

3.1. La massification de la rénovation par un prêt européen

Le financement des projets de rénovation est souvent vécu comme un défi pour les propriétaires privés, en particulier pour les ménages à faible revenu. Mais des dispositifs d'accompagnement existent d'ores et déjà à l'image du prêt de rénovation de l'UE, qui aide à combler le manque de prêts pour les propriétaires européens qui n'ont pas accès au financement hypothécaire à faible coût, comme l'a présenté Peter Sweatman lors de sa conférence. Ce financement est fourni sur la base d'un coupon zéro avec le remboursement du prêt principal, sachant qu'il est capé à la valeur du domicile en question et des intérêts encourus aux coûts d'emprunt de l'UE (2,3 % aujourd'hui). Cette obligation permet d'envisager une inscription du projet sur le long terme, car il s'agit d'une obligation pour laquelle son porteur ne se verra pas verser d'intérêts (coupons) durant toute la durée de vie du prêt. Les intérêts sont capitalisés, au lieu d'être distribués au fur et à mesure. Ils sont versés dans leur totalité à la première des éventualités suivantes : transfert, vente, ou de l'échéance de 30 ans.

Le prêt de rénovation de l'UE, soutenu par les liquidités de la banque centrale, offre ainsi à tous les propriétaires un accès équitable et égal au financement à long terme pour la réhabilitation de leurs biens en profondeur. Il offre concrètement la possibilité de capitaliser sur les économies de charges générées par la qualité de la rénovation pour financer le prêt à long terme. Cette démarche, qui implique des enjeux extra-financiers, s'inscrit pleinement dans le périmètre de la taxonomie européenne.

Cette dernière est un cadre réglementaire qui a été mis en place pour aider à déterminer quels investissements peuvent être considérés comme durables sur le plan environnemental. Elle vise à encourager les investissements dans des activités économiques qui contribuent à la transition vers une économie neutre en carbone. Son cadre se fonde sur six objectifs environnementaux : le changement climatique, l'adaptation au changement climatique, l'utilisation durable et la protection de l'eau et des ressources marines, la transition vers une économie circulaire, la prévention et la réduction de la pollution et enfin, la protection et la restauration de la biodiversité et des écosystèmes. Les propriétaires qui souhaitent rénover leurs biens peuvent utiliser le prêt de rénovation de l'UE pour financer des projets tels que l'installation de panneaux solaires, l'isolation des murs ou des combles, le remplacement des fenêtres, la mise à niveau des systèmes de chauffage ou la ventilation. Ces projets sont conformes aux objectifs environnementaux de l'UE et contribuent au plan européen de neutralité carbone.

3.2. Un paysage immobilier européen hétérogène

La mobilisation de fonds européens pour le financement de la transition carbone dans le secteur du bâtiment nécessite d'être légitimée suivant une analyse du parc existant qui s'avère complexe et disparate selon les États membres. Nous retiendrons que l'Europe compte aujourd'hui 170 millions de logements environ, dont 80 % sont concentrés dans cinq pays (Allemagne, France, Italie, Royaume-Uni, Espagne). Ces logements sont détenus à hauteur de 70 % par des propriétaires privés, induisant différentes exploitations. Certains sont occupés par le propriétaire eux-mêmes, d'autres représentent un investissement locatif et d'autres encore représentent une part non négligeable de résidences secondaires (pouvant aller à un logement sur dix en France). Ces différents profils représentent autant de positionnements pour engager des projets de rénovation efficaces, nécessaires à la maîtrise de la consommation énergétique de l'Europe.

En effet, comment sensibiliser ces acteurs à un investissement à long terme alors que ces derniers sont soit préoccupés par la gestion de leur quotidien, soit amenés à considérer que cela ne les concerne pas ?

Ainsi, Peter Sweatman indique que 44 % des propriétaires ne font pas de la réhabilitation lourde une priorité et que 44 % n'y voient pas de nécessité. Ces données révèlent le manque d'accompagnement dont souffrent les propriétaires pour leur permettre de comprendre les enjeux d'une transition énergétique décarbonée et des moyens financiers dont ils peuvent disposer pour la réaliser. Les propriétaires européens représentent un acteur majeur et structurant de la transition énergétique souhaitée. Ils doivent être accompagnés à la hauteur des enjeux et des ambitions qui s'offrent à l'échelle européenne dans le but d'inscrire et de pérenniser une démarche de projet de rénovation globale donc efficace pour atteindre l'objectif de la neutralité carbone en 2050.

3.3. Création des valeurs de proximité

L'atteinte de la neutralité carbone nécessite de mobiliser des montants importants. Les estimations, d'après Peter Sweatman, indiquent qu'il faudrait investir 235 milliards €/an auprès de 35 millions d'Européens propriétaires pour engager une transition énergétique durable dans le secteur du bâtiment. L'investissement d'une telle somme permettrait de débloquer un retour sur investissement estimé à 25 milliards d'euros. Un fonds qui peut être déployé dans le cadre de nouvelles rénovations, ou encore, être investi dans d'autres champs possibles. L'ampleur de la tâche est telle qu'elle nécessite d'être organisée suivant un réseau d'accompagnement qui permettrait de toucher tous les propriétaires concernés. Ce projet doit compter sur la participation des banques qui constituent des interfaces de proximité entre le client, le projet de rénovation énergétique et la structure d'emprunt. Pour mener à bien cette démarche nécessaire,

les banques européennes vont devoir se structurer en formant 350 000 managers pour accompagner au mieux les démarches de rénovation (sachant que chacun de ces managers traite en moyenne 10 cas par an).

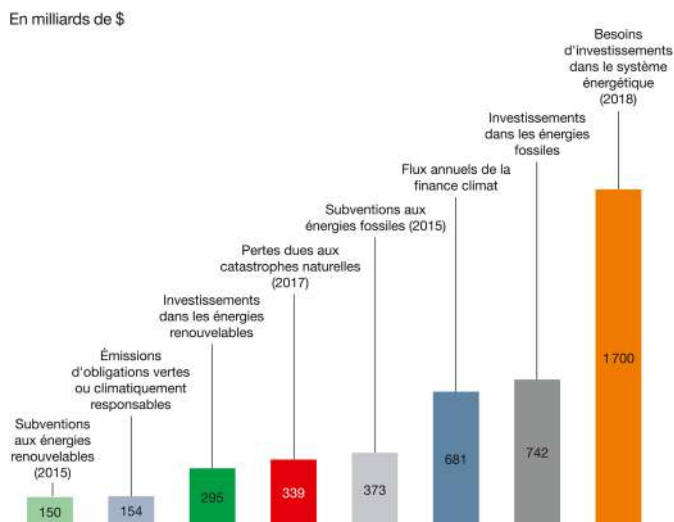


Figure 9. Comparaison des flux annuels de la finance climat avec d'autres flux financiers clés

© Ministère de la Transition énergétique, 2022, *ibid.*, p. 76.

Pour être intéressés, les propriétaires doivent être sensibilisés et informés des moyens d'accompagnement qui s'offrent à eux. Les États européens et leurs institutions ont un rôle primordial à jouer dans l'accompagnement au changement pour garantir la réussite d'un secteur du bâtiment décarboné en 2050.

Pour ne citer que la France, les dispositifs d'incitation à la rénovation énergétique, tels que MaPrimeRénov', Sérénité, ou encore, Coup de pouce chauffage, sont connus des professionnels du secteur, mais encore trop peu du grand public. De plus, elles n'incitent pas assez à réaliser des rénovations globales des logements, ce qui pourtant est la solution pour décarboner le secteur. En effet, il ne peut être que constaté dans la plupart des cas, une utilisation pour financer des rénovations par gestes.

Pour conclure, le prêt européen pour la rénovation énergétique a fait des progrès notables ces dernières années. Ce programme, lancé par la Commission européenne en 2014, vise à encourager les investissements dans la rénovation énergétique des bâtiments résidentiels et commerciaux en offrant un financement avantageux et des conditions favorables aux emprunteurs. Il a contribué à dynamiser le secteur financier au niveau européen en encourageant les États membres à établir des programmes nationaux comme ceux mentionnés pour le cas de la France. Les fonds du prêt euro-

péen pour la rénovation ont également été utilisés pour financer des projets de rénovation énergétique à grande échelle, contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la transition vers une économie plus verte et durable.

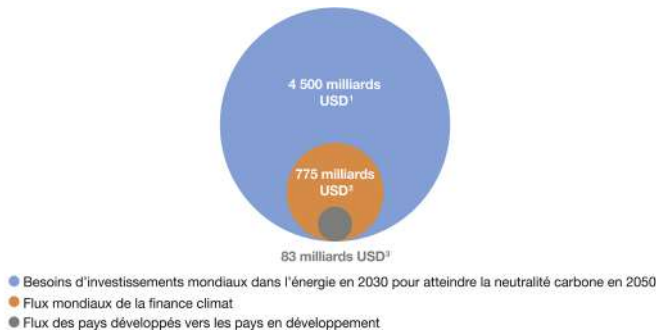


Figure 10. Les flux annuels de la finance climat au regard des besoins mondiaux
© Ministère de la Transition énergétique, 2022, *ibid.*, p. 75.

Cet effort nécessite désormais, pour être pleinement efficace, d'être relayé par les États et les acteurs du secteur financier qui occupent un rapport de proximité privilégié avec le grand public. Ce secteur a son rôle à jouer en se dynamisant pour offrir aux propriétaires de nouveaux services qui présenteraient l'ensemble des avantages d'une démarche de rénovation énergétique des bâtiments à travers l'Europe.

4. L'échelle du financeur international pour soutenir la massification

L'Europe, depuis le traité de Rome en 1957, s'est dotée d'une institution bancaire d'accompagnement des activités au sein de la communauté européenne; la Banque européenne d'investissement (BEI). Sa mission première est de financer la transition énergétique, la lutte contre le changement climatique. La gouvernance est 100 % publique avec un conseil d'administration composé des représentants des ministères des Finances des 27 États membres. Chaque État est actionnaire dès son entrée dans l'Union Européenne et contribue par le versement d'un fonds correspondant à une part proportionnelle à son PIB.

THE BANK'S SHAREHOLDERS



Figure 11. Les actionnaires de la BEI © Grégoire Chauvière Le Drian, 2023.

4.1. Un engagement européen pour des projets à impact

Cette structure, permettant d'obtenir des fonds dans des conditions avantageuses, sert à soutenir les activités économiques à l'échelle européenne, voire, internationale. Elle permet de financer des projets à impact diversifiés en partageant les risques pour les porteurs de projet. Son ambition est de financer la transition environnementale, sans utiliser les fonds des contribuables et sans faire de profits. Par exemple, en France, la BEI finance chaque année 10 milliards d'euros de projets à impact positif.

Les quatre principales activités financées par la BEI sont : la lutte contre le changement climatique, les infrastructures, le financement des PME par l'intermédiaire des banques traditionnelles, la R&D — Innovation. L'objectif est de soutenir les projets à impact permettant d'accompagner le secteur privé vers des priorités de politique publique européenne. La BEI s'appuie sur un réseau de banques commerciales locales pour distribuer ses fonds.

En ce qui concerne le domaine de la construction, les sujets de la transition énergétique et de la rénovation du parc bâti sont les priorités n° 1, en tant que sujet transversal. Aussi, une grande partie des aides financières débloquées par la BEI visent à soutenir la décarbonation. Comme le précise Grégoire Chauvière Le Drian, directeur de la BEI en France, l'institution est « une banque vertueuse, qui ne coûte rien aux contribuables, car la BEI lève sur le marché l'ensemble des ressources qu'elle attribue aux bénéficiaires, donc il n'y a pas de transferts budgétaires des États membres vers la BEI, au contraire, elle émet 70 milliards d'euros sur les marchés grâce à une notation AAA, avec un taux relativement compétitif et elle prête ensuite cet argent sans marge commerciale. La BEI est la plus grande banque publique au monde avec

600 milliards d'actifs sous gestion en 2023. Ainsi, la BEI est souvent appelée Banque européenne du climat, voire, Banque de transition énergétique ».

4.2. Vers une souveraineté européenne : énergie, santé, industrie

Depuis 2019, les orientations stratégiques de la BEI se renforcent vers l'accompagnement d'activités économiques contribuant à soutenir la souveraineté de l'Europe. Ainsi, tous les projets incluant les énergies fossiles se trouvent maintenant exclus. De plus, avec le *Green New Deal* européen de 2022, plus de 50 % des projets soutenus financièrement doivent être à impact positif, c'est-à-dire, permettre un effet levier dans d'autres domaines ou secteurs d'activités. Cette approche permet d'évaluer les projets avec un regard plus qualitatif en prenant en compte systématiquement les externalités comme la création d'emploi, l'impact sur la biodiversité, la réduction de la pression sur l'environnement, etc. Ainsi, les projets de routes ou d'aéroports se trouvent exclus des projets financés. La question de la soutenabilité des projets est maintenant systématiquement prise en compte. Pour recevoir une aide financière de la BEI, les projets doivent être vivables, fiables et équitables.

4.3. Exemples de rénovations soutenues localement en France

Si la BEI ne finance pas la promotion immobilière en direct, elle participe au financement de la rénovation urbaine de collectivités territoriales pour des projets à partir de 80 – 100 millions d'euros, ou par l'intermédiaire de la banque des territoires. La rénovation de logements sociaux peut être accompagnée par l'intermédiaire de la banque des dépôts (filiale CDC Habitat avec 1 milliard de projets en cours). La transition énergétique peut également être accompagnée, notamment dans le cadre d'écoquartier (exemple du quartier Flaubert à Rouen). De plus, en complément de ces dispositifs, la BEI accompagne des sociétés de tiers financement (STF) permettant de mettre en place des ingénieries financières intégrant les économies réalisées par les porteurs de projets dans le programme de remboursement. Ainsi, la solvabilité des porteurs de projets est améliorée et offre des possibilités plus importantes de rénovation comme l'exemple des Corons dans les Hauts-de-France.

Le cas de la rénovation massive des maisons des corons dans le Nord de la France illustre la manière dont les aides européennes de financement portées par la BEI peuvent servir de levier pour des montages financiers spécifiques. Dans le territoire de Dechy, la rénovation des corons a été portée par la STF Maison et Cité de CDC Habitat.

Les corons sont une des premières formes de l'habitat minier construit entre 1820 et 1890. Regroupés sous forme de cités, ils constituent un patrimoine caractéristique de la région des Hauts-de-France, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2012. Dans ce projet, la rénovation des enveloppes bâties intègre la transition énergétique et le réaménagement des espaces de vie, tout en préservant les caractéristiques patrimoniales.

Le système de STF a pu accompagner des personnes en situation de grande précarité pour réaliser les travaux avec des restes à charge très faible et permettant un gain de confort, ainsi que la valorisation du bien immobilier. Ainsi, une habitante de ces corons ayant bénéficié de cet accompagnement a témoigné : « c'est la première fois que l'Europe vient à moi ». La BEI, en aidant des collectivités locales par l'intermédiaire de structures tierces, permet aux résidents les plus précaires d'être accompagnés.

4.4. Des services d'accompagnement en complément des financements

La BEI ne finance jamais un projet dans sa totalité, le plus souvent à 1/3, au maximum de la moitié. Cependant, par son aide, elle donne une garantie de fiabilité et d'engagement sur les enjeux de transition et de lutte contre le changement climatique. Elle constitue un effet levier pour obtenir des aides complémentaires d'autres organismes de financement. Aussi, les projets financés par la BEI demandent des fonds importants, entre 90 M€ pour le secteur public et 20 M€ pour des start-ups. Les porteurs de projets ont des besoins d'accompagnement et de conseil pour les montages de dossiers. Aussi, les missions du financeur se diversifient en prenant en compte des externalités, il est ainsi possible d'accompagner des projets hors communauté européenne.

INVESTMENT SUPPORTED

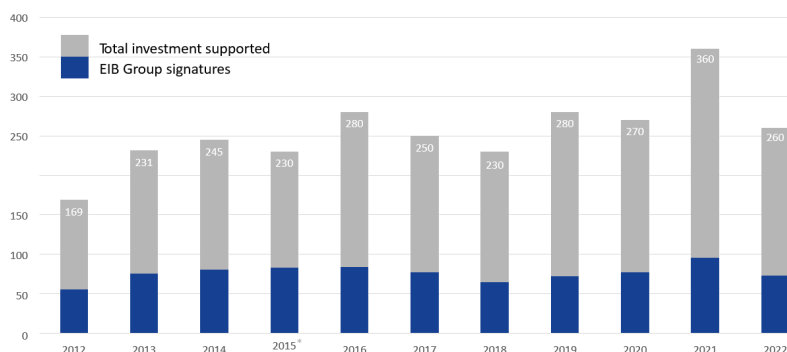


Figure 12. © Grégoire Chauvière Le Drian, 2023.

À travers la BEI, l'Europe est équipée d'un outil financier à fort pouvoir de décision sur l'utilisation de fonds mutualisés. En orientant les investissements sur des projets à fort impact, ce dispositif financier peut contribuer activement à la lutte contre le changement climatique. Dans le secteur de l'agriculture, des projets émergent et reflètent la puissance que peuvent permettre de tels dispositifs. Dans le secteur du bâtiment, le nombre important d'acteurs, la diversité des réglementations et la complexité des normes rendent très complexe la définition de projet à fort impact, avec un effet de levier rapide et massif. La finance est un atout, mais elle doit être combinée avec la R&D, l'intelligence collective et la synergie des acteurs, professionnels comme usagers.

5. Des politiques institutionnelles comme cadre de référence

L'avenir de notre civilisation dépend d'une planète en bonne santé. Partout, nous observons des changements climatiques ayant un impact fort sur notre mode d'occupation et d'exploitation des sols, mais également, sur les coûts financiers liés à ces catastrophes.

5.1. Enjeux d'équilibre entre global et local

C'est pour cela que depuis bientôt deux décennies, nous entendons nos politiques parler de *Green New Deal* pour permettre de « renverser la vapeur » et limiter les impacts de l'activité humaine sur l'écosystème de notre planète.

Le *Green New Deal* ou Pacte vert, est un terme qui apparaît dans les années 2000 notamment dans les discours des partis politiques écologiques. C'est le nom donné à des projets globaux d'investissements permettant la promotion des énergies vertes et décarbonées. Il permet également de promouvoir des investissements ayant des retombées dans le domaine de la santé, de l'emploi, de la sécurité, etc.

5.2. La vision européenne du Pacte vert

Ce Pacte vert européen a été rendu public le 11 décembre 2019 par la Commission européenne puis s'en est suivi de l'adoption du paquet législatif « ajustement à l'objectif 55 », le 14 juillet 2021, par l'ensemble des 27 membres de l'UE. Il ambitionne de faire de l'Europe le premier continent neutre en carbone d'ici 2050. Il permet d'uniformiser et d'augmenter les politiques communes en matière de lutte contre le réchauffement

climatique. Pour rappel, les objectifs fixés fin 2022 sont de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 50 % en 2030 par rapport à 1990 et totalement en 2050.

Selon Ursula von der Leyen, présidente de la Commission européenne, « ce Pacte vert européen équivalait au moment où nous avons marché sur la Lune [...] c'est le paquet climat le plus important jamais proposé par une entité politique dans le monde ».

Dans ce pacte, 6 objectifs majeurs sont définis. Ils constituent l'axe principal des actions à mener pour arriver à la neutralité carbone :

- l'arrêt des émissions nettes de gaz à effet de serre (GES) pour 2050 *via* la loi européenne sur le climat ;
- l'élaboration d'un droit climatique européen ;
- l'accompagnement des territoires dans la transition écologique ;
- la stratégie « de la ferme à la table », c'est-à-dire, l'orientation vers une économie propre et circulaire *via* une utilisation plus efficace des ressources ;
- des mesures d'ampleur (investissements, taxe carbone aux frontières de l'UE, *etc.*), ainsi que la restauration et la protection de la biodiversité (air pur, eau propre et des sols sains) ;
- la création d'une société équitable, compétitive et prospère.

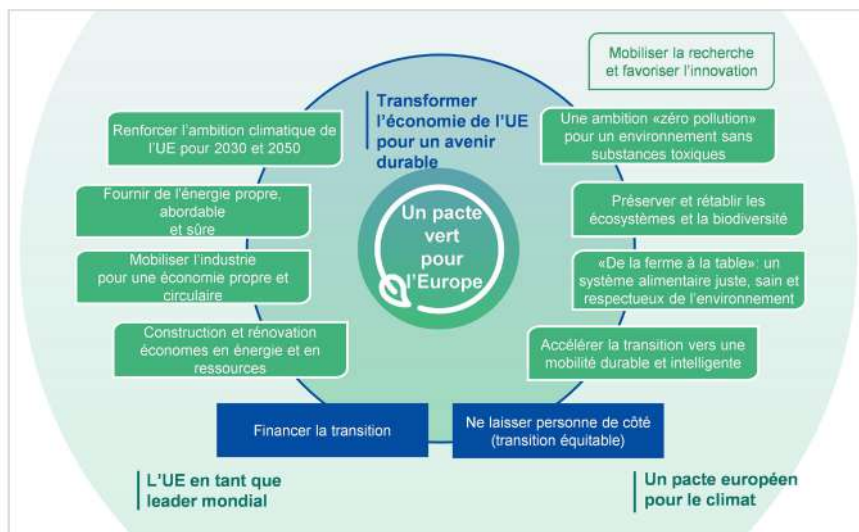


Figure 13. Pacte vert européen : les dates clés © Commission européenne, 2019.

Afin d'atteindre les objectifs fixés par ce pacte, l'Europe s'engage à financer 1 000 milliards d'euros d'investissement dans les économies et énergies durables au cours des 10 prochaines années.

Cette somme sera débloquée à hauteur de 30 % *via* le budget pluriannuel de l'UE ainsi que du plan *NextGenerationEU*, instrument mis en place pour se redresser après la pandémie de Covid-19.

5.3. La vision américaine de l'*Inflation Reduction Act (IRA)*

Depuis l'élection présidentielle du 20 janvier 2021, le président Biden relance les États-Unis dans la lutte contre le réchauffement climatique en annulant une majeure partie des 163 actes législatifs et réglementaires contre le climat de la précédente administration Trump.

Il met en place son plan d'investissement massif pour une économie verte en débloquant notamment 2 000 milliards de dollars sur 4 ans. Il a pour objectifs de baisser de 50 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 par rapport à 2005, et d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Il souhaite aussi préserver 30 % des terres et eaux fédérales d'ici 2030. Cet investissement massif pour une économie verte passe également par le financement de 1,5 million de nouveaux logements plus durables et éco-énergétiques. Évidemment, on ne peut pas enclencher ces réformes sans avoir une vision sociétale. C'est pour cela que Joe Biden souhaite flécher 40 % des 2 000 milliards à destination des populations les plus vulnérables.

Cette dynamique pour le climat a été renforcée l'été dernier par la loi *Inflation Reduction Act (IRA)* qui est un plan protectionniste pour le climat. Il y aura près de 400 milliards de dollars dédiés au financement de ces mesures pendant la prochaine décennie. Cette loi va notamment favoriser les entreprises américaines grâce aux crédits d'impôt lors de différents investissements dans les énergies vertes (éolien, solaire, hydrogène vert, séquestration du carbone, batteries, *etc.*). L'ensemble de ces crédits sera accessible à condition de promouvoir le « fait américain » en imposant aux constructeurs d'utiliser les ressources *made in USA*.

L'ensemble de ces mesures sera financé *via* la création d'un impôt minimum de 15 % sur les sociétés réalisant un bénéfice supérieur à 1 milliard de dollars.

L'inaction devant le changement n'est plus possible. Depuis plusieurs années, l'Europe et les États-Unis prennent des décisions afin d'agir en ce sens. Ces décisions auront un impact sur notre mode de vie, mais également, sur notre mode de construction futur.

L'investissement massif dans le développement des technologies (IoT, GTB, GTC, Monitoring, *etc.*) des bâtiments est une nécessité afin d'arriver à la neutralité carbone et de respecter les engagements pris lors de la COP21.

Néanmoins, cette course à l'innovation et au protectionnisme peut aller à l'encontre des principes de libre-échange qui régissent l'Organisation mondiale du Commerce (OMC). Cela risque de créer des flux de déplacement d'entreprises (par exemple de l'Europe vers les États-Unis) avec de forts impacts sur la vie sociale des pays n'ayant pas d'indépendance énergétique, mais également sur les matières premières (minerai, acier, *etc.*).

Selon Grégoire Chauvière Le Drian, l'IRA, par son côté trop protectionniste, pousse l'Europe à repenser sa stratégie de manière un peu moins collaborative. Une des réponses à l'IRA de l'Europe pourrait être la BEI, avec des ressources propres, notamment la taxe carbone aux frontières.

Conclusion : la construction et l'immobilier comme moteur de la finance durable

« Quand le bâtiment va, tout va ». Formule qui date du XIX^e siècle et que l'on doit à Martin Nadaud qui fut respectivement maçon, député puis préfet. Cette citation, au-delà d'avoir largement été éprouvée depuis son annonce, met en évidence la complexité d'un système qui se cache derrière un objet du quotidien.

Ainsi, relever le défi de la neutralité carbone du secteur du bâtiment en 2050 va nécessiter une transformation de l'ensemble des acteurs qui composent cette chaîne de production et d'exploitation. Le législateur, le concepteur, l'économiste, le financier, l'industriel, pour ne citer qu'eux, doivent prendre part à cette ambition en adaptant leur positionnement et leur manière de faire, car comme le disait Einstein, « on ne peut pas résoudre un problème avec le même mode de pensée que celui qui a généré le problème ».

Changer ses habitudes passe donc par un élargissement de l'intérêt et des compétences. L'intégration des démarches RSE et ESG dans l'organisation des sociétés est un début de réponse au problème posé. Ces démarches vont, d'une part, permettent d'orienter la sensibilité des collaborateurs à l'égard des nouveaux enjeux de développement durable et d'autre part vont susciter un intérêt nouveau auprès des autres acteurs qui interagissent avec ces nouveaux catalyseurs. Ainsi, les stratégies RSE et ESG vont, au fur et à mesure qu'elles seront déployées, dépasser les enjeux environnementaux et sociétaux. Ainsi, elles deviendront un champ d'exploration économique et, par conséquent, un véritable levier de financement durable qui participera de manière transverse et cohérente à toute la chaîne de décision des acteurs du secteur de l'immobilier.

Ces stratégies se présentent comme autant de marqueurs qui expriment et revendiquent une volonté de changement d'orientation stratégique des sociétés sur le long terme en matière de développement durable.

Penser à long terme, pérenniser une démarche et la rendre lisible, traçable : voilà de quoi rassurer les institutionnels et les investisseurs !

En effet, comme nous l'avons vu précédemment, la prise en compte d'une démarche de développement durable cohérente nécessite une approche globale du projet pour être efficace. Cela induit *de facto* des moyens financiers conséquents, qui devront répondre à la multiplication des cas de figure et à la diversité de champs d'exploration lorsque l'on associe au bâtiment les problématiques de production et de gestion de l'énergie.

Ces moyens financiers vont se traduire par un accompagnement financier séquencé à plusieurs échelles. L'échelle institutionnelle pour accompagner les orientations stratégiques européennes et/ou nationales et l'échelle locale pour garantir une diffusion généralisée.

La *European Investment Bank* qui est l'institution financière des États membres de l'Union Européenne, est l'exemple représentatif des moyens d'action développés pour agir dans des domaines supranationaux tels que le climat, l'environnement, le développement, la cohésion, l'innovation ou encore les compétences. Son rôle n'est pas de se substituer aux États, mais bien de les accompagner, les conseiller et les encourager dans une démarche de transition écologique. Son intérêt est général et non pécuniaire, ce qui lui permet, tout en se reposant sur les outils économiques et financiers actuels, de promouvoir une dynamique et de la sécuriser. Mais pour être éligibles et disposer de son accompagnement, les projets présentés doivent répondre à un certain nombre de critères extra-financiers qui justifient sa soutenabilité. Prêteur, facilitateur et gardien d'une stratégie durable, la BEI est plus que jamais nécessaire à l'atteinte de la décarbonation du secteur du bâtiment et l'atteinte d'une souveraineté énergétique qui passera par le déploiement généralisé des ENR.

À travers le financement durable du secteur du bâtiment, il s'agit de déplacer les équilibres économiques qui reposaient jusqu'alors principalement sur une stratégie carbonée, pour les transférer massivement vers une stratégie durable, sobre et efficace. Pour ce faire, cette nouvelle orientation doit être largement diffusée auprès de l'ensemble des acteurs concernés. En effet, ce qui est vrai pour une nation ou une entreprise l'est également pour un individu en matière de développement durable.

Les collectivités et les banques qui bénéficient d'un rapport de proximité privilégié avec les consommateurs du quotidien ont pleinement leur rôle à jouer. Elles doivent profiter des dynamiques institutionnelles pour les relayer et proposer un ensemble de dispositifs qui inciteraient à inscrire tout projet immobilier dans une démarche vertueuse et responsable. Le propriétaire ainsi éclairé et considéré s'auto-

rise à s'engager dans une démarche globale et durable. Il pourra y trouver un intérêt sous couvert d'une incitation financière, ce qui bénéficiera à l'ambition recherchée de décarbonation du secteur du bâtiment quand bien même sa première intention ne serait pas foncièrement environnementale. La répétition et la multiplication de ces engagements ainsi encouragés permettront de pérenniser la démarche recherchée. La réussite des objectifs qui nous sont fixés passera par une réorganisation systémique où chaque acteur doit jouer son propre rôle.

Introduction

The latest regulatory developments are prompting the real estate sector to question its ability to embrace sustainable development.

While the year 2022 saw the advent of the *Règlementation environnementale 2020* (environmental regulation — RE2020) and the implementation of the tertiary sector decree, the year 2023, with the Climate and Energy Law, is fast becoming a key moment in our determination to change our relationship with the built environment. Understanding the impact of these laws on the act of building is leading industry professionals to take a fresh look at their business.

Where previously, environmental initiatives were seen through the prism of improving energy consumption, the new regulations will broaden the environmental vision, enabling the real estate sector to adopt a sustainable development approach.

As Anthony Briant explains, taking into account the low-carbon approach means thinking in terms of a timeframe that goes beyond the act of building, and is part of a long-term analysis. We need to talk about the carbon footprint, which represents almost 60% of a newly delivered building.

But the analysis has only just begun, as 40% of the footprint remains to be defined. This will be reflected in the consumption linked to the life and operation of the building. And we can imagine that this 40% may generate a greater or lesser impact over the long term, depending on the strategic programmatic orientations adopted at the design stage.

The new challenges therefore require us to integrate a new way of designing buildings (reuse, low-carbon materials, local, from the circular economy or renewable resources, waste management, biodiversity, off-site construction), but also to imagine how they can be used to put an end to our dependence on fossil fuels, while guaranteeing the comfort necessary for acceptance of this new approach.

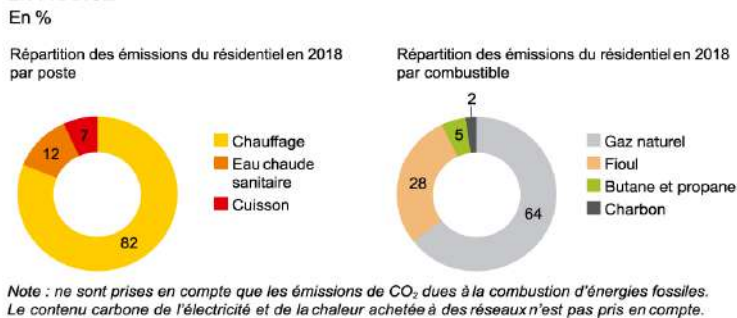


Figure 1. Breakdown of CO₂ emissions from residential buildings in France

© Ministère de la Transition énergétique, 2022, p. 57

Of course, every innovation has a cost. It is therefore necessary to ensure that the financing of these new approaches is reliable and sustainable if they are to be successful in the long term.

However, the society in which we live is not naturally going to look kindly on the need to modify an investment that it qualifies as a "real estate product", all the more so if it is to be appreciated over the long term, where the return on investment is expected from the end of construction at the latest. In a financial world that has developed nanosecond speculation, this is not natural!

Given these conditions, what economic fields should the building sector explore in order to sow the seeds of sustainability that will give rise to sustainable finance?

1. Taking stock of the building sector

1.1. *Where does the building sector stand in terms of GHG emissions?*

The 2017 climate plan set an ambitious but precise target for France by 2050: to achieve carbon neutrality. The *Stratégie Nationale Bas-Carbone* (National low-carbon strategy — SNBC) has set targets for achieving this in the various sectors that generate the most greenhouse gases, such as transport, energy and construction.

But setting targets is one thing, achieving them is quite another. This is made all the more difficult when the very definition of the sectors is complex, or even unclear. The building sector is a case in point, with numerous studies unable to agree on a single, indisputable value for its contribution to greenhouse gas emissions in Europe or France. This is due to the complexity of the sector, with its many players and parameters to be correlated across different units of time and place. However, we can agree on one reality: the urgency of climate change, and the resources that need to be deployed massively and globally to achieve carbon neutrality by 2050.

To put the issues and the impact of the building sector on the environment into perspective, it accounts for around a third of GHG emissions and 40% of energy consumption per year in Europe and France.

To precisely identify the levers of action available to professionals in the sector, we need to consider two scenarios: new construction and renovation.

1.2. *The new-build situation*

The carbon footprint of a new building with a 50-year lifecycle can be assessed according to four main items, shown in the graph below:

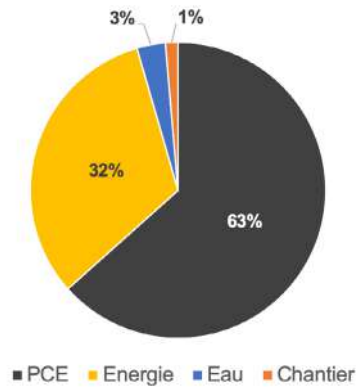


Figure 2. Impact of each contributor on the carbon footprint © Build Green, 2019.

We can see that 95% of the carbon footprint comes from the products needed for construction and equipment, along with energy. To illustrate this impact, 1m² built emits an average of 1.35 TCO₂ over its lifecycle.

An analysis of this data shows that the carbon footprint of a new building is mainly generated by the construction materials and equipment it contains. The upstream construction chain (programmers, designers, manufacturers, etc.) will therefore need to take on board this structuring dimension, and propose projects that call for lower-carbon construction methods. This aspect is now intrinsic to the design of a new building, with the implementation of the RE2020 since 2022.

However, a new building, which by definition is linked to an environment and uses, cannot be summed up in an "ideal" design that takes into account only its carbon performance at the time of construction. In fact, the energy issue invites us to look beyond the instantaneous delivery of a new building, and consider it more broadly as part of a lifecycle. Buildings must be designed and thought through in terms of the interaction between all their component parts and their ability to support the building's energy performance.

For example, in some cases, it may be appropriate to opt for a mixed wood/concrete low-carbon structural solution to make use of the latter's inertial qualities, which enable it to store the day's internal calories and release them in the evening. We can understand that, depending on the situation, a solution that is more carbon-intensive at one point in time could become a solution that is more economical in terms of heating or cooling, and therefore energy, in the operating phase.

The temporal dimension of a building's life cycle must become a major component in the design of future new buildings for a low-carbon society.

But, as Dominique Naert points out, the first lever for acting on carbon optimization in new construction is to question the very need to build new. We need to ask ourselves what we really need in terms of new building space.

This sobriety approach has become a necessity, and has raised collective awareness, because in our societies we currently have more housing than we need per inhabitant, and we are currently building at a pace that is setting itself up for the future.

Indice base 100 en 1990

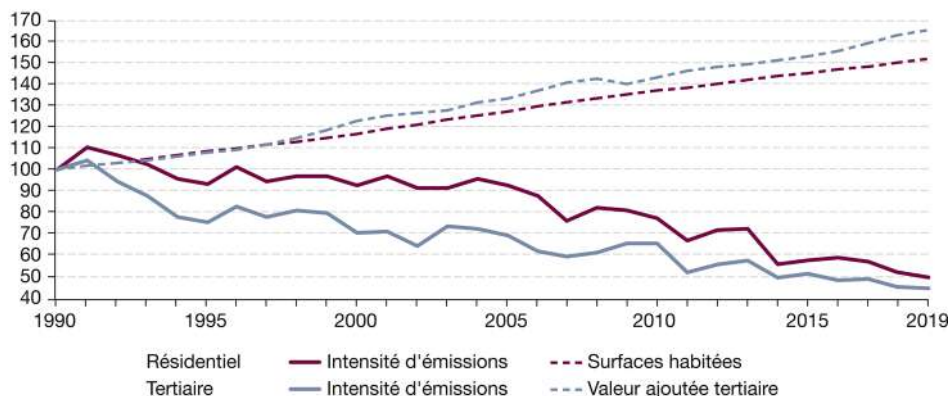


Figure 3. CO₂ emissions intensity of the residential and tertiary sectors in France

© Ministère de la Transition énergétique, 2022, op. cit., p. 57.

This is compounded by the fact that, despite the efficiency of our equipment in terms of energy consumption, the building sector's energy bill is falling only slightly. In fact, the m²/capita surface area has increased steadily in recent years, mechanically limiting the efforts made in terms of energy efficiency.

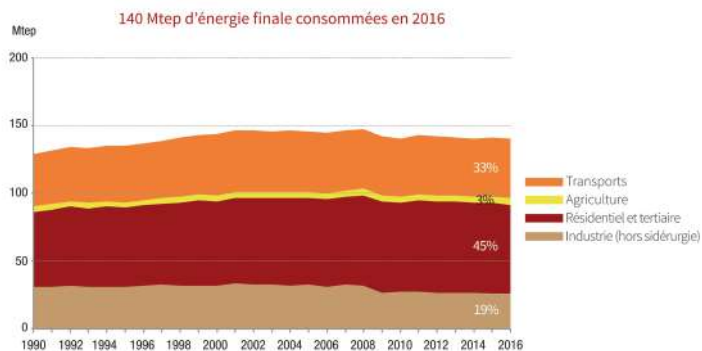


Figure 4. Final energy consumption by sector (excluding energy and non-energy uses) © ADEME, 2018, p. 50.

New buildings must therefore be assessed on the basis of their real needs, as part of an approach that takes into account their necessary adaptations and evolutions throughout their life cycle.

1.3. The importance of renovation

To achieve carbon neutrality, the SNBC has set very ambitious targets. It calls for comprehensive, high-performance renovation of 370,000 homes a year until 2030. This number should then rise to 700,000 homes a year by 2050 for France (Dugast, Daunay, 2019). For the European Union, the figures appear astronomical, with a target of around 160 to 170 million homes to be renovated, or around 6 million a year.

Achieving this target means that half of France's housing stock of around 36 million homes would have to be efficiently renovated to achieve an A or B rating, according to the latest DPE criteria. At present, homes meeting these criteria represent around 5% of the housing stock, or some 1.8 million units.

Achieving these ambitious targets will require a sustained pace, backed by a consolidated and dynamic economic environment. Renovating 700,000 homes a year represents an investment of around €25 billion (excluding VAT), or around 1% of French GDP. Governments, aware of the stakes involved, have been stepping up their efforts over the past few years, with an increasing number of aid and support schemes. To cite just one example, the *MaPrimeRénov'* scheme introduced by the French government in 2020 has been well received by homeowners, with just under 700,000 applications processed through the scheme by 2022.

But what does this number of dossiers mean in terms of energy efficiency, *i.e.*, comprehensive renovation as recommended by the SNBC to achieve decarbonization of the building sector by 2050 ?

It would appear that, of all the dossiers submitted, only 10% were for comprehensive renovations involving several simultaneous fields of action, such as the building envelope and heating replacement. And of these renovations, only 20% met the SNBC's criteria, *i.e.*, 2% of the 700,000 homes that benefited from the *MaPrimeRénov'* (Le Fustec, 2023) scheme.

The ambition announced by the SNBC has therefore not been achieved at this stage, because at this rate the carbon neutrality of the building sector would be reached in 1,200 years.

Nevertheless, we do note a momentum that seems necessary, if not effective, and that we will need to consolidate to make it work. In order to succeed in their quest for carbon neutrality, renovation stakeholders (owners, developers, park managers, local authorities, manufacturers, *etc.*) need to be supported politically, economically and socially.

Achieving ambitious targets will require the real estate sector to work together to build a comprehensive approach that includes regulatory tools, appropriate and controlled financial assistance, skills development for all players in the sector, and continued R&D by manufacturers.

2. Companies' approach to sustainability

2.1. *A stimulating regulatory environment*

The building sector is experiencing a positive dynamic in terms of the creation and deployment of new regulatory frameworks. In particular, in 2022, the RE2020 was implemented, with the aim of decarbonizing new building construction. In the same year, the tertiary sector decree began to restrict the construction of new tertiary buildings, requiring the installation of high-performance equipment and the implementation of active management and control systems.

In 2023, the Energy-Climate Act will come into force, enabling the phase-out of fossil fuels and the development of renewable energies, as well as putting an end to "thermal flats" by progressively banning the rental of housing according to its energy rating.

2.2. *Definition of CSR strategy*

Today's companies are increasingly adopting the Corporate Social Responsibility (CSR) approach. This principle was defined by the European Commission in 2011 as "the responsibility of companies for the effects they have on society" (MEFSIN, 2022). It refers to the contribution of companies to the challenges of sustainable development. It is defined by ISO 26000, an international standard, around seven central themes: organizational governance, human rights, labor relations and working conditions, the environment, fair practices, consumer issues, and communities and local development. Nexity, France's leading property developer, is active in all these areas. Marjolaine Grisard, the Group's CSR Director, gave us a few examples: reducing our carbon footprint, preserving resources by promoting the circular economy, improving access to housing for all by promoting inclusion and equal opportunities, and open and responsible governance.

CSR is playing an increasingly important role within organizations, and has even become strategic. Nexity, for example, has adopted a new strategic plan for 2026, with the ambition of making cities more sustainable and moving towards a global real estate operator model. Conflict with the "business" side of the equation is set to fade,

giving way to collaborative work between the two sides. The company will seek to be both socially responsible and economically viable.



Figure 5. Nexity's CSR policy © Marjolaine Grisard, 2023.

This new corporate policy must be a long-term one, combining the structure's economic sustainability with its positive action for the common good, via CSR. Currently, the low-carbon approach is front and center, thanks to the recent implementation of the 2020 environmental regulations applying to new construction. In response, Nexity is trying to "avoid a ton of carbon at a neutral cost", explains Marjolaine Grisard. In other words, structures committed to a CSR approach try to reduce carbon emissions without losing sales and/or earnings.

Carbon footprints can be used to calculate the quantities emitted during a construction project, for example. They are established under the notion of scope 1, 2 and 3 (Ayoun, 2023). Scope 1 covers greenhouse gases emitted directly by the company, while scope 2 covers those emitted indirectly and linked to the energy used in product production processes. Finally, scope 3 covers indirect emissions, such as purchases of goods, services, etc., which currently account for the majority of the company's greenhouse gas emissions.

2.3. A non-financial dynamic

Major players in the building industry are forging partnerships or pooling their efforts. For example, Nexity is a partner in the BIG (Biodiversity Impulsion Group) applied research and collective action program⁵. Its aim is to integrate biodiversity issues into the design and management of real estate projects in France.

5 • <https://biodiversity-impulsion-group.fr/en/home/>.

By signing a "Green Deal", players can set themselves objectives in terms of ecological transition, through employee training or the implementation of ambitious energy renovation projects. Nexity signed its first Green Deal with the *Plan Bâtiment Durable* in 2018, followed by a second Green Deal in 2022 with the *Plan Bâtiment Durable* and the French Ministry of Ecological Transition⁶.

2.4. Specific economic and financial tools

French companies (promoters, developers, builders or other players) or French administrative structures such as local authorities have financial resources at their disposal that enable them to act in favor of sustainable development.

The first lever is Green Bonds (Cuny, 2017).



Figure 6. What is a green bond?

© Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires/Ministère de la Transition énergétique, 2021

Their interest lies in borrowing on the financial market from investors in order to finance projects in favor of the ecological transition. Marjolaine Grisard reminds us that in 2019, Nexity carried out its first green bond issue for an amount of 240 million euros, in order to align the financing of its real estate projects with its CSR objectives. The interest of this, and its difference with conventional bonds, lie in the transparency of the projects financed. Indeed, an extra-financial report has been compulsorily issued by management companies since the Energy Transition Act of August 17, 2015. This explains how ESG (Environmental, Social and Governance) criteria are taken into

⁶ • <https://pressroom.nexity.fr/actualites/foncia-nexity-et-le-plan-batiment-durable-sengagent-pour-la-renovation-energetique-des-logements-privés-3dbf-6731a.html>.

account when management companies select the stocks included in the funds they offer.

ESG criteria have been around since the 2015 Paris Climate Agreement and the United Nations' climate objectives.



Figure 7. ESG criteria definition © Mon épargne et moi, 2021

There are 19 of them, including CO₂ emissions, waste recycling, employment of disabled people, employee training, the fight against corruption and the number of women on boards of directors. Companies' extra-financial performance on these criteria is then recognized by independent third parties, providing a factual overview of their impact in this area. Nexity, for example, is rated AA by MSCI, placing it in the top 15% of companies in its sector, or C by ISS ESG, corresponding to the top 20% of companies.

A label can be obtained to make these green bond issues visible. This is the SRI (Socially Responsible Investment)⁷ label. The label is awarded by independent bodies, providing proof of responsible investment.

A second lever is to have a corporate credit⁸ line aligned with key performance indicators (KPIs) for CSR commitment. This credit is unique in that it can be used by the company as it sees fit. In fact, it is a fund granted by a bank, and the company is reimbursed out of its cash flow, without taking out any particular guarantee.

A third lever concerns the European taxonomy of sustainable activities. The European taxonomy (Gouvernement, 2022) is a classification of economic activities that have a positive impact on the environment, in order to steer investments towards "green" activities. For companies, it enables them to demonstrate their involvement in the ecological transition, to plan and raise funds with sustainable investments, and to

7 • <https://www.llelabelisr.fr/>.

8 • <https://www.boursedescredits.com/lexique-definition-credit-corporate-1325.php>.

avoid unintentional greenwashing. In particular, Nexity will be using it for its building construction activities, and for its customers, in building sales/acquisitions.

Another lever, more economic than financial, is available to major players in the building sector with substantial financial resources. This involves economies of scale. The purchase or production of large quantities of materials, products or equipment that are more expensive than the "standard" on the market enables them to reduce costs and offer them to their customers at an acceptable price. At Nexity, this work is carried out by the company's purchasing departments in partnership with their suppliers, and helps to absorb cost increases, explains Marjolaine Grisard.

3. Supporting households through financial engineering

Investment in climate protection currently relies on three main sectors: transport, buildings and energy production. The building sector alone consumes almost 40% of Europe's energy, making it the largest consumer. Rapid, comprehensive and effective action must be taken to curb these drifts in energy consumption, which remain a real obstacle to achieving decarbonization of the sector by 2050.

En milliards d'euros courants

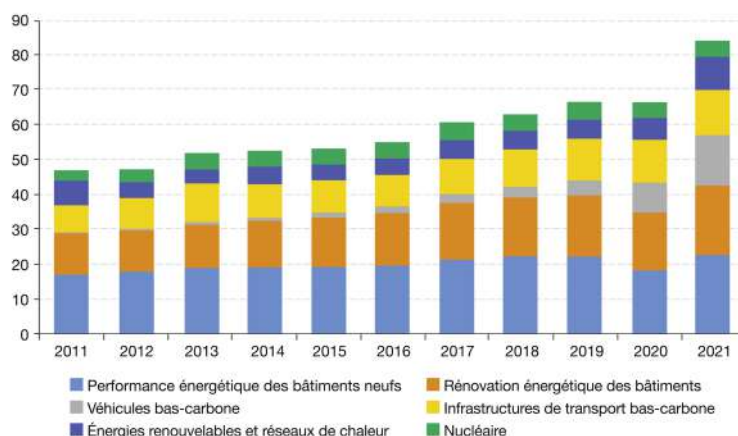


Figure 8. Climate investments in France © Ministère de la Transition énergétique, 2022, op. cit., p. 90.

The urgency of the situation calls for a profound reorganization of the sector, particularly from a financial point of view, since any new investment generates costs that

have to be borne. Business models and habits need to evolve and reinvent themselves to best meet the challenge of the energy transition.

This lever is essential but complex, as it involves all players in the building sector, whether professionals, institutions, manufacturers or, above all, private owners. Specific and adapted financial tools need to be invented to generate motivation, as it has to be said that the envisaged dynamic has not yet found its rhythm, with only 9% of the building stock renovated each year at European level.

3.1. Massification of renovation through a European loan

Financing renovation projects is often a challenge for private homeowners, especially those on low incomes. But support schemes already exist, such as the EU Renovation Loan, which helps fill the loan gap for European homeowners who do not have access to low-cost mortgage finance, as presented by Peter Sweatman at his conference. This financing is provided on a zero coupon basis with repayment of the principal loan capped at the value of the home in question and interest incurred at EU borrowing costs (2.3% today). This bond makes it possible to plan a project for the long term, as it is a bond for which the holder will not be paid interest (coupons) for the entire life of the loan. Interest is capitalized, instead of being distributed as and when required. It is paid in full at the earliest of transfer, sale or 30-year maturity.

The EU renovation loan, backed by central bank liquidity, thus offers all property owners fair and equal access to long-term financing for the in-depth rehabilitation of their properties. In concrete terms, it offers the possibility of capitalizing on the cost savings generated by the quality of the renovation to finance the long-term loan. This approach, which involves extra-financial issues, falls fully within the scope of the European taxonomy.

The latter is a regulatory framework that has been put in place to help determine which investments can be considered environmentally sustainable. It aims to encourage investment in economic activities that contribute to the transition to a carbon-neutral economy. Its framework is based on six environmental objectives: climate change, adaptation to climate change, sustainable use and protection of water and marine resources, transition to a circular economy, prevention and reduction of pollution, and protection and restoration of biodiversity and ecosystems. Homeowners wishing to renovate their properties can use the EU renovation loan to finance projects such as installing solar panels, insulating walls or attics, replacing windows, upgrading heating systems or ventilation. These projects are in line with the EU's environmental objectives, and contribute to the European carbon neutrality plan.

3.2. A heterogeneous European building landscape

The mobilization of European funds to finance the carbon transition in the building sector needs to be legitimized on the basis of an analysis of the existing housing stock, which is complex and disparate from one member state to another. Today, there are around 170 million homes in Europe, 80% of which are concentrated in five countries (Germany, France, Italy, the UK and Spain). 70% of these dwellings are privately owned, leading to a variety of uses. Some are owner-occupied, others are rental investments, and still others represent a significant proportion of second homes (as many as one in ten in France!). These different profiles provide a wealth of opportunities for effective renovation projects, which are essential if Europe is to reduce its energy consumption.

Indeed, how can we make these players aware of the need for a long-term investment, when they are either preoccupied with managing their day-to-day lives, or are led to believe that it doesn't concern them?

For example, Peter Sweatman reports that 44% of homeowners do not see major refurbishment as a priority, while 44% see no need for it. These figures reveal the lack of support available to homeowners to help them understand what is at stake in a low-carbon energy transition, and the financial resources they may have at their disposal to achieve it. European homeowners represent a major, structuring player in the desired energy transition. They have to be given the support they need to meet the challenges and ambitions of Europe as a whole, so that they can implement and sustain a comprehensive and effective renovation project to achieve carbon neutrality by 2050.

3.3. Creating local value

Achieving carbon neutrality requires the mobilization of substantial sums of money. According to Peter Sweatman, it is estimated that an investment of €235 billion/year would be required from 35 million European homeowners to initiate a sustainable energy transition in the building sector. Investing such a sum would unlock an estimated €25 billion return on investment to make a fund that can be deployed in new renovations, or invested in other possible fields. The scale of the task is such that it needs to be organized around a support network to reach all the homeowners concerned. This project needs to count on the participation of banks, which act as local interfaces between the customer, the energy renovation project and the borrowing structure. To carry out this necessary step, European banks will have to structure themselves by training 350,000 managers to provide the best possible support for renovation projects (bearing in mind that each of these managers handles an average of 10 cases a year).

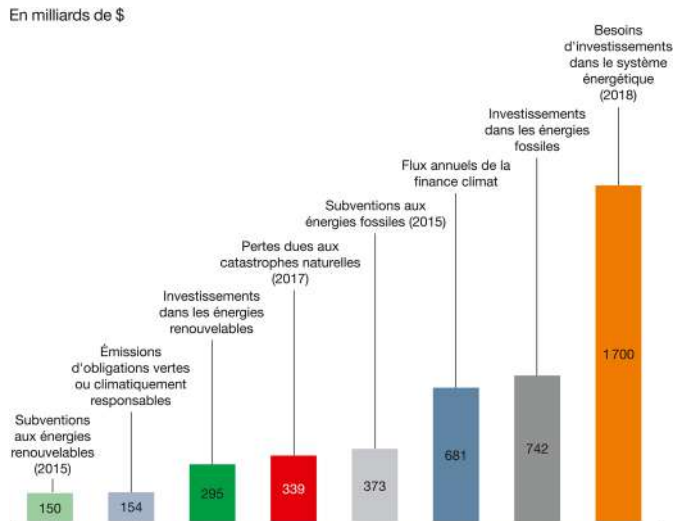


Figure 9. Comparison of annual climate finance flows with other key financial flows

© Ministère de la Transition énergétique, 2022, *ibid.*, p. 76.

To be interested, homeowners need to be made aware and informed of the support options available to them. European governments and their institutions have a vital role to play in supporting change to ensure the success of a low-carbon building sector in 2050.

In France alone, energy renovation incentive schemes such as *MaPrime Rénov'*, *Sérénité* and *Coup de pouce chauffage* are well known to industry professionals, but still too little known to the general public. What is more, they do not provide enough incentive to carry out comprehensive home renovations, which is the key to decarbonizing the sector. Indeed, in most cases, they are only used to finance individual renovations.

In conclusion, the European Energy Renovation Loan has made considerable progress in recent years. This program, launched by the European Commission in 2014, aims to encourage investment in energy renovation of residential and commercial buildings by offering advantageous financing and favorable terms to borrowers. It has helped boost the financial sector at European level by encouraging member states to establish national programs like those mentioned for the case of France. European Renovation Loan funds have also been used to finance large-scale energy renovation projects, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions and the transition to a greener, more sustainable economy.

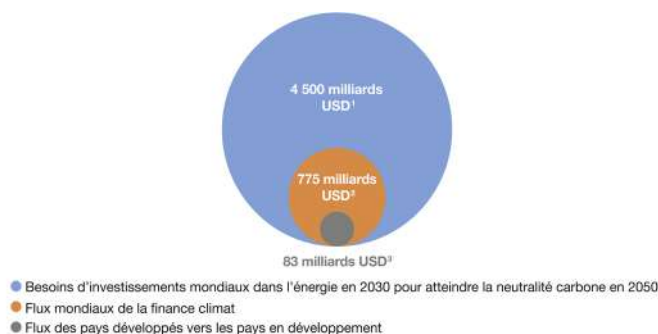


Figure 10. Annual flows of climate finance in relation to global needs

© Ministère de la Transition énergétique, 2022, *ibid.*, p. 75.

To be fully effective, this effort now needs to be supported by governments and the financial sector, which has a privileged relationship with the general public. This sector has a role to play in providing homeowners with new services offering all the benefits of energy-efficient building renovation across Europe.

4. The scale of international financing to support massification

Since 1957 (Treaty of Rome), Europe has had a banking institution to support activities within the European community: the European Investment Bank, known as the EIB. Its primary mission is to finance the energy transition and the fight against climate change. Governance is 100% public, with a Board of Directors made up of representatives of the Finance Ministries of the 27 member states. Each state is a shareholder from the moment it joins the European Union, and contributes by paying in a fund corresponding to a proportion of its GDP.

THE BANK'S SHAREHOLDERS



Figure 11. The EIB's shareholders © Grégoire Chauvière Le Drian, 2023.

4.1. A European commitment to impact projects

This structure, which makes it possible to obtain funds on advantageous terms, supports economic activities on a European, and even international, scale. It enables diversified impact projects to be financed, while sharing the risks with project owners. Its ambition is to finance the environmental transition, without using taxpayers' money and without making a profit. In France, for example, the EIB finances 10 billion euros' worth of positive-impact projects every year.

The four main activities financed by the EIB are: the fight against climate change, infrastructure, SME financing *via* traditional banks, and R&D - Innovation. The aim is to support projects with a positive impact, enabling the private sector to support European public policy priorities. The EIB relies on a network of local commercial banks to distribute its funds.

In the construction sector, energy transition and renovation of the building stock are the top priorities as cross-cutting issues. As a result, a large proportion of the financial aid released by the EIB is aimed at supporting decarbonization. As Grégoire Chauvière Le Drian, Director of the EIB in France, explains, his institution is "a virtuous bank, which costs taxpayers nothing, because the EIB raises all the resources it allocates to beneficiaries on the market, so there are no budget transfers from member states to the EIB. On the contrary, it issues 70 billion euros on the markets thanks to its AAA rating, at a relatively competitive rate, and then lends this money without any commercial margin". The EIB is the world's largest public bank, with 600 billion in assets under management by 2023. As such, the EIB is often referred to as the "European Climate Bank", or even as the "Energy Transition Bank".

4.2. Towards European sovereignty: energy, healthcare, industry...

Since 2019, the EIB's strategic orientations have been increasingly focused on supporting economic activities that contribute to European sovereignty. As a result, all projects involving fossil fuels are now excluded. What is more, under the European Green New Deal of 2022, more than 50% of the projects financed must have a positive impact, *i.e.*, leverage other areas or sectors of activity. This approach makes it possible to assess projects from a more qualitative standpoint, systematically taking into account externalities such as job creation, impact on biodiversity, reduction of pressure on the environment, *etc.* Road and airport projects are thus excluded from funded projects. Project sustainability is now systematically taken into account. To receive EIB funding, projects must be viable, reliable and equitable.

4.3. Examples of locally-supported renovations in France

Although the EIB does not finance property development directly, it does participate in financing urban renewal projects for local authorities, for projects costing between €80 and €100 million, or through the Banque des Territoires. Renovation of social housing can be supported through the Banque des Dépôts (CDC Habitat subsidiary, with 1 billion euros' worth of projects underway). Energy transition can also be supported, particularly in the context of eco-neighborhoods (e.g., the Flaubert district in Rouen). In addition to these schemes, the EIB supports the third-party financing companies (STF), which provide financial engineering services that include the savings made by project sponsors in the repayment program. In this way, the solvency of project owners is improved, opening up greater possibilities for renovation, as in the case of the *Corons* in the Hauts-de-France region.

The case of the massive renovation of the *Corons* houses in northern France illustrates how European financing aids provided by the EIB can be used to leverage specific financial packages. In the Dechy area, the renovation of the *Corons* was carried out by CDC Habitat's STF Maison et Cité.

Corons are one of the earliest forms of mining housing, built between 1820 and 1890. Grouped together in the form of housing estates, they are a characteristic feature of the Hauts-de-France region, and have been a UNESCO World Heritage Site since 2012. In this project, the renovation of the building envelopes integrates the energy transition and the redevelopment of living spaces, while preserving the heritage features.

The STF system has been able to support people in very precarious situations in carrying out the work, with very low outgoings, enabling them to improve their comfort and enhance the value of their property. A resident of the *Corons* who benefited from this support said: "This is the first time Europe has come to me". By helping local authorities through third-party structures, the EIB enables the most precarious residents to receive support.

4.4. Support services to complement financing

ElBank never finances a project in its entirety — usually only 1/3, at most half. However, through its support, it provides a guarantee of reliability and commitment to the challenges of transition and the fight against climate change. It also acts as a lever for obtaining additional aid from other funding bodies. Elbank-funded projects also require substantial funding, ranging from €90 million for the public sector to €20 million for start-ups. Project leaders need support and advice to put their projects together. As a result, Elbank's missions are diversifying, taking externalities into account, and it is now possible to support projects outside the European community.

INVESTMENT SUPPORTED

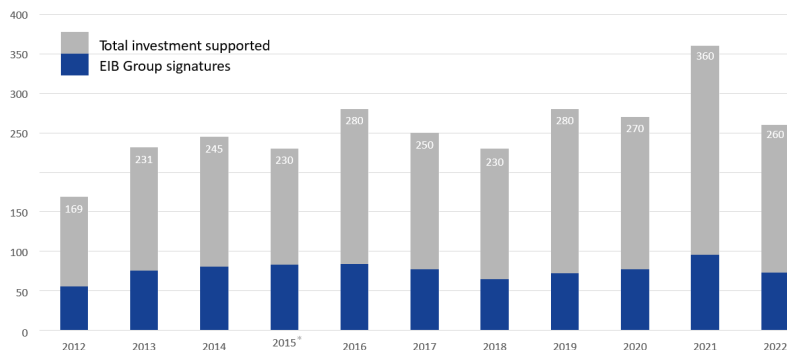


Figure 12. © Grégoire Chauvière Le Drian, 2023.

Through Elbank, Europe is equipped with a financial tool that has strong decision-making power over the use of pooled funds. By directing investments towards high-impact projects, this financial mechanism can make an active contribution to the fight against climate change. In the agricultural sector, a number of projects are emerging that reflect the power of such schemes. In the building sector, the large number of players, the diversity of regulations and the complexity of standards make it extremely complex to define high-impact projects with a rapid and massive leverage effect. Finance is an asset, but it needs to be combined with R&D, collective intelligence and the synergy of players, professionals and users alike.

5. Institutional policies as a frame of reference

The future of our civilization depends on a healthy planet. Everywhere on the planet, we are observing climate change, which is having a strong impact not only on the way we occupy and use land, but also on the financial costs associated with these disasters.

5.1. Balancing global and local issues

That is why, for almost two decades now, we have been hearing our politicians talk about a Green New Deal to help “turn the tide” and limit the impact of human activity on our planet’s ecosystem.

The Green New Deal is a term that appeared in the 2000s, particularly in the speeches of ecological political parties. It is the name given to global investment projects that promote green, low-carbon energies. It can also be used to promote investments with spin-offs in the fields of health, employment, security, *etc.*

5.2. The European vision of the Green Pact

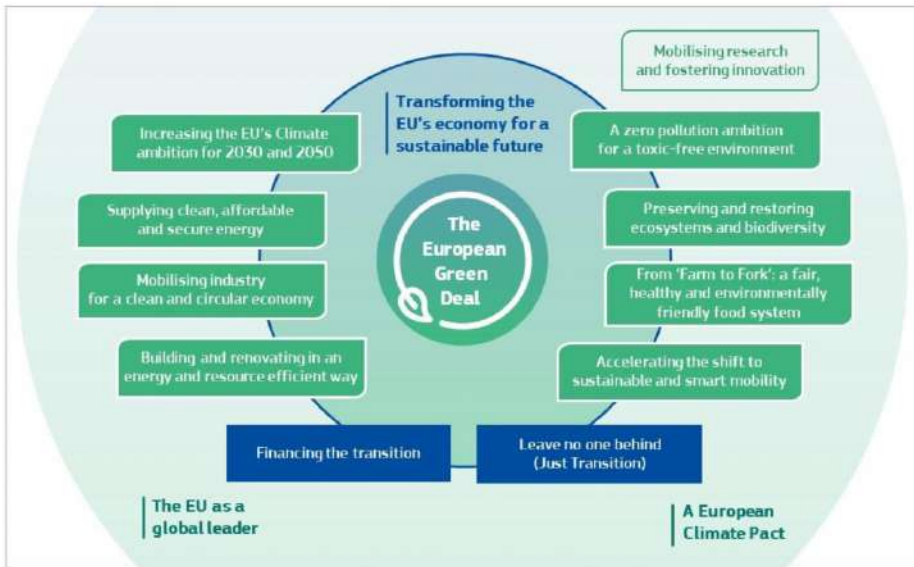


Figure 13. European Green Pact: key dates © Commission européenne, 2019.

This European Green Pact was made public on December 11, 2019 by the European Commission, followed by the adoption of the "adjustment to target 55" legislative package, on July 14, 2021, by all 27 EU members. It aims to make Europe the first carbon-neutral continent by 2050. It will standardize and increase common policies in the fight against global warming. As a reminder, the targets set at the end of 2022 are to reduce greenhouse gas emissions by 50% by 2030 compared to 1990 levels, and totally by 2050.

According to Ursula von der Leyen, President of the European Commission, "this European green pact is equivalent to the moment we walked on the Moon... it is the most important climate package ever proposed by a political entity in the world".

The pact defines 6 major objectives that will be the main focus of actions to achieve carbon neutrality:

- An end to net greenhouse gas (GHG) emissions by 2050 *via* a European climate law.
- Drawing up a European climate law.
- Supporting regions in their ecological transition.

- "Farm to table" strategy. Moving towards a clean, circular economy through more efficient use of resources.
- Wide-ranging measures (investments, carbon tax at EU borders, *etc.*), as well as the restoration and protection of biodiversity (clean air, clean water and healthy soils).
- Creating a fair, competitive and prosperous society.

To achieve the goals set out in the pact, Europe is committed to financing 1,000 billion euros of investment in sustainable economies and energies over the next 10 years.

30% of this sum will be made available *via* the EU's multiannual budget and the NextGenerationEU plan, an instrument put in place to recover from the Covid-19 pandemic.

5.3. The American vision of the IRA: Inflation Reduction Act

Since the presidential election on January 20, 2021, President Biden has re-launched the United States in the fight against global warming by rescinding a major part of the 163 anti-climate legislative and regulatory acts of the previous Trump administration.

He is implementing his massive investment plan for a green economy, releasing \$2,000 billion over 4 years. His goals are to cut greenhouse gas emissions by 50% by 2030 compared with 2005 levels, and to achieve carbon neutrality by 2050. It also aims to preserve 30% of federal lands and waters by 2030. This massive investment in a green economy also includes funding for 1.5 million new, more sustainable and energy-efficient homes. Of course, these reforms cannot be launched without a societal vision. That is why Joe Biden wants to direct 40% of the \$2,000 billion to the most vulnerable populations.

This momentum for the climate was reinforced last summer by the Inflation Reduction Act (IRA), a protectionist plan for the climate. Nearly \$400 billion will be dedicated to financing these measures over the next decade. In particular, the IRA will provide tax credits to U.S. companies for investments in green energies (wind, solar, green hydrogen, carbon sequestration, batteries, *etc.*). All these credits will be available on condition that they promote the "American way" by requiring manufacturers to use "made in the USA" resources.

All these measures will be financed by the creation of a 15% minimum tax on companies with profits in excess of \$1 billion.

Inaction is no longer a viable response to climate change. In recent years both Europe and the U.S. have taken decision to act, and these decisions will have an impact on our lifestyle, but also on the way we build in the future.

Massive investment in the development of building technologies (IoT, BMS, BMS, Monitoring, *etc.*) is a necessity if we are to achieve carbon neutrality and meet the commitments made at COP21.

However, this race for innovation and protectionism may run counter to the free-trade principles governing the World Trade Organization (WTO). This could lead to the displacement of companies (*e.g.*, from Europe to the USA), with major impacts on the social life of countries lacking energy independence, as well as on raw materials (ore, steel, *etc.*).

According to Grégoire Chauvière Le Drian, the IRA's overly protectionist stance is forcing Europe to rethink its strategy in a less collaborative manner. One response to the IRA could be the EIB, with its own resources, notably a carbon tax at borders.

Conclusion: construction and real estate as drivers of sustainable finance

"When construction goes, everything goes". This 19th century phrase was coined by Martin Nadaud, who was a mason, a member of parliament and then a prefect. In addition to having been widely tested since it was first announced, this quote highlights the complexity of a system that lies behind an everyday object.

Meeting the challenge of carbon neutrality in the building sector by 2050 will require a transformation of all the players in the production and operating chain. Legislators, designers, economists, financiers and industrialists, to name but a few, will have to take part in this ambition by adapting their positioning and way of doing things, because as Einstein said, "You can't solve a problem with the same way of thinking as the person who created the problem".

Changing habits means broadening interests and skills. The integration of CSR and ESG approaches into the organization of companies is an initial response to the problem posed. On the one hand, these approaches will help to focus employee awareness on the new challenges of sustainable development, and on the other, they will arouse new interest among the other players who interact with these new catalysts. As they are deployed, CSR and ESG strategies will go beyond environmental and societal issues. As a result, they will become a field of economic exploration, and consequently a genuine lever for sustainable financing that will play a transversal and coherent role in the entire decision-making chain of players in the real estate sector.

These strategies are all markers that express and assert a willingness to change the long-term strategic orientation of companies in terms of sustainable development.

Thinking in terms of the long term, ensuring the sustainability of an approach and making it legible and traceable: this is what reassures institutional investors!

Indeed, as we saw earlier, a coherent sustainable development approach requires a global approach to the project in order to be effective. This in turn requires substantial financial resources, which will have to respond to the burgeoning number of scenarios and the diversity of fields of exploration when energy production and management issues are associated with the building.

These financial resources will translate into sequenced financial support at several levels. On an institutional scale, to support European and/or national strategic orientations, and on a local scale, to guarantee widespread dissemination.

The European Investment Bank, which is the financial institution of the member states of the European Union, is a representative example of the means of action developed to act in supranational areas such as climate, the environment, development, cohesion, innovation and skills. Its role is not to replace States, but to support, advise and encourage them in their ecological transition. Its interest is general and not pecuniary, which enables it to promote and secure a dynamic while relying on current economic and financial tools. To be eligible for support, however, projects must meet a number of extra-financial criteria that justify their sustainability. As a lender, facilitator and guardian of a sustainable strategy, the EIB is more than ever essential to the decarbonization of the building sector and the achievement of energy sovereignty, which will require the widespread deployment of renewable energies.

Sustainable financing of the building sector means shifting the economic equilibrium from a carbon-based strategy to one that is sustainable, sober and efficient. To achieve this, this new direction needs to be widely communicated to all the players involved. Indeed, what is true for a nation or a company is also true for an individual when it comes to sustainable development.

Local authorities and banks, which benefit from a close relationship with everyday consumers, have a key role to play. They must take advantage of institutional dynamics to relay them and propose a set of measures to encourage all real estate projects to adopt a virtuous and responsible approach. In this enlightened and considered way, property owners can commit to a global and sustainable approach. They may find it in their interest to do so under the guise of a financial incentive, which will benefit the ambition to decarbonize the building sector, even if their initial intention is not fundamentally environmental. The repetition and multiplication of these commitments will ensure the sustainability of the desired approach. If we are to achieve our objectives, we need a systemic reorganization in which each player plays his or her own role.

Sources • Sources

Figure 1.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022. *Data Lab. Chiffres clés du climat. France, Europe et Monde. Édition Décembre 2022* [en ligne]. Paris : SDES, DGEC, I4CE, 106 p. Disponible sur : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-du-climat-france-europe-et-monde-edition-decembre-2022> (consulté le 10.08.2023).

Données : Ceren, 2021.

Figure 2.

CABANE, Emerson, 2019. Bilan carbone des bâtiments neufs – Analyse statistique des données de l'observatoire E+C- [en ligne]. *build-green.fr*, 29 août 2019. Disponible sur : <https://www.build-green.fr/bilan-carbone-des-batiments-neufs-analyse-statistique-des-donnees-de-observatoire-ec/> (consulté le 10.08.2023).

Données : Observatoire E+C-.

Figure 3.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022. *op. cit.*

Données : MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021. *Data Lab. Rapport du compte du logement 2020. Septembre 2021*. Paris : SDES, 62 p.

CITEPA, 2022. *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2021. Rapport national d'inventaire. Format Secten*. Rapport n° 2071sec / 2022. Paris : Citepa, 512 p.

INSEE, 2022.

Figure 4.

ADEME, 2018. *Climat, air et énergie. Chiffres clés. Édition 2018* [en ligne]. Angers : ADEME, 224 p. « Faits et chiffres ». Disponible sur : <https://centre.ademe.fr/sites/default/files/climat-air-energie-chiffres-cles.pdf> (consulté le 10.08.2023).

Données : MTES, COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2018. *Bilan énergétique de la France en 2017. Données définitives*. La Défense : SDES.

Figure 5.

GRISARD, Marjolaine, 2023. Accélération de la décarbonation de l'immobilier. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 6.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES, MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2021. Les obligations vertes [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 02 décembre 2021. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/obligations-vertes> (consulté le 10.08.2023).

Figure 7.

S.N., 2021. Critères ESG : que signifient les lettres ? [en ligne]. *monepargneetmoi*, 02 juin 2021. Disponible sur : <https://monepargneetmoi.fr/les-criteres-esg-que-signifient-ils/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 8.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022, *op. cit.*
Données : I4CE, LEDEZ, Maxime et HAINAUT, Hadrien, 2022. *Panorama des financements climat*. Paris : I4CE, 36 p.

Figure 9.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022, *ibid.*
Données : UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2020. *UNFCCC Standing Committee on Finance Fourth (2020) Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows*. Technical Report. Bonn : UNFCCC, 216 p.

Figure 10.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022, *ibid.*
Données : IIEA, 2022. *World Energy Investment 2022*. S.L. : IEA Publications 227 p.
IEA, 2021. *Net Zero by 2050. A roadmap for the Global Energy Sector*. S.L. : IEA Publications, 224 p.
UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2020, *ibid.*
OCDE, 2022. *Financement climatique fourni et mobilisé par les pays développés en 2016-2020 : Enseignements tirés d'une analyse désagrégée*. Paris : Éditions OCDE. Collection « Le financement climatique et l'objectif des 100 milliards de dollars ».

Figure 11.

CHAUVIÈRE LE DRIAN, Grégoire, 2023. La Banque européenne d'investissement. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 12.

CHAUVIÈRE LE DRIAN, Grégoire, 2023, *ibid.*

Figure 13.

COMMISSION EUROPÉENNE, 2019. *Le Pacte vert pour l'Europe*. Communication de la Commission. COM(2019) 640. Bruxelles. Disponible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=ET> (consulté le 10.08.2023)..

Bibliographie • References

AMSILI, Sophie, 2022. Qu'est-ce que l'« Inflation Reduction Act » qui inquiète tant les Européens ? [en ligne]. *Les Echos*, 29 novembre 2022. Disponible sur : <https://www.lesechos.fr/monde/etats-unis/quest-ce-que-l-inflation-reduction-act-qui-inquiete-tant-les-europeens-1883850> (consulté le 10.08.2023).

AYOUN, Laurent, 2023. Scope 1 2 3 : quels sont les périmètres d'un bilan carbone ? [en ligne]. *carbo academy*, juin 2023. Disponible sur : <https://www.hellocarbo.com/blog/calculer/scope-1-2-3> (consulté le 10.08.2023).

BERCY INFOS, 2022. Économies d'énergie [en ligne], *economie.gouv.fr*, 13 octobre 2022. Disponible sur : <https://www.economie.gouv.fr/particuliers/economies-de-energie> (consulté le 10.08.2023).

BRAND, Mathieu, 2022. Qu'est-ce que le Green New Deal et peut-il être appliqué ? [en ligne]. *carbo academy*, avril 2022. Disponible sur : <https://www.hellocarbo.com/blog/communaute/green-new-deal/> (consulté le 10.08.2023).

CHAUVIÈRE LE DRIAN, Grégoire, 2023. La Banque européenne d'investissement. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

COMMISSION EUROPÉENNE, S. D. Finance et pacte vert pour l'Europe [en ligne]. *commission.europa.eu*. Disponible sur : https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal_fr (consulté le 10.08.2023).

CONSEIL DE L'EUROPE, S. D. Pacte vert pour l'Europe [en ligne]. *europa.eu*. Disponible sur : <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/green-deal/> (consulté le 10.08.2023).

CUNY, Delphine, 2017. Qu'est-ce qu'un green bond ?. *La Tribune* [en ligne], 08 décembre 2017. Disponible sur : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/banques-finance/qu-est-ce-qu-un-green-bond-760714.html> (consulté le 10.08.2023).

DUGAST, César et DAUNAY, Julie, 2019. Le bâtiment, un secteur en première ligne des objectifs de neutralité carbone de la France en 2050 [en ligne]. *carbone4.com*, janvier 2019. Disponible sur : <https://www.carbone4.com/article-batiment-snbc> (consulté le 10.08.2023).

GENDRE, Ines, 2023. Green Deal Européen : le guide pour tout comprendre [en ligne]. *Greenly Institut*, 10 août 2023. Disponible sur : <https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/tout-ce-qu'il-faut-savoir-sur-le-green-deal-europeen> (consulté le 20.08.2023).

GODARD, Mathilde, 2020. Le Green Deal Sauvera-t-il l'Union Européenne de la crise ? [en ligne]. *Forbes*, 03 janvier 2020. Disponible sur : <https://www.forbes.fr/environnement/le-green-deal-sauvera-t-il-lunion-europeenne-de-la-crise/> (consulté le 10.08.2023).

GOUVERNEMENT, 2022. Neutralité carbone : la nouvelle taxonomie verte européenne [en ligne]. *gouvernement.fr*, 10 janvier 2022. Disponible sur : <https://www.gouvernement.fr/actualite/neutralite-carbone-la-nouvelle-taxonomie-verte-europeenne> (consulté le 10.08.2023).

GRISARD, Marjolaine, 2023. Accélération de la décarbonation de l'immobilier. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

HÉRARD, Pascal, 2019. Climat : le "Green new deal" d'Alexandria Ocasio-Cortez peut-il changer la donne ? [en ligne]. *TV5 Monde*, 22 septembre 2019. Disponible sur : <https://information.tv5monde.com/international/climat-le-green-new-deal-dalexandria-ocasio-cortez-peut-il-changer-la-donne-32077> (consulté le 10.08.2023).

LECOT, Julien, 2021. Climat : les quatre actes fondateurs de Joe Biden [en ligne]. *Libération*, 28 janvier 2021. Disponible sur : https://www.liberation.fr/planete/2021/01/28/climat-les-quatre-actes-fondateurs-de-joe-biden_1818728/ (consulté le 10.08.2023).

LE FUSTEC, Nolwenn et CAT&CIE 2023. Rénovation énergétique : des milliards dépensés pour rien ? *Complément d'enquête*, diffusé le 02.03.2023. France 2. 75 min.

MAUREL, Emmanuel, 2023. IRA : face aux États-Unis, l'UE se contente de miettes [en ligne]. *Euractiv*, 14 mars 2023. Disponible sur : <https://www.euractiv.fr/section/concurrence/opinion/ira-face-aux-etats-unis-lue-se-contente-de-miettes/> (consulté le 10.08.2023).

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE LA SOUVERAINETE INDUSTRIELLE ET NUMERIQUE, 2022. Qu'est-ce que la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) ? [en ligne], *economie.gouv.fr*, 18 juillet 2022. Disponible sur : <https://www.economie.gouv.fr/entreprises/responsabilite-societale-entreprises-rse> (consulté le 10.08.2023).

VIE PUBLIQUE, 2023. Subventions américaines aux industries vertes : quelle réponse européenne ? [en ligne]. *vie-publique.fr*, 25 janvier 2023. Disponible sur : <https://www.vie-publique.fr/en-bref/287950-inflation-reduction-act-ira-americain-vers-un-equivalent-europeen> (consulté le 10.08.2023).

VIE PUBLIQUE, 2021. Pacte vert et paquet climat : l'UE vise la neutralité carbone dès 2050 [en ligne]. *vie-publique.fr*, 26 août 2021. Disponible sur : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/272297-pacte-vert-et-paquet-climat-lue-vise-la-neutralite-carbone-des-2050> (consulté le 10.08.2023).

SWEATMAN, Peter, 2022. *The European Renovation Loan: An innovative financial instrument to Repower EU* [en ligne]. Climate Strategy & Partners. Disponible sur : <https://www.climatestrategy.es/press/EURenovationLoanSummApr2022> (consulté le 10.08.2023).

TOUTE L'EUROPE, 2022. Pacte vert européen : les dates clés [en ligne]. *toute-leurope.eu*, 07 janvier 2022. Disponible sur : <https://www.touteleurope.eu/environnement/pacte-vert-europeen-les-dates-cles/> (consulté le 10.08.2023).

Construire et utiliser autrement

Build and use differently



Alejandro CAHUANA
HURTADO

Tahibou DIOP

Pierre ROSIER

Benjamin LALEUF

Maïté KETTERER



École des Ponts
ParisTech

Introduction

Pour répondre aux enjeux environnementaux et atteindre les objectifs de neutralité carbone en 2050, il est urgent de repenser les modèles économiques de la construction et l'utilisation de nos bâtiments. En 2022, le secteur de la construction et du bâtiment a généré 37 % des émissions de gaz à effet de serre (GES), ce qui représente plus de 34 % de la consommation d'énergie mondiale. Pour l'Europe, cela représente 40 % de la demande énergétique (Martinet, 2022).

Dans les trente prochaines années, la population mondiale va croître de 20 % pour atteindre plus de 9,6 milliards d'habitants (ONU, S.D.) de manière inégale et avec un dynamisme centré sur les pays en voie de développement qui vont connaître une croissance économique forte. L'Afrique, par exemple, devrait connaître sur cette période ses « Trente glorieuses » (Mignot, 2015) avec une population ou plus de la moitié aura moins de 25 ans.

Si l'on veut atteindre, à l'échelle de la planète, l'objectif commun de zéro émission nette de GES, il convient de regarder les stratégies mises en œuvre et les résultats obtenus pour chaque région du monde. L'Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction (Global ABC) fait ressortir que d'ici 2040, 70 % du parc immobilier africain doit encore être construit. Nous notons là une différence fondamentale avec le parc français dans lequel 80 % des logements de 2050 existent déjà et dont l'enjeu majeur est la réhabilitation. Tout ceci dans des contextes climatiques différents.

Pour limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C, les émissions de GES doivent être stabilisées avant 2025 au plus tard et diminuer de 43 % d'ici 2030. C'est en effet la condition pour que puissent être respectées les mesures de l'Accord de Paris permettant d'atteindre zéro émission nette de CO₂ d'ici 2050.

Dans ce contexte, il convient de s'interroger sur les capacités de la filière de la construction et du bâtiment à pouvoir apporter des réponses locales qui soient économiquement et techniquement soutenables.

1. État des lieux

1.1. Le secteur de la construction et de l'immobilier

Le secteur de la construction à l'échelle mondiale a connu son âge d'or après la Seconde Guerre mondiale. Depuis les années 1970, contrairement à d'autres secteurs industriels, ce dernier connaît une baisse significative de productivité.

Par ailleurs, ce secteur présente une fragmentation importante qui se traduit par des défauts de coordination entre les différents acteurs.

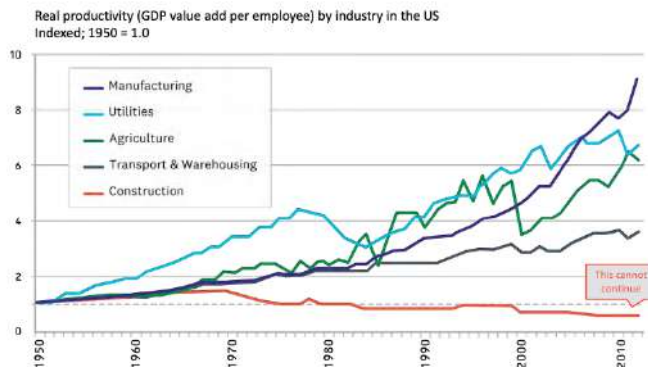


Figure 1 Productivité du secteur de la construction 1950 – 2012 © STL Partners.

Selon Thomas Le Diouron, cette fragmentation peut s'expliquer historiquement par :

- la nécessité de produire les matériaux proches de leur lieu d'utilisation. Nous pouvons citer l'exemple du béton (matériaux) ou des produits manufacturés en béton qui ne doivent pas être fabriqués à une distance trop éloignée du chantier.
- la construction est souvent une activité « locale » qui a nécessité la création d'entreprises locales ;
- un marché en dents scie qui a favorisé le recours à la sous-traitance permettant de mieux gérer les variations d'activité ;
- l'intervention de métiers et de corps d'état différents travaillant encore trop souvent en silos : concepteur, réalisateur, fabricants, promoteurs, assureurs, etc.

Le récent rapport du ministère chargé du Logement (Michel, Rivalon, 2021) va plus loin, en signalant une « atomisation » du secteur de la construction due au nombre important d'entreprises (et notamment de très petites entreprises) participant à l'acte de construire.

Bien que des grands groupes existent dans le secteur de la construction, ils n'ont pas les parts de marché suffisantes pour leur permettre d'être des acteurs structurants :

- Si l'on prend l'exemple du Japon, les cinq majors représentent seulement 15 % du secteur de la construction qui comprend 470 000 entreprises (Le Diouron, 2023).
- En France, sur les 427 000 entreprises du BTP, 94 % sont des entreprises indépendantes. Moins de 1 % des entreprises comptent plus de 200 salariés et ne représentent toutefois que 16 % du chiffre d'affaires du secteur du bâtiment (FFB, 2023), ce qui se traduit par une fragmentation horizontale du secteur.

- Cette segmentation est renforcée verticalement par la multiplicité des acteurs qui interviennent parallèlement ou séquentiellement dans le processus de construction d'un ouvrage (architecte, bureau d'étude, promoteur *versus* constructeur, *etc.*).

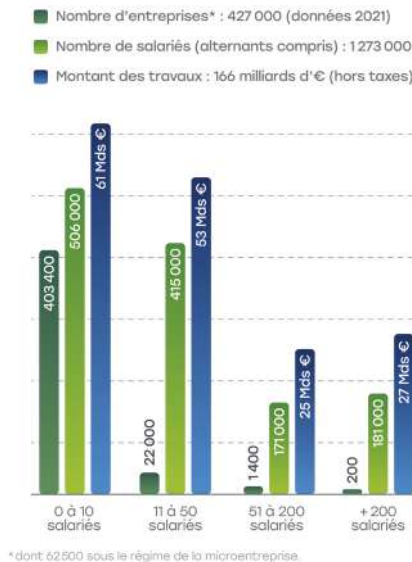


Figure 2. Les entreprises à activité principale bâtiment © Fédération française du bâtiment, 2023, p. 2.

Comme le souligne Thomas Le Diuron, ce secteur souffre d'un déficit important d'investissement et de R&D, comparativement aux autres secteurs industriels. Ce sous-investissement peut s'expliquer en partie par de faibles marges qui ne permettent pas de dégager suffisamment de moyens financiers pour la R&D.

La main-d'œuvre qualifiée est un enjeu important alors même que la part des moins de 30 ans a diminué dans de nombreux pays. À titre d'exemple, aux États-Unis, elle a baissé de près d'un tiers entre 2005 et 2016. À Hong Kong, 42 % de la main-d'œuvre a plus de 50 ans et en France on estime que 1/3 d'entre elle pourrait partir à la retraite d'ici 2030 (Michel, Rivalon, 2021, *op. cit.*).

Il est donc légitime de s'interroger sur la capacité de la filière à se structurer rapidement afin de répondre aux enjeux environnementaux et sociétaux. L'environnement concurrentiel ne permet pas d'augmenter les marges et l'inflation des prix des matériaux, combinée à la baisse du pouvoir d'achat des ménages, limite les capacités d'investissement et de R&D.

Pourtant il est nécessaire que les entreprises innovent dans les dix années à venir pour réussir à construire à des prix acceptables, tout en réduisant l'empreinte carbone de la construction.

1.2. Les enjeux des territoires avec un parc immobilier existant : priorité à la rénovation

Le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) annonce une multiplication des catastrophes naturelles partout dans le monde d'ici 2050. Le rythme des inondations, vagues de chaleur et ouragans va s'intensifier, rendant inutilisables, voire dangereux, certains bâtiments vulnérables, incapables de résister à ces événements extrêmes (GIEC, 2023).

Chaque année, la France consomme en moyenne 20 à 30 000 hectares de terres pour l'aménagement des territoires. Une consommation foncière qui progresse quatre fois plus vite que la démographie, sans pour autant répondre à notre besoin en logement depuis plus de 35 ans (Préfet de l'Eure, S. D.). Les conséquences de cette surconsommation sont nombreuses, notamment sur l'environnement. Afin d'accélérer la transition environnementale, les autorités publiques ont introduit au sein de la Loi Climat et Résilience le concept de la ZAN (zéro artificialisation net), dans le but de préserver la biodiversité et le patrimoine commun. L'objectif affiché par le gouvernement est de préserver les terres agricoles tout en luttant contre les îlots de chaleur et l'imperméabilisation des sols.

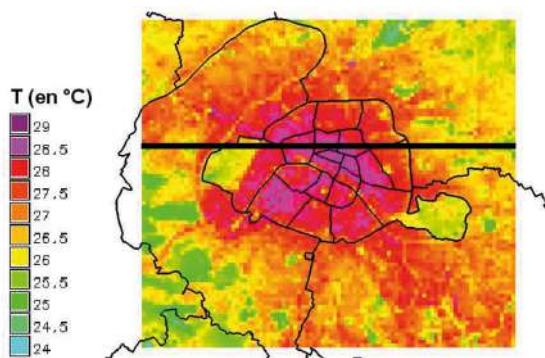


Figure 3. Îlot de chaleur urbain simulé sur l'agglomération parisienne : moyenne des températures de l'air à 2 m à 02, 03 et 04 UTC (4h, 5 h et 6 h locales) pour les 5 nuits de la canicule (2003) © Epicea, 2012, p. 12

La ZAN doit permettre de repenser prochainement l'urbanisme en appliquant le concept de la « reconstruction de la ville sur elle-même ». L'artificialisation massive des sols a un impact sur la production agricole et participe à la fragilisation de l'indépendance alimentaire du pays. De plus, elle provoque soit un ruissèlement, soit une évaporation instantanée des eaux de pluie et induit donc un déficit de remplissage des nappes phréatiques. L'aménagement du territoire doit tenir compte, de plus en plus, du cycle de l'eau et des méfaits de l'artificialisation des sols pour permettre

aux nappes phréatiques de se recharger et ainsi diminuer les risques de sécheresse (MTECT, MTE, 2022).

Une autre problématique évoquée est celle des îlots de chaleur. Ce phénomène rend les villes inconfortables en cas de forte chaleur et difficilement vivables en cas de canicule. Les mesures de température font état d'écarts pouvant atteindre + 6 °C entre les parties urbanisées et les zones végétalisées et pas ou peu artificialisées. Cette élévation relative de la température dans les villes liée aux matériaux de construction (bâtiments et chaussées) et aux morphologies urbaines rend les bâtiments toujours plus énergivores si le seul moyen de les maintenir à des températures confortables est la climatisation.

La première phase du dispositif ZAN vise à réduire de 50 % l'imperméabilisation des sols d'ici à 2031 pour aboutir à zéro net en 2050. Cependant, les maires ont encore actuellement un pouvoir suffisant pour différer ou limiter l'application de la ZAN ce qui veut dire que l'expansion urbaine ne pas être stoppée rapidement. On constate qu'il est possible aujourd'hui de contourner les objectifs de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) (MTES, 2020). Il pourrait donc être possible également de contourner les exigences de la ZAN, tel que l'a évoqué Nicolas Ziesel lors de la conférence du 5 avril.

Enfin, tant que la hauteur des bâtiments restera limitée et que des plans locaux d'urbanisme (PLU) continueront d'interdire la construction d'immeubles de plus de deux étages en centre-ville, l'étalement urbain restera, pour certaines municipalités, la seule solution pour répondre au besoin de logement des agglomérations dynamiques.

Il est donc crucial d'adapter la ville et les quartiers au changement climatique, d'intégrer ce contexte pour la configuration du bâti et le choix des solutions de construction. Les *Net Zero Energy Buildings* (ZEB) sont des bâtiments alliant efficacité énergétique, utilisation des énergies renouvelables et sobriété des usages. Les bâtiments bioclimatiques maximisent leur efficacité énergétique car ils sont conçus en fonction des conditions climatiques locales et des contraintes du terrain (orientation) (MTECT, MTE, 2017).

Mais nous avons vu que la construction neuve dans les pays développés en général et en France en particulier représente une faible part du bâti (80 % des logements de 2050 existent déjà [ANAH, 2023]). Il est donc essentiel de travailler sur la rénovation, notamment la rénovation énergétique des bâtiments existants.

Cette rénovation globale doit inclure l'amélioration de l'isolation thermique et la modernisation des systèmes de chauffage, refroidissement (pompes à chaleur) et de ventilation (ventilation double flux ou ventilation naturelle en maison passive) (Pelenc, 2023).

Il semble nécessaire, comme le souligne Fabrice Denis, de s'engager à promouvoir la construction durable en utilisant une approche collaborative visant à encourager cette pratique avec toutes les parties prenantes : clients, sous-traitants et communautés locales. La construction durable ne se limite pas seulement à la conception de bâtiments passifs ou à faible impact, elle doit également respecter les exigences sociales, tenir compte des usages et de leur évolution et aussi répondre à des impératifs économiques. La formation et le développement de nouvelles compétences sont des aspects très importants dans le nouveau contexte de la construction et de la rénovation durables. Par exemple, un ingénieur spécialisé qui travaille depuis 25 ans dans le logement social neuf devrait s'intéresser de plus en plus à la rénovation en site occupé et se former à ce nouvel enjeu (Denis, 2023).

Dans ce contexte, les acteurs de la construction et de la rénovation ont de nombreux défis à relever pour concevoir et réaliser des constructions durables, en maîtrisant le prix de vente, mais aussi, en tenant compte des attentes, besoins, modes de vie des utilisateurs (propriétaires ou locataires) et des évolutions des usages dans le temps. La nouvelle réglementation environnementale RE2020 jouera un rôle d'accélérateur de la transition environnementale en fixant des objectifs, des seuils, des exigences minimales, un calendrier et une méthode. Ses avantages à long terme – réduction des coûts de fonctionnement et impact environnemental positif – en font un cadre indispensable pour l'avenir de l'industrie de la construction.

1.3. Les enjeux des zones à forte dynamique démographique : construire éco-efficace

Selon les prévisions des Nations unies, les 49 pays les moins développés vont connaître une croissance rapide dans les décennies à venir. Ces pays, en particulier ceux d'Afrique, ont connu ces dernières années une croissance économique rapide ainsi qu'une amélioration de la santé et de la nutrition, avec pour conséquence une augmentation de la population (ONU, S. D., *op. cit.*).

Cette croissance rapide de la population dans les pays en développement peut créer des pressions sur les ressources naturelles et les infrastructures. Elle peut aussi en contrepartie générer une contrainte sur l'environnement et des difficultés pour les décideurs politiques. Les gouvernements et les organisations internationales doivent travailler ensemble pour concilier les objectifs environnementaux, économiques et humains. Sur ce dernier volet, il s'agit notamment de procurer des emplois, des soins de santé, une éducation et une formation aux populations locales.

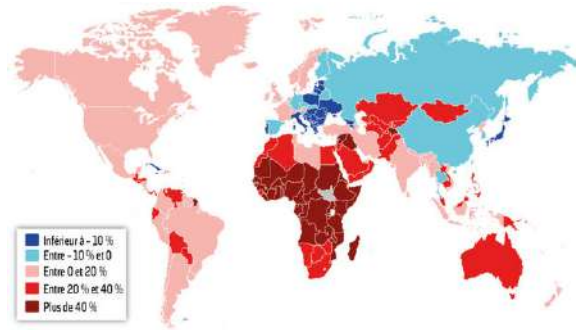


Figure 4. Évolution de la population mondiale d'ici à 2050 © Le Parisien/Cellule Data, 2019.

Doudou Deme et Nicolas Rondet montrent qu'en Afrique des initiatives sont déjà en place pour répondre aux besoins croissants de la population en matière de logement et de résilience face au réchauffement climatique qui les menace particulièrement (Hiault, 2023). Ces pays doivent innover afin de concilier croissance et décarbonation de l'industrie. Cela passe par l'émergence de nouvelles techniques ou l'adaptation de techniques traditionnelles pour permettre de construire de nouveaux bâtiments plus respectueux de l'environnement, plus confortables (ex. bâtiments bioclimatiques), faisant appel à des matériaux locaux, bio ou géosourcés et à des prix inférieurs à ces matériaux importés.

Pour financer ces changements, des ressources existent telles que des fonds pour l'adaptation¹. Mais selon Thomas Granier, ces fonds ne sont à ce jour pas facilement mobilisables. Pourtant, ces pays, qui sont les principales victimes du réchauffement climatique sans en être les premiers responsables, ont un besoin urgent de ces fonds pour améliorer leurs conditions de vie. Plus d'une centaine de millions de personnes extrêmement pauvres subissent l'accélération du réchauffement climatique en Afrique, selon le rapport sur l'état du climat en Afrique publié par l'ONU (GEO, 2021).

2. Solutions d'innovations techniques

Le secteur de la construction a l'obligation de se transformer, mais il a structurellement une vitesse de mutation très lente avec des pratiques souvent difficiles à changer, selon Thomas Le Diouron. Par ailleurs, les solutions devront être locales, car les enjeux sont liés aux spécificités de chaque territoire.

Comment l'innovation technique peut-elle accompagner la transition écologique et durable du secteur de la construction ?

1 • L'Adaptation Fund (AF) a été créé en 2001 suite à la Conférences Of Parties (COP7). Voir : <https://www.adaptation-fund.org/af-10-years/>.

2.1. Le numérique : les start-ups en appui de la filière

Thomas Le Diouron précise que les dispositifs d'innovation se transforment pour faire face aux défis de la filière de la construction en permettant de mettre en place des démarches d'intelligence collective, d'accélérer la transition numérique et de transformer les territoires et les industries du secteur.

En France, depuis 2008 et le Grenelle de l'Environnement, le niveau d'exigence est plus élevé que dans les autres pays européens (à l'exception des pays d'Europe du Nord). La réglementation fixe, par exemple, des taux minimums de recyclage des déchets du bâtiment et un seuil d'émission de GES à ne pas dépasser dans les constructions neuves. Pour atteindre ces objectifs, la filière développe des projets d'excellence environnementale. Cette démarche inclut une ambition et un plan d'action progressif. Elle s'appuie sur des solutions innovantes développées par des start-ups au service des acteurs traditionnels de la construction.

La filière de la construction est un terrain tout particulièrement propice à l'usage des techniques de *big data*, d'intelligence artificielle et de *machine learning*, d'après Thomas Le Diouron. Elle se caractérise par :

- des processus reproductibles mais sur des objets tous différents ;
- des données de plus en plus disponibles, *via* les capteurs, l'*open data* et les capacités accrues de traitement d'images ;
- des enjeux d'optimisation immenses (montants d'investissement, quantités de matériaux et ressources, impact sur de longues années, *etc.*).

Le numérique est donc un atout majeur de la transition environnementale avec un fort développement de ces techniques dans le domaine de l'optimisation environnementale.

Ces entreprises d'innovation s'inscrivent également dans le schéma plus global du BIM (*Building Information Modeling*), qui est un levier fort de la défragmentation du secteur, comme nous le verrons un peu plus loin.

L'innovation numérique peut ainsi permettre de :

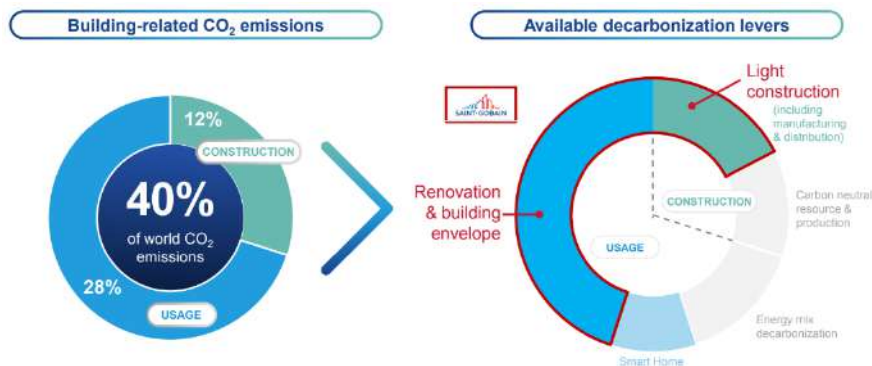
- gagner du temps en phase de conception :
 - en scannant les bâtiments pour réaliser un état des lieux avant rénovation ;
 - en passant automatiquement du scan au BIM ;
 - en aidant les bureaux d'études et les architectes lors de la conception (mise à disposition de bases de données des caractéristiques des matériaux par exemple) ;
- mieux appréhender le contexte d'un projet (agrégation de prix immobiliers, historique du bâtiment, valeur à la location et à l'achat, *etc.*) ;

- mieux maîtriser les usages du bâtiment grâce à l'exploitation intelligente des données d'usage. Pour utiliser un bâtiment de manière performante, il faut le comprendre dans le détail. Pour cela, de nombreux capteurs autonomes et peu onéreux ont été développés ces dernières années avec l'essor de l'internet des objets (IoT).

2.2. Les matériaux : décarboner la chaîne de production

2.2.1. Agir sur les SCOPE industriels

Les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment sont dues aux deux tiers au « carbone opérationnel » lié à l'exploitation du bâtiment et un tiers aux matériaux (le carbone dit embarqué ou "embodied carbon") (Normant, 2023).



Les industriels, à l'instar de Saint-Gobain, leader mondial de la construction durable, s'engagent vers la neutralité carbone à 2050, avec des jalons dès 2025. Tel que l'a présenté Emmanuel Normant, cet engagement est la boussole qui guide les feuilles de route RSE de chaque entité du groupe. Le retour d'expérience de cet industriel démontre qu'il est possible d'agir concrètement à grande échelle.

Les solutions déjà existantes permettent de décarboner 2/3 des activités sur le scope 1 (émissions directes) et le scope 2 (émissions indirectes) :

- en changeant l'approvisionnement en énergie ;
- en visant l'excellence opérationnelle (augmentation des rendements des process de fabrication, etc.) ;

- en optimisant le design et la formulation des produits (un produit allégé, mais à performance égale par exemple) ;
- en optimisant la logistique ;
- en intégrant des matériaux recyclés dans la fabrication du verre, de la laine de verre, du plâtre, etc.



Figure 6. Le développement durable : un engagement de longue date pour Saint-Gobain
© Emmanuel Normant/Saint-Gobain, 2023.

Sur le scope 3 en amont de l'activité (matières premières, produits achetés pour la distribution et transport), une importante démarche de décarbonation est initiée avec une approche collaborative, en faisant participer les fournisseurs.

Emmanuel Normant estime que pour atteindre la neutralité carbone en 2050, de nouvelles solutions techniques doivent être implémentées dans les procédés de fabrication. Les fabricants conçoivent aujourd'hui des pilotes qui devront passer demain à l'échelle industrielle.

Le groupe Saint-Gobain conçoit déjà des usines 0 carbone en scopes 1 et 2 pour tous ses procédés :

- en France, une semaine de production de verre 0 carbone : 100 % biogaz, 100 % calcin de verre plat ;
- une usine de plaques de plâtre : avec 100 % d'énergie électrique en Norvège (électricité hydroélectrique).

Le défi sera de massifier ces procédés, sans attendre que de nouveaux modèles économiques basés sur les énergies renouvelables se mettent en place.

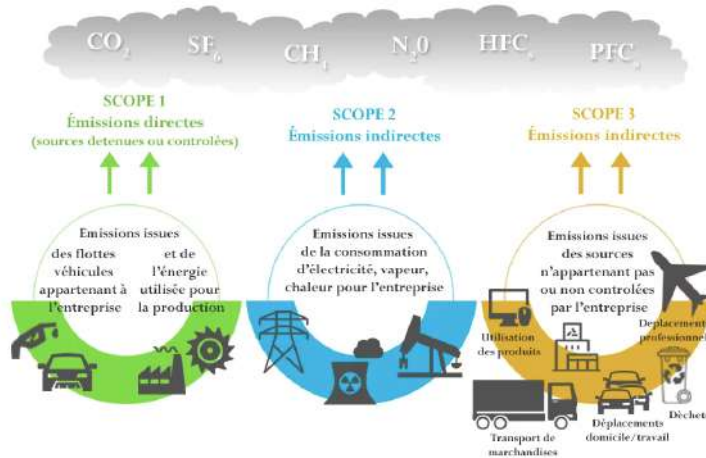


Figure 7. Rappel sur les périmètres des scopes 1, 2 et 3 © Global Climat Initiatives.

Emmanuel Normant rappelle dans ce schéma le défi que représente une cible *net zero carbon* : « Les objectifs sont en valeur absolue, ce qui implique non seulement de réduire les émissions existantes mais aussi d'annuler les émissions liées à la croissance entre la base de départ et l'année de l'objectif ».

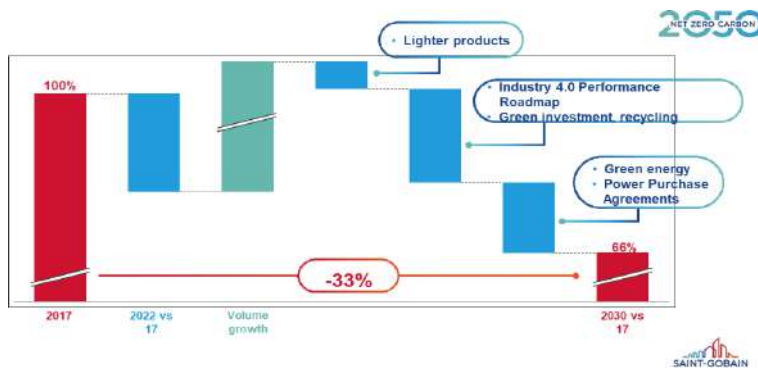


Figure 8. Les leviers nécessaires pour atteindre - 33 % d'émissions des scopes 1 et 2 d'ici 2030

© Emmanuel Normant/Saint-Gobain, 2023.

2.2.2. Les matériaux géosourcés : retour d'expérience africain

Doudou Deme révèle des initiatives déjà mises en œuvre pour permettre des constructions alternatives géosourcées. Ces procédés peuvent accompagner le besoin de croissance de pays en développement, tout en conciliant les exigences de décarbonation.

L'un des matériaux notamment mis en avant est la brique en terre cuite (BTC), un matériau alternatif au parpaing, qui permet une grande variété de mises en œuvre et qui est normalisé. Cela prouve la fiabilité du procédé et rend son utilisation possible dans les cadres réglementaires.



Figure 9. Projet d'extension de l'hotel Djoloff à Fann-Hock, Dakar © Elementerre, 2016.



Figure 10. Maison Nkd, Dakar. Appareillage en BTC © Agence Worofila, 2021.

Nicolas Rondet partage son retour d'expérience sur la réalisation d'une ville zéro carbone à Dakar en utilisant des matériaux locaux, bio- ou géosourcés. En utilisant une approche urbaine pour améliorer l'orientation et la protection solaire, des solutions adaptées ont été mises en place pour répondre aux modes de vie des familles tout en étant faiblement consommatrices d'énergie.

Ces deux intervenants sont à l'initiative du projet Banban, un exemple de plaidoyer pour démontrer qu'il est possible de concilier qualité des matériaux et production locale et durable. Ce projet de quartier propose un concept de massification avec une économie d'échelle, réduisant ainsi l'impact environnemental de la ville de Dakar tout en répondant aux besoins croissants de la population en matière de logement.

Un autre intervenant, Thomas Granier, revisite une technique en Afrique, identifiée dès les années 1980 par l'ONG Development Workshop DW et qui permet de construire des habitations aux toitures voutées sans coffrage, avec des matériaux locaux, un outillage basique et des compétences techniques relativement simples. Le procédé est fonctionnel avec de nombreux retours d'expérience et c'est une réponse adaptée face aux défis du secteur de l'habitat en Afrique. Il est désormais

nécessaire de simplifier et standardiser la démarche afin de favoriser son appropriation par les populations locales (AVN, S. D).



Figure 11. Chantier de l'Association La Voûte Nubienne © Association La Voûte Nubienne (AVN).

La croissance démographique mondiale représente un défi majeur pour l'économie, la politique et l'environnement. Toutefois, des initiatives telles que celles présentées par les intervenants en Afrique montrent que des solutions durables et adaptées aux modes de vie locaux peuvent être trouvées pour répondre aux besoins croissants de la population.

En effet, la construction de bâtiments modernes et durables est une préoccupation croissante dans les pays en développement. Les populations aspirent à des constructions résistantes, confortables et esthétiques. Dans ce contexte, l'utilisation de la brique en terre cuite, une technique traditionnelle de construction, est souvent perçue comme renvoyant au passé. Cependant, il est important de souligner que cette technique peut être adaptée aux besoins actuels et offrir des avantages sur le plan de la durabilité et de l'efficacité énergétique.

Ces efforts doivent être soutenus par une collaboration renforcée entre les gouvernements, les organisations internationales et le secteur privé, principalement à cause de la priorité donnée à la commercialisation de matériaux.

Le principal défi pour faire accepter la technique traditionnelle de la brique en terre cuite dans les constructions nouvelles est de changer la perception qu'en ont les populations locales. En effet, cette technique est souvent considérée comme archaïque. Pour y parvenir, il est important d'en démontrer les avantages, notamment en matière de durabilité et d'efficacité énergétique. Mais aussi de construire, avec cette technique, des bâtiments modernes à l'architecture contemporaine (exemple d'une gare TER).

2.2. La conception : un modèle à réinventer

Les industriels mettent en œuvre des stratégies pour décarboner leurs produits de construction. Mais il faut que l'innovation porte également sur les processus de construction qui ont un fort impact sur l'environnement et qui contribuent à la performance finale de l'ouvrage.

Fabrice Denis met en avant plusieurs leviers pour construire autrement. En premier lieu, la performance thermique du bâtiment doit être optimale (pour les projets neufs ou de rénovation) afin de diminuer la quantité de carbone opérationnel. Les cibles principales sont l'enveloppe du bâtiment et l'énergie qui alimente ce dernier. En second lieu, le choix des produits doit être réalisé en tenant compte de critères environnementaux.

Les produits issus du réemploi utilisent le stock déjà fabriqué et permettent des économies de ressources et d'émissions de GES. Mais cette technique révolutionne complètement la façon de travailler de l'entreprise générale ou de l'artisan qui ne peut plus s'approvisionner en matériaux comme il le faisait auparavant. Actuellement, il n'est pas encore possible de commander un produit de réemploi chez un distributeur classique. Les artisans doivent travailler avec un écosystème d'entreprises de déconstruction et de chantiers pour accéder aux gisements et les utiliser. Cette façon de penser et de faire diffère de celle qui prévalait dans les décennies précédentes. Les constructeurs renouent avec les réflexes historiques de la construction : l'approvisionnement local (Denis, 2023, *op. cit.*).



Figure 12. Cinq leviers pour construire autrement © Fabrice Denis/Bouygues Immobilier.

De nouvelles technologies numériques permettent désormais de simuler le poids carbone des bâtiments et ainsi d'aider à la décision. Néanmoins, Fabrice Denis recommande d'éviter la « caricature de comparaison CO₂ entre les matériaux » lors de cette

étape et de réfléchir à la conception dans sa globalité, en incluant tous les paramètres et tous les acteurs.

Aujourd'hui, même avec des analyses du cycle de vie (ACV) très poussées en phase de conception, l'entreprise de construction pourrait être tentée d'optimiser tous les lots à réception du cahier des charges si elle n'a pas été sensibilisée aux objectifs environnementaux du projet. *In fine*, les solutions qui avaient été simulées en phase de conception pourraient ne pas être retenues lors de la réalisation ! On voit tout l'intérêt ici d'associer tous les acteurs de la chaîne autour du projet pour gagner en performance.

Par ailleurs, il est difficile de créer un modèle de construction que l'on pourrait dupliquer à l'infini. L'empreinte carbone dépend du produit, du type de construction, de la zone géographique dans laquelle le bâtiment est implanté, comme le souligne Fabrice Denis.

Plutôt que d'opposer les matériaux les uns aux autres, il est préférable de les mixer et de choisir « le bon matériau au bon endroit » : ne pas construire tout en bois mais avec du bois, faire appel à des isolants performants qu'ils soient biosourcés (paille, lin), ou qu'ils contiennent des matières recyclées (laines minérales), utiliser les matériaux géosourcés (pierre et terre).

Ces nouvelles filières devront relever un double défi : celui de la massification et du changement des habitudes sur les chantiers.

3. Repenser les politiques et la gouvernance

Quels changements devraient être mis en œuvre pour assurer une résilience carbone à l'échelle mondiale, tout en prenant en compte les spécificités de chaque pays ou région ?

3.1. Développer une gouvernance industrielle

Nous l'avons constaté, ce secteur souffre d'une fragmentation importante qui l'empêche de se structurer, d'innover et d'initier une politique globale de résilience.

À partir des éléments transmis par les intervenants, on pourrait conclure que pour favoriser la mobilisation du secteur, une nouvelle gouvernance pourrait s'appuyer sur trois piliers :

- une intégration complète de la chaîne de valeur dans un environnement numérique ;
- le renforcement des majors dans la filière, notamment de nouveaux acteurs industriels capables de fournir des solutions complètes et maîtrisées à la filière ;

- une prise en compte d'un « coût complet du bâtiment » de la demande du maître d'ouvrage à l'exploitation par l'occupant.

L'une des pierres angulaires de cette nouvelle gouvernance est la mise en place généralisée du *Building Information Modeling* ou BIM, pour permettre de créer un processus commun dans cette chaîne de valeur. Les techniques numériques, dont le BIM, renforcent la capacité d'industrialisation de la filière, permettent un partage de l'ensemble des données (architecturales, techniques, environnementales, financière, données d'exploitation, *etc.*) favorisent le travail collaboratif et *in fine* diminuent les malfaçons et la sinistralité.

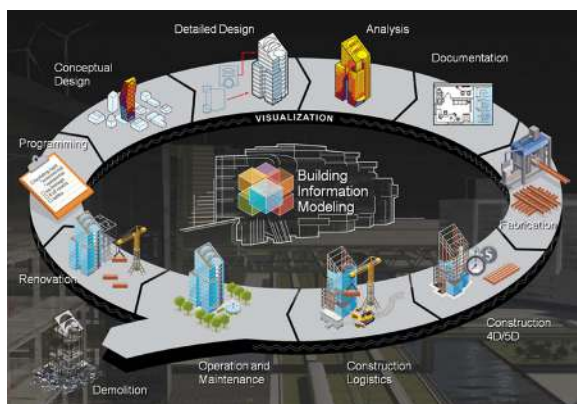


Figure 13. La maquette numérique à l'heure du BIM © AMC architecture, 2014.

Renforcer l'industrialisation des procédés de la construction, grâce à la fabrication hors site et à l'assemblage dans des usines de tout ou partie des bâtiments, a de nombreux avantages pour l'ensemble de la filière :

- mieux maîtriser les coûts de production ;
- réduire les délais de production et améliorer la compétitivité ;
- renforcer la capacité d'innovation des procédés ;
- transformer la qualification de la main-d'œuvre et offrir des conditions de travail améliorées ;
- rendre les bâtiments plus facilement démontables.

Les marges dans le secteur de la construction sont relativement faibles si on les compare à celles d'autres secteurs (INSEE, 2019). L'optimisation et la rationalisation des méthodes constructives pourraient apporter des gains (en matières premières, en énergie, en eau, *etc.*) et améliorer les marges.

Renforcer également la prise en compte globale du coût carbone dans chaque projet sur l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage. Cela permet de renforcer la coopération entre acteurs (maître d'ouvrage, concepteur, réalisateur, promoteur, exploitant, occupant, etc.)

3.2. Repenser les politiques d'aménagement

Une solution complémentaire à cette nouvelle gouvernance industrielle et numérique pourrait aussi venir d'une nouvelle organisation des politiques d'aménagement du territoire.

Le modèle européen est culturellement lié aux politiques publiques elles-mêmes contraintes par des agendas politiques et des échéances électorales. Les parties prenantes sont nombreuses, ce qui rend souvent les prises de décisions lentes et compliquées. Tout ceci peut *in fine* jouer sur la qualité (environnementale, fonctionnelle) des projets d'aménagement.

D'autres modèles peuvent exister en matière d'aménagement urbain. C'est le cas du projet Springfield (Australie) présenté par Charles Edouard Delpierre. Ce projet de ville nouvelle innovante se distingue par le fait que le foncier est détenu par un seul propriétaire privé.



Figure 14. Le projet Springfield, Australie © Engie/TRACTEBEL, 2019.

En France, les aménageurs privés interviennent le plus souvent à l'échelle d'un écoquartier (ou d'une parcelle plus limitée) mais rarement à l'échelle d'une ville entière. En revanche, les infrastructures et moyens de transports restent majoritairement gérés par des organismes publics.

Le projet Springfield a pour objet d'accompagner d'ici 2036, la croissance d'une population de 52 000 à 115 000 habitants avec une enveloppe d'investissement de 85 milliards de dollars australiens en prenant en compte toutes les infrastructures.

Parmi les actions menées pour cet aménagement « total », un *360 city scan* (étude locale de « sociologie urbaine ») a été réalisé par la société TRACTEBEL pour « comprendre avant d'agir » et porter une réflexion sur les cinquante prochaines années pour construire durablement. Ce scan a notamment permis de définir des objectifs concrets comme l'atteinte en 2038 du « net zéro énergie ».

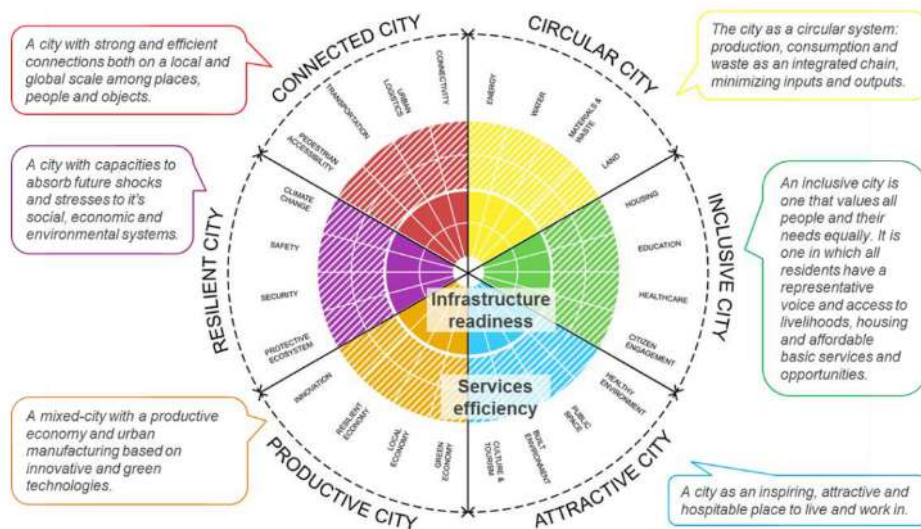


Figure 15. Détecter les points forts et les domaines d'amélioration potentiels grâce à un City Scan à 360°

© Charles Edouard Delpierre/TRACTEBEL.

Ce modèle de promotion privée à grande échelle peut surprendre ou susciter des questionnements, notamment sur sa taille et sa gouvernance, mais il a l'avantage de donner à l'aménageur une vision d'ensemble, une maîtrise totale du fonctionnement de la ville et des infrastructures urbaines et finalement la capacité à atteindre les objectifs fixés.

Des modèles alternatifs ou hybrides sont encore à imaginer pour permettre d'accroître l'efficacité des projets.

3.3. Financer l'amont de la filière

Une gouvernance solide et une structuration forte du secteur de la construction permettront de consolider la capacité des acteurs à innover et améliorer leur attractivité. En se rassemblant les acteurs de la construction pourront initier des politiques communes d'innovation, qui prendront en compte le cycle de vie complet des bâtiments.

Dans son « tour du monde des bonnes pratiques », Stéphanie Merger a noté le bilan mitigé des politiques de subvention financière directes. Certaines subventions peuvent parfois avoir un impact négatif sur la filière de la construction lorsqu'elles sont fléchées sur l'aval.

Citons par exemple le retour d'expérience sur le « super bonus 110 % italien ». Le dispositif a permis de créer un marché et une demande sur la rénovation énergétique avec un engouement important. Mais le montage administratif trop complexe et coûteux a créé une inflation et a généré des fraudes. Ce mécanisme, par effet rebond, a entraîné la faillite de plusieurs entreprises qui se sont endettées pour le compte de leurs clients et qui n'ont pas obtenu les aides espérées.

Nous pouvons encore citer l'exemple de la France avec des dispositifs (Bercy, 2022) tels que MaPrimeRénov', l'éco-prêt à taux zéro, le CEE, et les subventions de l'Agence nationale de l'habitat (ANAH). Une multitude de solutions de financement qui n'ont pas toutes l'efficacité espérée.

Ces subventions dopent le marché de la rénovation (plus celui de la rénovation par gestes que celui de la rénovation globale) et dans le même temps, on constate que la filière manque de main-d'œuvre qualifiée. On rappelle que pour bénéficier des aides, les travaux doivent être réalisés par des artisans certifiés RGE (Reconnue garant de l'environnement).

Or, en 2023, l'ADEME ne recense que 65 532 entreprises certifiées (ADEME, 2023), ce qui ne représente que 15 % des entreprises du secteur. Le nombre de certifications stagne depuis 2017. Face à l'urgence climatique, réaliser la transition énergie et carbone avec seulement 15 % de la main-d'œuvre disponible paraît illusoire. Cette problématique devrait être considérée avec plus d'attention. Ces chiffres expliquent le décalage entre le besoin de rénover massivement 700 000 logements par an pour atteindre les objectifs de la SNBC (France Stratégie, 2021) et les 20 000 rénovations réalisées chaque année, comme le rappelle Michel Pelenc. D'autant qu'en 2050, 98 % du parc immobilier français devra être rénové.

Thomas Granier (Association La Voûte Nubienne) nous a présenté une situation en Afrique de l'Ouest et des constats qui ne sont pas si différents de ce que nous venons de voir en Europe même si le contexte est autre. L'enjeu pour les pays africains en voie de développement est d'arriver à structurer une filière qui sera capable de répondre à la demande de construction, tout en préservant les ressources naturelles (consommation de terre, matières premières, etc.). Un nouveau modèle africain

est encore à créer. Thomas Granier pense qu'il est nécessaire de créer un véritable marché de l'écoconstruction. Pour cela, il faut mobiliser les financements nécessaires pour consolider la démarche, structurer la filière et sa gouvernance, ceci afin accélérer la transformation du secteur de la construction.

Selon lui, les produits de type microfinance et les produits bancaires doivent évoluer. Les outils financiers pour des pays d'Afrique sont encore à développer. Il est urgent de trouver des solutions pouvant permettre à ces populations – premières touchées par l'urgence climatique – de se loger à un prix abordable, tout en limitant les émissions de GES. Des propositions de financement peuvent être faites comme (Granier, 2023) :

- la mobilisation des fonds Adaptation en les fléchant sur les incitations à l'écoconstruction ;
- la mobilisation des mécanismes financiers de « l'Atténuation » ;
- la mise en place de produits microfinance « Accès à l'habitat neuf », inexistants dans ces pays.

Les causes de certains dysfonctionnements constatés dans les filières de la construction diffèrent d'un continent à l'autre. Mais on note un besoin commun d'accompagnement financier des filières de la construction pour produire mieux et innover et d'un accompagnement financier des ménages. Le financement de la filière par le marché en lui-même ne suffit pas.

Pour permettre de structurer un secteur de la construction fort à l'échelle internationale, il nous semble nécessaire de flécher des financements sur l'amont du secteur pour lui permettre de se transformer et d'innover et ainsi être en mesure de pouvoir apporter les solutions à la demande du marché.

Conclusion

Dans la phase de transition que connaît actuellement le secteur de la construction, il semble difficile de tirer des conclusions définitives. La journée de conférences sur le thème « Construire autrement, utiliser autrement » nous permet d'identifier les grands axes de réflexion et de percevoir les stratégies et les solutions qui commencent à être mises en œuvre pour atteindre les objectifs en matière d'immobilier et de bâtiment durables.

Le secteur de la construction en France présente un certain nombre de faiblesses au moment même où il doit se transformer rapidement pour faire face aux enjeux de la société bas-carbone. Parmi ces faiblesses, on peut citer une atomisation du secteur avec un très grand nombre de petites et très petites entreprises, des métiers

et corps d'état qui s'ignorent et travaillent en silo, des marges bénéficiaires faibles et une baisse de la productivité, un déficit important d'investissement et de R&D, un manque de main-d'œuvre qualifiée qui va nécessiter d'énormes efforts en matière de formation, un manque d'attractivité pour les nouvelles générations.

La formation et le développement de nouvelles compétences sont donc des aspects très importants dans le nouveau contexte de la construction et de la rénovation durable.

La filière doit se structurer rapidement et en profondeur afin de répondre aux enjeux environnementaux et sociétaux et se conformer aux différentes directives, lois et réglementations qui s'appliquent au secteur de la construction en France et en Europe (on peut citer à titre d'exemple la taxonomie européenne, la SNBC, la RE2020, la ZAN, *etc.*).

On a vu, tout au long de cette journée, que construire autrement ce n'est pas seulement améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et faire appel aux énergies renouvelables décarbonées. Cela va beaucoup plus loin : la transformation nécessaire (le « construire autrement ») touche toutes les échelles : matériaux, produits, bâtiments, quartiers et villes. Elle touche tous les acteurs de la construction : financiers, architectes, urbanistes, BET, entreprises, industriels. Cette transformation vise, certes, le neuf, mais surtout la rénovation des bâtiments existants. Mais le « construire autrement » pourrait ne pas permettre d'atteindre les performances attendues et par voie de conséquence les objectifs environnementaux à l'horizon 2050 si on ne l'associe pas à une démarche de sobriété touchant non seulement l'énergie mais également les ressources naturelles, l'eau, les matériaux et le foncier. C'est ici qu'intervient le « utiliser autrement » qui renvoie à une transformation des usages, des habitudes de consommation et donc au volet social.

Construire autrement, c'est aussi faire appel au recyclage et au réemploi. Cette pratique se développe actuellement mais nécessite encore la création d'une filière structurée de réemploi.

Sans développer le sujet plus avant, il est important de citer la loi sur la ZAN (zéro artificialisation nette) qui marque la volonté de préserver/mieux utiliser le foncier dans une approche de sobriété.

On ne répètera jamais assez que la transformation attendue ne se fera pas uniquement par l'innovation sur les matériaux et produits, mais par l'innovation sur les *process* et surtout par une hybridation des compétences, une intelligence collective dans une démarche collaborative. Une approche collaborative engage toutes les parties prenantes : concepteurs, entreprises, sous-traitants, clients et utilisateurs finaux, *etc.*

Cette journée de conférence nous a permis de comparer les situations entre différents pays notamment en Europe et en Afrique de l'Ouest. Les contextes sont bien sûr très différents, notamment en ce qui concerne la croissance démographique et les

besoins de constructions neuves. Mais des points communs ont été mis en évidence, notamment le recours à des matériaux locaux, bio- et géosourcés qui préservent l'environnement et économisent les ressources naturelles; le besoin de formation; la nécessité de structurer une filière de la construction et la nécessité de mettre en place des mécanismes de financement à la fois pour les entreprises (l'amont) et pour les ménages (l'aval).

Nous avons vu que le secteur de la construction doit innover. Les axes de recherche sont nombreux (matériaux, *process*, énergie, finance, *etc.*) et l'on en retiendra un en particulier : le numérique. Les techniques numériques dont le BIM renforcent la capacité d'industrialisation de la filière, permettent un partage de l'ensemble des données (architecturales, techniques, environnementales, financières, données d'exploitation, *etc.*), favorisent le travail collaboratif et *in fine* diminuent les malfaçons et la sinistralité.

L'exemple de la ville de Springfield en Australie nous amène à repenser les politiques d'aménagement du territoire. À ce stade, on peut dire que des modèles alternatifs ou hybrides d'aménagement sont encore à imaginer pour permettre d'accroître l'efficacité des projets.

Enfin, la question du financement – largement développée lors de la première journée du cycle de conférences – revient de manière récurrence. Nous avons vu que pour permettre de structurer le secteur de la construction, il semble nécessaire de flécher des financements sur l'amont du secteur pour lui permettre de se transformer et d'innover et ainsi être en mesure de pouvoir apporter les solutions à la demande du marché. Il n'en reste pas moins vrai que la transition environnementale et bas-carbone ne se réalisera (en particulier, dans le secteur du logement) que par la mise en place de mécanismes de financement facilement mobilisables y compris pour les ménages à faible revenu. Actuellement, on constate qu'il y a de nombreuses solutions et autres guichets de financement (aux niveaux français et européen) mais qu'ils sont encore méconnus et difficiles à mettre en œuvre notamment pour des particuliers qui voudraient procéder à une rénovation globale.

« Pour une croissance contributive, il faut viser la croissance de la valeur plutôt que la croissance du volume » (Fabrice Denis).

Introduction

To meet environmental challenges and achieve carbon neutrality by 2050, we urgently need to rethink our business models for construction and the use of our buildings. In 2022, the construction and building sector generated 37% of greenhouse gas (GHG) emissions, representing over 34% of global energy consumption. For Europe, this represents 40% of energy demand (Martinet, 2022).

Over the next thirty years, the world's population is set to grow by 20% to over 9.6 billion inhabitants (ONU, S.D.), unevenly and more dynamically in developing countries, which will experience strong economic growth. Africa, for example, is set to experience its "Great Thirties" (Mignot, 2015) over this period, with more than half its population under the age of 25.

If we are to achieve the common goal of zero net GHG emissions on a global scale, we need to look at the strategies implemented and the results obtained for each region of the world. The Global Alliance for Buildings and Construction (Global ABC) points out that 70% of Africa's housing stock for 2040 still needs to be built. This is fundamentally different from the situation in France, where 80% of the housing stock for 2050 already exists, and where the major challenge is rehabilitation. And all this in different climatic contexts.

To limit global warming to 1.5°C, GHG emissions must be stabilized by 2025 at the latest, and reduced by 43% by 2030. This is the prerequisite for compliance with the Paris Agreement's target of zero net CO₂ emissions by 2050.

Against this backdrop, we need to ask ourselves whether the building and construction industry is capable of providing local solutions that are economically and technically sustainable.

1. Current situation

1.1. The construction and real estate sector

The global construction industry enjoyed its golden age after the Second World War. Since the 1970s, unlike other industrial sectors, the sector has experienced a significant decline in productivity.

In addition, the sector is highly fragmented, resulting in a lack of coordination between the various players.

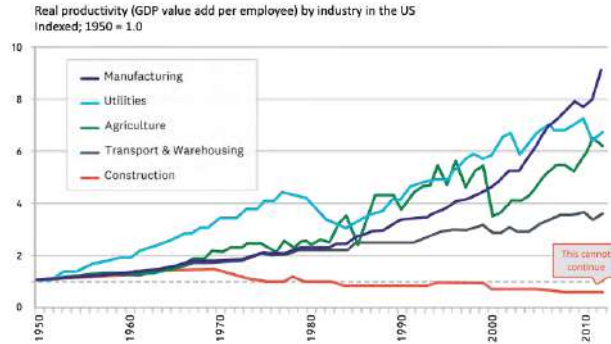


Figure 1. Construction Industry productivity 1950-2012 © STL Partners.

According to Thomas Le Diouron, this fragmentation can be explained historically by:

- The need to produce materials close to their place of use. For example, concrete (a material) or concrete products should not be manufactured too far from the construction site,
- Construction is often a "local" activity, requiring the creation of local companies.
- A fluctuating market that has favored the use of subcontractors to better manage variations in activity,
- The involvement of different building trades, with these trades still too often working in silos: designer, builder, manufacturers, promoters, insurers, *etc.*

A recent report by the French Ministry for Housing (Michel, Rivalon, 2021) goes further, pointing to the "atomization" of the construction sector due to the large number of companies (and particularly very small companies) involved in the act of building.

Although there are major groups in the construction sector, they do not have sufficient market share to enable them to play a structuring role:

- If we take the example of Japan, the five majors account for only 15% of the construction sector, which comprises 470,000 companies (Le Diouron, 2023).
- Of France's 427,000 construction companies, 94% are independent. Less than 1% of companies have more than 200 employees, yet they account for only 16% of the building industry's sales (FFB, 2023), which means that the sector is horizontally fragmented.
- This segmentation is reinforced vertically by the large number of actors who intervene in parallel or sequentially in the construction process (architect, design office, developer *versus* builder, *etc.*).

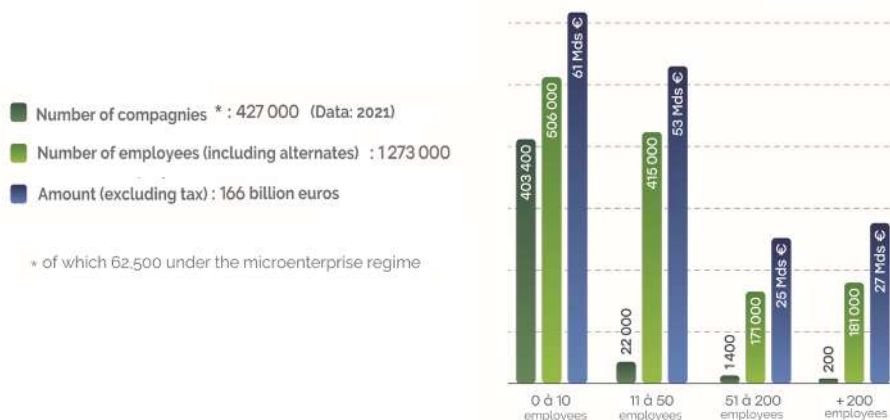


Figure 2. Companies whose main activity is building
 (source: adapted from Fédération française du bâtiment, 2023, p. 2).

As Thomas Le Diouron points out, this sector suffers from a significant investment and R&D deficit compared to other industrial sectors. This under-investment can be partly explained by low margins, which do not allow sufficient financial resources to be released for R&D.

Skilled labor is an important issue at a time when the proportion of under-30s has fallen in many countries. In the USA, for example, it fell by almost a third between 2005 and 2016. In Hong Kong, 42% of the workforce is over 50, and in France it is estimated that 1/3 could retire by 2030 (Michel, Rivalon, 2021, *op. cit.*).

It is therefore legitimate to question the industry's capacity to structure itself rapidly in order to meet environmental and societal challenges. The competitive environment is not conducive to increasing margins, and inflation in materials prices, combined with falling household purchasing power, is limiting investment and R&D capacities.

However, companies need to innovate over the next ten years if they are to succeed in building at acceptable prices while reducing the carbon footprint of construction.

1.2. Challenges for regions with an existing housing stock: priority to renovation

The latest report from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) predicts an increase in the number of natural disasters worldwide by 2050. The pace of flooding, heat waves and hurricanes will intensify, rendering some vulnerable buildings unusable or even dangerous, as they will be unable to withstand these extreme events (IPCC, 2023).

Every year, France consumes an average of 20,000 to 30,000 hectares of land for development purposes. Land consumption is growing four times faster than population growth, yet has failed to meet our housing needs for over 35 years (Préfet de l'Eure, S. D.). The consequences of this over-consumption are numerous, not least for the environment. To speed up the environmental transition, the public authorities have introduced the concept of ZAN (zero net artificialisation) in the Climate and Resilience Act, with the aim of preserving biodiversity and our common heritage. The government's stated aim is to preserve agricultural land while combating heat islands and soil sealing.

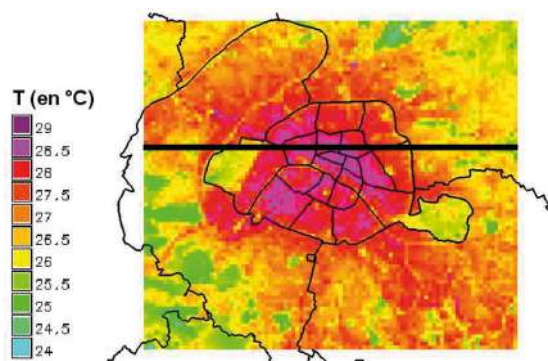


Figure 3. Urban heat island simulated over the Paris metropolitan area: average air temperatures at 2 m at 02, 03 and 04 UTC (4 am, 5 am and 6 am local time) for the 5 nights of the heat wave (2003). © Epicea, 2012, p. 12.

ZAN will soon enable us to rethink urban planning by applying the concept of “rebuilding the city on itself”. The massive artificialization of land has an impact on agricultural production and undermines the country's food independence. In addition, it causes either runoff or instant evaporation of rainwater, leading to a shortfall in groundwater replenishment. Land-use planning must increasingly take into account the water cycle and the damaging effects of soil artificialization, to enable groundwater to recharge and thus reduce the risk of drought (MTECT, MTE, 2022).

Another issue raised is that of heat islands. This phenomenon makes cities uncomfortable in very hot weather and difficult to live in during heatwaves. Temperature measurements show differences of up to +6°C between urbanized areas and vegetated zones with little or no artificial development. This relative rise in temperature in cities, linked to construction materials (buildings and pavements) and urban morphologies, makes buildings increasingly energy-intensive if the only way to keep them at comfortable temperatures is through air-conditioning.

The first phase of the ZAN scheme aims to reduce soil sealing by 50% by 2031, leading to net zero by 2050. However, at present mayors still have sufficient power

to defer or limit the application of ZAN, which means that urban expansion cannot be halted quickly. Today, it is possible to circumvent the objectives of the SNBC (National Low-Carbon Strategy) (MTES, 2020). It may therefore also be possible to circumvent the requirements of ZAN, as Nicolas Ziesel pointed out at the April 5 conference.

Finally, as long as building heights remain limited and PLU (Local Urban Plan) continue to prohibit the construction of buildings of more than two storeys in town centers, urban sprawl will remain, for some municipalities, the only solution to meet the housing needs of dynamic conurbations.

It is therefore crucial to adapt cities and neighborhoods to climate change, and to integrate this context into building design and the choice of construction solutions. ZEBs (Net Zero Energy Buildings) are buildings that combine energy efficiency, the use of renewable energies and sobriety of use. Bioclimatic buildings maximize their energy efficiency because they are designed according to local climatic conditions and site constraints (orientation) (MTECT, MTE, 2017).

But as we have seen, new construction in developed countries in general, and in France in particular, represents only a small proportion of the building stock (80% of the homes of 2050 already exist [ANAH, 2023]). It is therefore essential to work on renovation, particularly the energy-efficient renovation of existing buildings.

This comprehensive renovation program must include improving thermal insulation and modernizing heating, cooling (heat pumps) and ventilation systems (double-flow ventilation or natural ventilation in passive houses) (Pelenc, 2023).

It seems necessary, as Fabrice Denis points out, to commit to promoting sustainable construction using a collaborative approach aimed at encouraging this practice with all stakeholders: customers, subcontractors and local communities. Sustainable construction is not just about designing passive or low-impact buildings, it must also be aligned with social requirements, take account of uses and their evolution, and also respond to economic imperatives. Training and the development of new skills are very important aspects in the new context of sustainable construction and renovation. For example, a specialist engineer who has been working in new social housing for 25 years should take an increasing interest in renovation on occupied sites, and train for this new challenge (Denis, 2023).

Against this backdrop, those involved in construction and renovation face a number of challenges in designing and building sustainable buildings, while keeping the sale price under control and taking into account the expectations, needs and lifestyles of users (owners or tenants) and changes in usage over time. The new RE2020 environmental regulations will accelerate the environmental transition by setting targets, thresholds, minimum requirements, a timetable and a method. Its long-term benefits – reduced operating costs and positive environmental impacts – make it an indispensable framework for the future of the construction industry.

1.3. The challenges of high-demographic-growth areas: eco-efficient construction

According to United Nations forecasts, the 49 least-developed countries will experience rapid growth over the coming decades. These countries, particularly those in Africa, have seen rapid economic growth in recent years, as well as improvements in health and nutrition, resulting in an increase in their population (ONU, S. D., *op. cit.*).

Rapid population growth in developing countries can put pressure on natural resources and infrastructure. On the other hand, it can also place a strain on the environment and create difficulties for political decision-makers. Governments and international organizations must work together to reconcile environmental, economic and human objectives. The latter include providing jobs, healthcare, education and training for local populations.

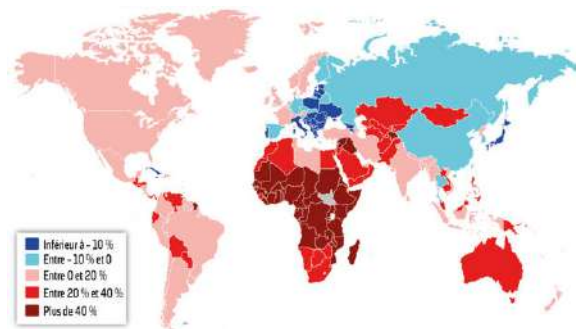


Figure 4. World population trends to 2050 © Le Parisien/Cellule Data, 2019

Doudou Deme and Nicolas Rondet show that in Africa, initiatives are already in place to meet the growing needs of the population in terms of housing and resilience in the face of the global warming that particularly threatens them (Hiault, 2023). These countries need to innovate in order to reconcile growth and decarbonization of industry. This requires the emergence of new techniques or the adaptation of traditional techniques to enable the construction of new buildings that are more environmentally friendly, more comfortable (e.g., bioclimatic buildings), using local, bio- or geo-sourced materials and at lower prices than imported materials.

Resources exist to finance these changes, such as adaptation funds². But according to Thomas Granier, these funds are not yet easy to mobilize. Yet these countries, which are the main victims of global warming without being primarily responsible for it, urgently need these funds to improve their living conditions. More than a hundred

² The Adaptation Fund (AF) was founded in 2001 following the Conferences Of Parties (COP7). See: <https://www.adaptation-fund.org/af-10-years/>.

million extremely poor people are affected by the acceleration of global warming in Africa, according to the UN report on the state of the climate in Africa (GEO, 2021).

2. Innovative technical solutions

According to Thomas Le Diouren the construction sector is obliged to transform itself, but structurally it has a very slow pace of change, with practices that are often difficult to change. What is more, solutions will have to be local, as the challenges are linked to the specific characteristics of each territory.

How can technical innovation help the construction sector make the transition to a more ecological and sustainable future?

2.1. Digital: start-ups supporting the industry

Thomas Le Diouren points out that innovation mechanisms are being transformed to meet the challenges facing the construction industry, by enabling collective intelligence approaches to be put in place, accelerating the digital transition and transforming territories and industries in the sector.

In France, since 2008 and the *Grenelle de l'Environnement*, the level of requirements has been higher than in other European countries (with the exception of northern European countries). For example, the regulations set minimum recycling rates for building waste and a GHG emission threshold not to be exceeded in new construction. To meet these targets, the industry is developing projects for environmental excellence. This approach includes an ambition and a progressive action plan. It relies on innovative solutions developed by start-ups to serve traditional players in the construction industry.

According to Thomas Le Diouren, the construction industry is particularly well-suited to the use of big data, artificial intelligence and machine learning techniques. It is characterized by:

- reproducible processes, but on different objects,
- increasingly available data, via sensors, open data and enhanced image processing capabilities,
- immense optimization challenges (investment costs, quantities of materials and resources, long-term impact, etc.).

Digital technology is therefore a major asset in the environmental transition, with a strong development of these techniques in the field of environmental optimization.

These innovative companies are also part of a more global BIM (Building Information Modeling) scheme, which is a strong lever for the defragmentation of the sector, as we shall see a little further on.

Digital innovation can help to :

- save time in the design phase:
 - by scanning buildings to take stock before renovation,
 - by automatically switching from scanning to BIM,
 - by assisting design offices and architects in the design phase (*e.g.*, by providing databases of material characteristics),
- better understand the context of a project (aggregation of real estate prices, building history, rental and purchase values, *etc.*),
- better control building usage through intelligent use of usage data. To use a building efficiently, you need to understand it in detail. To achieve this, many inexpensive, autonomous sensors have been developed in recent years with the rise of the Internet of Things (IoT).

2.1. Materials: decarbonizing the production chain

2.1.1. Acting on industrial SCOPE

Two-thirds of a building's greenhouse gas emissions are due to "operational carbon" linked to building operation, and one-third to materials (so-called "embodied carbon") (Normant, 2023).

Manufacturers like Saint-Gobain, world leader in sustainable construction, are committed to carbon neutrality by 2050, with milestones as early as 2025. As presented by Emmanuel Normant, this commitment is the compass that guides the CSR roadmaps of each Group entity. This manufacturer's experience shows that it is possible to take concrete action on a large scale.

Existing solutions make it possible to decarbonize 2/3 of activities in scope 1 (direct emissions) and scope 2 (indirect emissions):

- by changing energy supplies,
- by aiming for operational excellence (increasing manufacturing process yields, *etc.*),
- by optimizing product design and formulation (a lighter product with equal performance, for example),
- by optimizing logistics,
- by integrating recycled materials in the manufacture of glass, glass wool, plaster, *etc.*

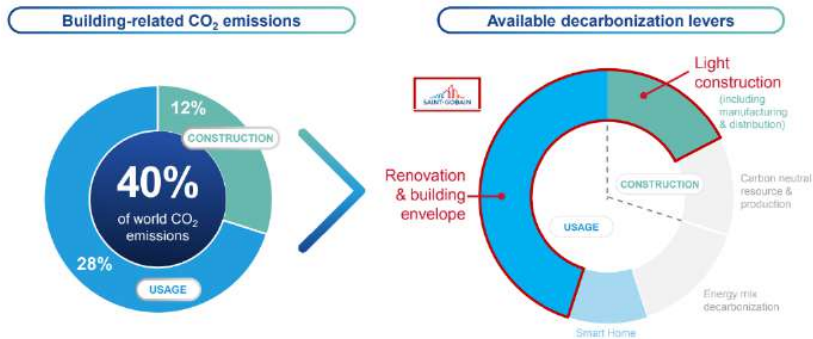


Figure 5. Saint-Gobain solutions to decarbonize 2/3 of building re-leated emissions
© Emmanuel Normant/Saint-Gobain, 2023.



Figure 6. Sustainability: A long-standing commitment for Saint-Gobain
© Emmanuel Normant/Saint-Gobain, 2023.

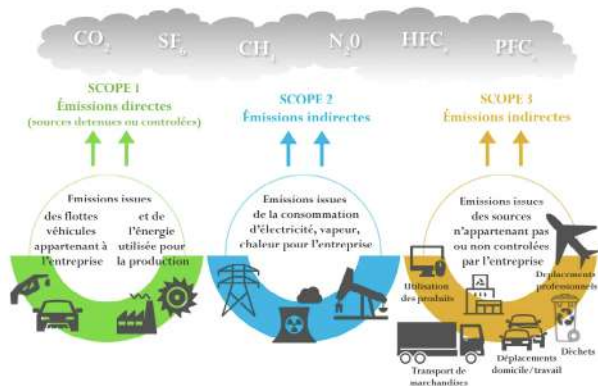


Figure 7. Scopes 1, 2 and 3 perimeters © Global Climat Initiatives.

On Scope 3 upstream of the business (raw materials, products purchased for distribution and transport), a major decarbonization initiative has been launched with a collaborative approach, involving suppliers.

Emmanuel Normant believes that to achieve carbon neutrality by 2050, new technical solutions need to be implemented in manufacturing processes. Today's manufacturers are designing pilots that will have to be scaled up to industrial production tomorrow.

The Saint-Gobain group is already designing 0-carbon scope 1 and 2 plants for all its processes:

- a 0-carbon glass production week in France: 100% biogas, 100% flat glass cullet,
- a plasterboard plant: using 100% electrical energy from Norway (hydroelectric power, etc.).

The challenge will be to massify these processes, without waiting for new business models based on renewable energies to be established.

Emmanuel Normant reminds us in this diagram of the challenge represented by a "net zero carbon" target: "Targets are absolute, which means not only reducing existing emissions but also cancelling out growth-related emissions between the baseline and the target year".

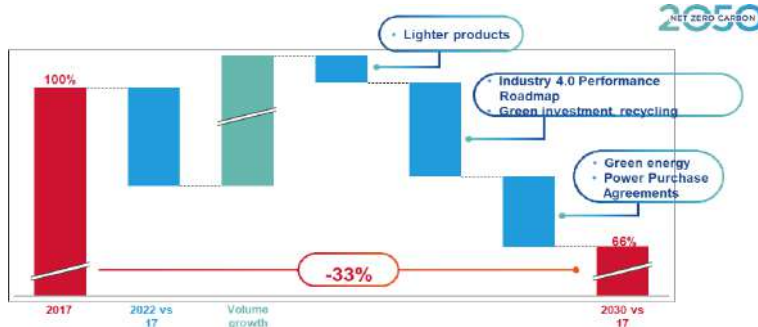


Figure 8. Levers needed to achieve -33% scope 1+2 emissions by 2030
© Emmanuel Normant/Saint-Gobain, 2023.

2.2.2. Geo-sourced materials: feedback from Africa

Doudou Deme reveals initiatives already implemented to enable alternative geo-sourced construction. These processes can support the growth needs of developing countries, while reconciling decarbonization requirements.

One of the materials highlighted in particular is terracotta brick (TCB), an alternative to breeze-block that can be used in a wide variety of ways and is standardized. This proves the reliability of the process and makes its use possible within regulatory frameworks.



Figure 9. Djoloff hotel extension project at Fann-Hock, Dakar © Elementerre, 2016.



Figure 10. Nkd House, Dakar. Compressed earth block © Agence Worofila, 2021.

Nicolas Rondet talks about his experience in building a zero-carbon city in Dakar using local, biosourced or geo-sourced materials. Using an urban approach to improve orientation and solar protection, adapted solutions were put in place to meet family lifestyles while at the same time consuming little energy.

These two speakers are behind the Banban project, an example of advocacy to demonstrate that it is possible to reconcile quality materials with local, sustainable production. This neighborhood project proposes a concept of massification with an economy of scale, thus reducing the environmental impact of the city of Dakar while meeting the growing housing needs of the population.

Another speaker, Thomas Granier, revisits a technique in Africa identified as early as the 1980s by the NGO Development Workshop DW, which enables the construction of vaulted-roof dwellings without formwork, using local materials, basic tools and relatively simple technical skills. The process is functional with numerous feedbacks, and is an appropriate response to the challenges of the housing sector in Africa. What is needed now is to simplify and standardize the process, so as to encourage local populations to adopt it (AVN, S. D).



Figure 11. Construction project of the Association La Voûte Nubienne © Association La Voûte Nubienne (AVN).

Global population growth represents a major challenge for the economy, politics and the environment. However, initiatives such as those presented by speakers in Africa show that sustainable solutions adapted to local lifestyles can be found to meet the growing needs of the population.

Indeed, the construction of modern, sustainable buildings is a growing concern in developing countries. Populations aspire to buildings that are resistant, comfortable and aesthetically pleasing. In this context, the use of clay bricks, a traditional building technique, is often perceived as a throwback to the past. However, it is important to emphasize that this technique can be adapted to today's needs, and offers advantages in terms of sustainability and energy efficiency.

These efforts need to be supported by greater collaboration between governments, international organizations and the private sector, mainly because of the priority given to the commercialization of materials rather than the process itself.

The main challenge in gaining acceptance of the traditional clay brick technique in new construction is to change local people's perception of it. Indeed, this technique is often considered archaic. To achieve this, it is important to demonstrate its advantages, particularly in terms of durability and energy efficiency. But it is also important to use this technique to construct modern buildings with contemporary architecture (e.g., a TER train station).

2.2. Design: a model to be reinvented

Manufacturers are implementing strategies to decarbonize their construction products. But innovation also needs to focus on construction processes that have a major impact on the environment and which contribute to the final performance of the structure.

Fabrice Denis highlights several levers for building differently:

- Firstly, the building's thermal performance must be optimized (for new or renovation projects) in order to reduce the amount of operational carbon. The main targets are the building envelope and the energy that powers it,
- Secondly, environmental criteria must be taken into account when selecting products.



Figure 12: Five levers to build differently (source: adapted from Fabrice Denis/Bouygues Immobilier).

Reused products make use of stock already manufactured, saving resources and reducing greenhouse gas emissions. But this technique completely revolutionizes the way general contractors and craftsmen work, as they can no longer source materials as they did before. At present, it is not yet possible to order a reused product from a conventional distributor. Craftspeople have to work with an ecosystem of dismantling companies and building sites to access and use the resources available. This way of thinking and doing differs from that which prevailed in previous decades. Builders are returning to the traditional reflexes of the construction industry: local sourcing (Denis, 2023, *op. cit.*).

New digital technologies now make it possible to simulate the carbon weight of buildings, and thus aid decision-making. Nevertheless, Fabrice Denis recommends avoiding the "caricature of CO₂ comparison between materials" at this stage, and thinking about the design as a whole, including all parameters and all players.

Today, even with highly advanced life cycle analyses (LCA) in the design phase, the construction company may be tempted to optimize all the lots on receipt of the specifications if it has not been made aware of the project's environmental objectives. Ultimately, solutions that had been simulated in the design phase might not be adopted during the construction phase! This shows the importance of involving all stakeholders in the project chain in order to improve performance.

Furthermore, it is difficult to create a construction model that can be duplicated ad infinitum. The carbon footprint depends on the product, the type of construction and the geographical area in which the building is located, as Fabrice Denis points out.

Instead of pitting materials against each other, it is better to mix them and choose "the right material in the right place": don't build all in wood, but with wood; use high-performance insulation, whether bio-sourced (straw, flax) or containing recycled materials (mineral wool); use geo-sourced materials: stone and earth, *etc.*

These new sectors face a twofold challenge: mass production and changing habits on building sites.

3. Rethinking policies and governance

What changes should be implemented to ensure carbon resilience on a global scale, while taking into account the specific features of each country or region?

3.1. Develop industrial governance

As we have seen, this sector suffers from considerable fragmentation, preventing it from structuring itself, innovating and initiating a global resilience policy.

Based on the information provided by our stakeholders, we can conclude that a new form of governance could be based on three pillars in order to mobilize the sector:

- Complete integration of the value chain in a digital environment,
- Strengthening of the major players in the sector, particularly new industrial players capable of supplying complete, controlled solutions to the sector,
- Consideration of a "complete building cost", from the client's request to the occupant's use of the building.

One of the cornerstones of this new governance is the widespread implementation of Building Information Modeling, or BIM, to create a common process in this value chain. Digital techniques, including BIM, boost the industry's industrialization capacity,

enable the sharing of all data (architectural, technical, environmental, financial, operating data, etc.), promote collaborative work and ultimately reduce defects and claims.

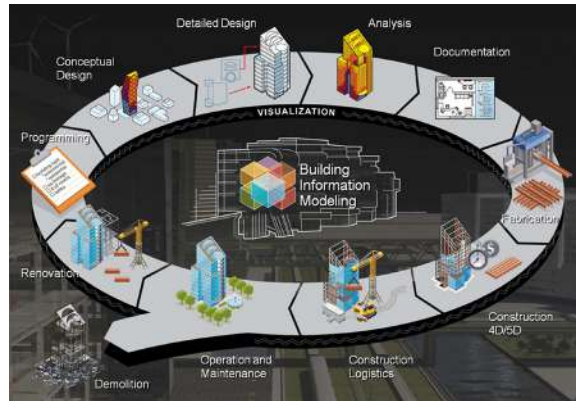


Figure 13. Digital mock-up © AMC architecture, 2014.

Reinforcing the industrialization of construction processes, thanks to off-site manufacturing and assembly in factories of all or part of the buildings, has numerous advantages for the entire sector:

- Control production costs better,
- Reduce production lead times and improve competitiveness,
- Strengthen process innovation capacity,
- Improve workforce skills and working conditions,
- Make buildings easier to dismantle.

Margins in the construction sector are relatively low compared to other sectors (INSEE, 2019). Optimizing and rationalizing construction methods could bring savings (in raw materials, energy, water, etc.) and improve margins.

We need to reinforce the overall consideration of carbon costs in each project, throughout the entire life cycle of the structure. This strengthens cooperation between the various players (project owner, designer, builder, promoter, operator, occupier, etc.) in the construction process.

3.2. Rethinking development policies

A complementary solution to this new industrial and digital governance could also come from a new organization of regional planning policies.

The European model is culturally linked to public policies, which are themselves constrained by political agendas and electoral deadlines. The large number of stakeholders involved often makes decision-making slow and complicated. All this can ultimately affect the quality (environmental, functional) of development projects.

Other models exist for urban development. Such is the case of the Springfield (Australia) project presented by Charles Edouard Delpierre. This innovative new town project is distinguished by the fact that the land is held by a single private owner.



Figure 14. Springfield project, Australia © Engie/TRACTEBEL, 2019.

In France, private developers usually operate on the scale of an eco-district (or more limited plot), but rarely on the scale of an entire city. On the other hand, infrastructure and transport services are mainly managed by public bodies.

The aim of the Springfield project is to support the growth of a population of 52,000 to 115,000 inhabitants by 2036, with an investment envelope of 85 billion Australian dollars, taking into account all infrastructures.

Among the actions undertaken for this "total" development, a 360 city scan (a local "urban sociology" study) was carried out by the company Tractebel to "understand before acting" and reflect on the next fifty years for sustainable construction. This scan has enabled us to define concrete objectives, such as achieving "Net Zero Energy" by 2038.

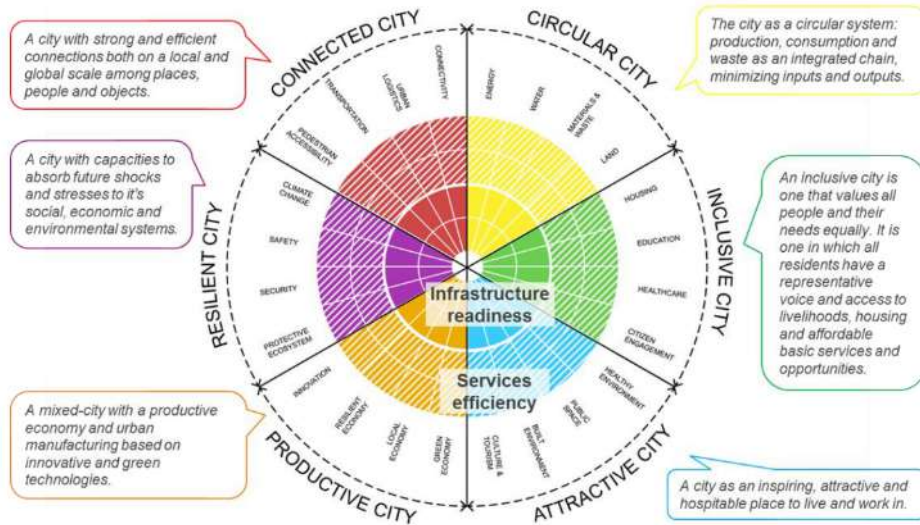


Figure 15. A 360° City Scan enables the detection of strengths and potential areas of improvement
© Charles Edouard Delpierre/TRACTEBEL.

This model of large-scale private development may come as a surprise or raise questions, particularly about its size and governance, but it has the advantage of giving the developer an overall vision, total control over the operation of the city and urban infrastructure, and ultimately the ability to achieve the objectives set.

Alternative or hybrid models have yet to be devised to increase project efficiency.

3.3. Financing the upstream part of the industry

Strong governance and structuring of the construction sector will consolidate the ability of players to innovate and improve their attractiveness. By coming together, construction players will be able to initiate joint innovation policies taking into account the entire life cycle of buildings.

In her "World tour of best practices", Stéphanie Merger noted the mixed results of direct financial subsidy policies. Certain subsidies can sometimes have a negative impact on the construction industry when they are targeted downstream.

Take, for example, feedback on the "110% Italian super bonus". The scheme helped create a market and demand for energy-efficient renovation, and generated considerable enthusiasm. But the overly complex and costly administrative set-up led to inflation and fraud. The rebound effect of this mechanism led to the bankruptcy of a

number of companies, which went into debt on behalf of their customers and were unable to obtain the aid they had hoped for.

Another example is France, with schemes such as *MaPrimeRénov'*, zero-rate eco-loan, energy saving certificate and ANAH (National Housing Agency) subsidies. A multitude of financing solutions, not all of which are as effective as hoped.

These subsidies are boosting the renovation market (more for renovation by gesture than for overall renovation), but at the same time the industry is experiencing a shortage of skilled workers. Recall that to benefit from these subsidies, the work must be carried out by RGE (Recognized as an environmental guarantor) certified craftspeople.

However, in 2023, ADEME counted only 65,532 certified companies, representing just 15% of companies in the sector. The number of certifications has stagnated since 2017. In the face of the climate emergency, achieving the energy and carbon transition with just 15% of the available workforce seems illusory. This issue should be considered more carefully. These figures explain the discrepancy between the need to massively renovate 700,000 homes a year to achieve the SNBC targets, and the 20,000 renovations carried out each year, as Michel Pelenc reminds us. Especially since, by 2050, 98% of the French housing stock will have to be renovated.

Thomas Granier (La Voûte Nubienne Association) gave us an overview of the situation in West Africa and some observations that are not so different from what we have recently seen in Europe, even if the context is different. The challenge for developing African countries is to structure an industry capable of meeting construction demand, while preserving natural resources (land consumption, raw materials, etc.). A new African model has yet to be created. Thomas Granier believes that we need to create a real market for eco-construction. To achieve this, we need to mobilize the necessary funding to consolidate this approach, structure the industry and its governance, and accelerate the transformation of the construction sector.

In his view, micro-finance and banking products need to evolve. Financial tools for countries like Africa have yet to be developed. There is an urgent need to find solutions that will enable these populations – the first to be affected by the climate emergency – to find affordable housing while limiting GHG emissions. Financing proposals include:

- Mobilize "Adaptation" funds by targeting them toward eco-construction incentives,
- Mobilize "Mitigation" financial mechanisms,
- Set up "Access to new housing" microfinance products, which do not yet exist in these countries.

The causes of certain dysfunctions in the construction industry differ from one continent to another. But there is a common need for financial support for the construction industry, to enable it to produce better and innovate, and for financial support for managers. Market financing alone is not enough.

In order to build a strong construction sector on an international scale, we believe it is necessary to channel funding upstream to enable the sector to transform and innovate, and thus be in a position to provide solutions to market demand.

Conclusion

In the current transitional phase in the construction sector, it seems difficult to draw definitive conclusions. A day of conferences on the theme of "Building differently, using differently" will enable us to identify the main lines of thinking and to perceive the strategies and solutions that are beginning to be implemented to achieve sustainable real estate and building objectives.

France's construction sector has a number of weaknesses at a time when it needs to transform rapidly to meet the challenges of a low-carbon society. These weaknesses include the fragmentation of the sector, with a very large number of small and very small companies, building trades that ignore each other and work in silos, low profit margins and declining productivity, a high level of investment and R&D, a shortage of skilled labor that will require enormous training efforts, and a lack of appeal to new generations.

Training and the development of new skills are therefore very important in the new context of sustainable construction and renovation.

The industry must therefore structure itself quickly and thoroughly in order to meet environmental and societal challenges and comply with the various directives, laws and regulations that apply to the construction sector in France and Europe (for example, European taxonomy, SNBC, RE2020, ZAN, *etc.*)

As we have seen throughout the day, building differently is not just about improving the energy efficiency of buildings and using low-carbon renewable energies. It goes much further: the necessary transformation ("Building differently") affects every scale: materials, products, buildings, neighborhoods and cities. It affects all those involved in construction: financiers, architects, urban planners, BETs, contractors and manufacturers. This transformation targets new buildings, but mainly the renovation of existing ones. However, "Building differently" may not achieve the expected level of performance and, consequently, the environmental objectives for 2050, if it is not combined with a sobriety approach affecting not only energy, but also natural resources, water, materials and land. This is where "Use differently" comes in, as it refers to a transformation of uses and consumption habits, and therefore to the social aspect.

Building differently also means recycling and reuse. This practice is currently developing, but still requires the creation of a structured re-use sector.

Without developing the subject further, it is important to mention the law on ZAN (zero net artificialization) which marks the desire to preserve / make better use of land in a sober approach.

We cannot stress enough the fact that the transformation we are looking forward to will not come about through innovation in materials and products alone, but through innovation in processes, and above all through the hybridization of skills and collective intelligence in a collaborative approach. A collaborative approach involves all stakeholders: designers, companies, subcontractors, customers and end-users.

This one-day conference enabled us to compare situations in different countries, particularly in Europe and West Africa. The contexts are of course very different, particularly in terms of demographic growth and the need for new buildings. But some common points were highlighted: in particular, the use of local, bio-sourced and geo-sourced materials that preserve the environment and save natural resources; the need for training; the need to structure a construction industry and the need to set up financing mechanisms for both companies (upstream) and households (downstream).

As we have seen, the construction sector needs to innovate. There are many areas of research (materials, processes, energy, finance, *etc.*), and one in particular is digital. Digital techniques, including BIM, reinforce the sector's industrialization capacity, enable the sharing of all data (architectural, technical, environmental, financial, operating data, *etc.*), promote collaborative work and, ultimately, reduce defects and claims.

The example of the city of Springfield in Australia shows us that we need to rethink regional planning policies. At this stage, we can say that alternative or hybrid planning models have yet to be devised to increase the effectiveness of projects.

Finally, the question of financing – extensively developed during the first day of the conference cycle – came up repeatedly during this conference on April 4. We have seen that, in order to structure the construction sector, it seems necessary to channel funding upstream to enable the sector to transform and innovate, and thus be in a position to provide solutions to market demand. Nevertheless, it remains true that the environmental and low-carbon transition will only be achieved (particularly in the housing sector) by putting in place financing mechanisms that are easy to mobilize, including for low-income households. At present, there are a number of financing solutions and windows (at French and European level), but they are still little-known and difficult to implement, particularly for private individuals wishing to carry out a comprehensive renovation.

"For growth to be contributive, we must aim for growth in value rather than growth in volume"
(Fabrice Denis).

Sources • Sources

Figure 1.

STL PARTNERS, S. D., Coordination Age: Digital Twin applications for building construction [en ligne]. *stlpartners.com*. Disponible sur : <https://stlpartners.com/articles/enterprise/digital-twin-apps-building-construction/> (consulté le 10.08.2023). Cité par LE DIOURON, Thomas, 2023. L'innovation au service de la transformation du secteur : Comment les dispositifs d'innovation se transforment pour faire face aux défis de la filière. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 2.

FÉDÉRATION FRANÇAISE DU BÂTIMENT, 2023. *Le bâtiment en chiffres 2022* [en ligne]. Paris: FFB, 2 p. Disponible sur : <https://www.ffbatiment.fr/le-batiment-en-chiffres> (consulté le 10.08.2023).

Figure 3.

ÉTUDE PLURIDISCIPLINAIRE DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'ÉCHELLE DE L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE (-EPICEA), 2012. *Rapport final du projet. Octobre 2012* [en ligne]. Paris : Mairie de Paris, CSTB, Météo France, APUR, APC, 31 p. Disponible sur : https://www.umn-cnrm.fr/IMG/pdf/epicea-rapport-final_v4.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 4.

KORDA, Robin, 2019. 10 milliards d'humains en 2050 ? Voici à quoi ça pourrait ressembler [en ligne]. *Le Parisien*, 20 juin 2019. Disponible sur : <https://www.leparisien.fr/societe/10-milliards-d-humains-en-2050-voici-a-quoi-ca-pourrait-ressembler-20-06-2019-8098530.php> (consulté le 10.08.2023).

Données : UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, 2019. *World Population Prospects 2019. Highlights*. New-York : UN, 46 p.

Figure 5.

NORMANT, Emmanuel, 2023. Saint-Gobain : des solutions pour décarboner le bâtiment. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 6.

NORMANT, Emmanuel, 2023, *ibid.*

Figure 7.

GLOBAL CLIMATE INITIATIVES, S. D. Les émissions directes et indirectes : Cartographie des SCOPES 1, 2 et 3 selon le GHG Protocol [en ligne]. *globalclimateinitiatives.com*. Disponible sur : <https://globalclimateinitiatives.com/e-brochures-connaissances/scope/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 8.

NORMANT, Emmanuel, 2023, *ibid*.

Figure 9.

DEME, Doudou et RONDET, Nicolas, 2023. Construire autrement. Enjeux et limites. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 10.

WOROFILA, 2021. Maison Nkg [en ligne]. *worofila.com*. Disponible sur : <https://worofila.com/projets/maisonnkg/> (consulté le 10.08.2023). Cité par DEME, Doudou et RONDET, Nicolas, 2023. *ibid*.

Figure 11.

GRANIER, Thomas, 2023. Défis et leviers d'une diffusion à grande échelle de pratiques constructives adaptées en Afrique. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 12.

DENIS, Fabrice, 2023. Comment concilier croissance et décarbonation ? In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 13.

CARSALADE, Laure, 2014. La maquette numérique à l'ère du BIM [en ligne]. *AMC architecture*, 09 avril 2014. Disponible sur : <https://www.amc-archi.com/article/la-maquette-numerique-a-l-ere-du-bim.45843> (consulté le 10.08.2023).

Figure 14.

DELPIERRE, Charles Édouard, 2023. Roadmap towards a Net Zero Energy City by 2038. Springfield, Australia. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 15.

DELPIERRE, Charles Édouard, 2023, *ibid.*

Bibliographie • References

ADEME, 2023. Nombre d'entreprises RGE [en ligne]. *data.ademe.fr*, 14 mars 2023. Disponible sur : <https://data.ademe.fr/applications/nombre-d'entreprises-rge> (consulté le 10.08.2023).

AGENCE NATIONALE DE L'HABITAT, 2023. L'ANAH, la CAPEB et la FFB renforcent leur coopération sur MaPrimeRénov' pour lutter contre la fraude et fluidifier le rythme des paiements [en ligne]. *anah.fr*, 28 février 2023. Disponible sur : <https://www.anah.fr/presse/detail/actualite/lanah-la-capeb-et-la-ffb-renforcent-leur-cooperation-sur-maprimerenov-pour-lutter-contre-la-fraude-et-fluidifier-le-rythme-des-paiements/> (consulté le 10.08.2023).

BERCY INFOS, 2022. Aides pour la rénovation énergétique des logements [en ligne]. *economie.gouv.fr*, 11 octobre 2022. Disponible sur : <https://www.economie.gouv.fr/particuliers/aides-pour-la-renovation-energetique-des-logements> (consulté le 10.08.2023).

DELPIERRE, Charles Édouard, 2023. Roadmap towards a Net Zero Energy City by 2038. Springfield, Australia. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

DEME, Doudou et RONDET, Nicolas, 2023. Construire autrement. Enjeux et limites. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

DENIS, Fabrice, 2023. Comment concilier croissance et décarbonation ?. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

FÉDÉRATION FRANÇAISE DU BÂTIMENT, 2023. Le bâtiment en chiffres 2022 [en ligne]. Paris : FFB, 2 p. Disponible sur : <https://www.ffbatiment.fr/le-batiment-en-chiffres> (consulté le 10.08.2023).

FRANCE STRATÉGIE, 2021. Quelle rentabilité économique pour les rénovations énergétiques des logements ? [en ligne]. *strategie.gouv.fr*, 21 décembre 2021. Disponible sur : <https://www.strategie.gouv.fr/espace-presse/rentabilite-economique-renovations-energetiques-logements> (consulté le 10.08.2023).

GEO, 2021. Climat en Afrique : menace pour la survie de millions de personnes, selon l'ONU [en ligne]. *GEO*, 19 octobre 2021. Disponible sur : <https://www.geo.fr/environnement/climat-en-afrique-menace-pour-la-survie-de-millions-de-personnes-selon-lonu-206752> (consulté le 10.08.2023).

GRANIER, Thomas, 2023. Défis et leviers d'une diffusion à grande échelle de pratiques constructives adaptées en Afrique. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

HIAULT, Richard, 2023. L'Afrique a tout à craindre du réchauffement climatique [en ligne]. *Les Echos*, 23 janvier 2023. Disponible sur : <https://www.lesechos.fr/monde/afrique-moyen-orient/lafrrique-a-tout-a-craindre-du-rechauffement-climatique-1899715> (consulté le 10.08.2023).

INSEE, MORÉNILLAS, Noémie et SKLÉNARD, Gabriel (dir.), 2019. *Les entreprises en France. Édition 2019*. Montrouge : INSEE, 216 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (GIEC), LEE, Hoesung et ROMERO José (eds.), 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en ligne]. Genève : IPCC, 1884 p. DOI: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647).

LA VOÛTE NUBIENNE (AVN), S. D. Le concept technique [en ligne]. *La Voûte Nubienne. Construire autrement en Afrique*. Disponible sur : <https://tmp.lavoutennubienne.org/-le-concept-technique-> (consulté le 10.08.2023).

LE DIOURON, Thomas, 2023. L'innovation au service de la transformation du secteur : Comment les dispositifs d'innovation se transforment pour faire face aux défis de la filière. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

MARTINET, Amandine, 2022. COP27 : les bâtiments ont émis +5% de CO2 en 2021 [en ligne]. Construction 21, 16 novembre 2022. Disponible sur : <https://www.construction21.org/france/articles/h/cop27-les-batiments-ont-emis-5-de-co2-en-2021.html> (consulté le 10.08.2023).

MICHEL, Bernard et RIVALON, Robin, 2021. L'industrialisation de la construction [en ligne]. Rapport. Paris : Ministère chargé du logement, 60 p. Disponible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport%20construction%20hors-site_VF_Janvier%202021.pdf (consulté le 10.08.2023).

MIGNOT, Alfred, 2015. 2020-2050 : « Trente glorieuses » pour l'Afrique ? [en ligne]. *La Tribune*, 06 mai 2015. Disponible sur : <https://www.latribune.fr/opinions/blogs/euromed/2020-2050-trente-glorieuses-pour-l-afrique-474565.html> (consulté le 10.08.2023).

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES, MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022. *Artificialisation des sols* [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 21 décembre 2022. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols> (consulté le 10.08.2023).

MTECT, MTE, 2017. Architecture et climat font-ils bon ménage ? [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 09 février 2017. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/architecture-et-climat-font-ils-bon-menage> (consulté le 10.08.2023).

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2020. *Stratégie nationale bas-carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone* [en ligne]. S. L. : MTES, 192 p. Disponible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf (consulté le 10.08.2023).

NORMANT, Emmanuel, 2023. Saint-Gobain : des solutions pour décarboner le bâtiment. In : MS[®] IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

ONU, DÉPARTEMENT DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES, S. D. ONU : la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards en 2050 [en ligne]. *un.org*. Disponible sur : <https://www.un.org/fr/desa/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050> (consulté le 10.08.2023).

PELENC, Michel, 2023. Rénovation énergétique et pauvreté. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

PRÉFET DE L'EURE, S. D. Les enjeux de la gestion et de la préservation du foncier [en ligne]. *eure.gouv.fr*. Disponible sur : <https://www.eure.gouv.fr/index.php/Actions-de-l-Etat/Amenagement-du-territoire-construction-logement/Planification-et-gestion-econome-de-l-espace/Les-enjeux-de-la-gestion-et-de-la-preservation-du-foncier> (consulté le 10.08.2023).

ZIESEL, Nicolas, 2023. Carbone sensible. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Bâtiments, quartiers et villes durables

*Sustainable buildings, districts
and cities*



Erwan BAQUET

Charles Arthur
BARTHELAIX

Sébastien CHAMBINAUD

Samir GUEROUALI

Othmane JARBAL



École des Ponts
ParisTech

Introduction

Cet article aborde l'urgence du besoin de développement urbain durable afin de répondre au défi du changement climatique dans les villes du monde entier. Les quatre interventions qui le composent permettent de couvrir par des exemples concrets les éléments suivants :

- des projets de réaménagement et de conservation de sites historiques, avec la présentation « Construire un avenir durable : le contexte indien » de Abha Narein Lambah ;
- la manière dont l'architecture peut contribuer à créer un environnement urbain durable et de qualité pour les habitants, avec la présentation « Carbone sensible » de Nicolas Ziesel ;
- le rôle de la recherche comme approche innovante et technologique pour proposer un projet d'aménagement durable, avec la présentation « Les stratégies territoriales en Chine et au Brésil : deux exemples de projets sans frontière », de Cristina Garcez ;
- les différentes stratégies que les villes peuvent utiliser pour réduire leur empreinte carbone au niveau des quartiers et au-delà, au niveau du développement urbain, par la présentation « L'accélération des bâtiments et villes bas-carbone », d'Hélène Chartier.

Dans cette synthèse des interventions, nous avons identifié plusieurs axes fondamentaux permettant, d'une part, de prendre conscience des effets combinés de la démographie et du changement climatique, et d'autre part, du besoin de répondre à l'urbanisation croissante des prochaines années en tenant compte de ce choc climatique et finalement les solutions pour créer des espaces urbains plus sains, plus résilients et plus économes en ressources.

Tout d'abord, l'éveil des consciences sur les chocs démographique et climatique et la nécessité de mettre en place des politiques d'urbanisme sont les éléments clés pour répondre au défi du changement climatique dans les villes de demain. Les politiques doivent encourager la conception de bâtiments bas-carbone, écologiques, construits à base de ressources locales, par des artisans locaux, maîtrisant les techniques de construction locales, la réutilisation des terrains artificialisés ou contaminés, la création d'espaces verts et la mise en place des transports en commun efficaces.

Ensuite, l'adaptation à la chaleur est un sujet crucial dans les villes en raison de l'augmentation des températures globales. Les bâtiments doivent être conçus pour minimiser l'impact de la chaleur, des épisodes caniculaires et de la sécheresse, en utilisant des matériaux qui réduisent l'absorption de la chaleur. La végétalisation ou

revégétalisation des espaces artificialisés doit permettre de lutter contre les îlots de chaleur et maintenir la biodiversité au cœur des villes.

La gestion de l'eau est également un sujet crucial pour les villes durables. Les villes doivent être conçues pour réduire les risques d'inondation et pour gérer efficacement les ressources en eau. Cela peut inclure la mise en place de collecte de l'eau de pluie, la création de zones humides, ou encore, l'utilisation de technologies d'irrigation efficaces.

En outre, la planification urbaine prend de plus en plus d'importance, à la fois, dans la gestion de la mobilité et dans la réduction de l'empreinte carbone des déplacements. Différents concepts sont proposés : en premier, la ville du quart d'heure, où la conception des villes permet de satisfaire les besoins quotidiens des résidents dans un rayon de 15 minutes en mobilité verte. Ou encore le concept des 3/30/300, qui consiste au minimum à voir 3 arbres de chez soi, avoir 30 % des parcelles végétalisées à proximité et résider à moins de 300 mètres d'un parc. Et finalement, l'instauration de zones zéro émission pour décarboner la mobilité urbaine. Cela nécessite des quartiers bien équipés, avec des commerces, des services de transports en commun et des espaces verts.

Enfin, les politiques de performance énergétique du bâti neuf et ancien progressent partout dans le monde. Sous la contrainte des crises énergétique, démographique et climatique, la transformation du secteur de la construction et de la rénovation est influencée par les politiques publiques. Réhabiliter l'existant ne dispense pas d'avoir des politiques audacieuses également dans la construction neuve.

1. Éveil des consciences sur les politiques d'urbanisme

Les politiques d'urbanisme dans le monde sont très diverses. Elles varient en fonction des contextes nationaux, régionaux et locaux et aussi en fonction des objectifs politiques, sociaux, économiques et environnementaux. Certaines politiques sont aussi influencées par des facteurs culturels et sociaux (exemple : les normes en matière de propriété foncière). Suivant les pays, les règles d'urbanisme sont contrôlées différemment. En Inde, ce sont les autorités centrales qui décident, en Australie, ce sont les États et les territoires, alors qu'au Brésil, les dispositions sont décentralisées et gérées au niveau local.

Plus globalement, dans les pays développés, l'accent est mis sur la réduction de l'encombrement et de la pollution, la promotion de l'utilisation des transports en commun et des modes de déplacement doux. La protection de l'environnement y prend une part importante. Dans les pays en voie de développement, les politiques d'urbanisme sont plus axées sur la création de logements décents, l'accès à l'eau potable et l'assainissement. Il existe certaines tendances et initiatives mondiales

Ville / Pays	Données	Problèmes	
		Catastrophes reconnues	Problématiques
Rio de Janeiro Brésil	- Habitants : 6,7 millions - Densité : 5 645 hab/km² - Surface : 1 200 km²	- érosion - glissements de terrain - bidonvilles	topographie complexe entre mer, collines et montagnes
Dakar Sénégal	- Habitants : 1,25 millions - Densité : 10 331 hab/km² - Surface : 121 km²	- inondation - enclavement - construction anarchique	- presqu'île enclavée - construction anarchique - bétonisation des logements - expansion vers les terres agricoles
Lagos Nigeria	- Habitants : 15,4 millions - Densité : 16 966 hab/km² - Surface : 907 km²	- urbanisation exponentielle - érosion côtière	surface bâtie passant de 368 km² en 1984 à 1 394 km² en 2015
Delhi Inde	- Habitants : 17 millions - Densité : 11 320 hab/km² - Surface : 1 483 km²	- surpopulation - capitale mondiale de la pollution de l'air et de l'eau - pénuries d'eau	- urbanisation non planifiée - infrastructure de transport inadéquate - capitale mondiale de la pollution
Hong Kong Chine	- Habitants : 7,5 millions - Densité : 6 704 hab/km² - Surface : 1 114 km²	- surchauffe urbaine - glissements de terrain	- topographie complexe entre mer, collines et montagnes - ville verticale
Lanzhou Chine	- Habitants : 2,2 millions - Densité : 166 hab/km² - Surface : 13 100 km²	sécheresse	pression urbaine sur les terres agricoles
Göteborg Suède	- Habitants : 0,5 million - Densité : 1 285 hab/km² - Surface : 450 km²	surchauffe urbaine	urbanisation importante, de sa densité de population et de la modification des surfaces terrestres
Vancouver Canada	- Habitants : 2,2 millions - Densité : 166 hab/km² - Surface : 13 100 km²	- inondations - montée du niveau de la mer	ville canadienne la plus vulnérable aux effets des changements climatiques
Amsterdam Pays-Bas	- Habitants : 0,9 million - Densité : 4 894 hab/km² - Surface : 188,3 km²	- inondations - montée du niveau de la mer	- ville bâtie 2 m au-dessous du niveau de la mer - aggravation de la crise du logement
Barcelone Espagne	- Habitants : 1,7 million - Densité : 16 675 hab/km² - Surface : 100,4 km²	- hausse des températures - sécheresse - inondations	- approvisionnement en eau instable - îlot de chaleur urbain (La ville est entourée de montagnes qui limitent la circulation de l'air frais)

Tableau 1. Recueil de villes ayant subi des catastrophes naturelles.

Solutions	
Politique d'État	Politique d'urbanisme
Gérée par les autorités municipales, en collaboration avec les autorités étatiques et fédérales	Programme d'aménagement Favela-Bairro (1994)
Mise en place d'un certain nombre d'institutions : MULHP, ANSD, Agence de développement local	Plan Directeur d'Urbanisme de 2014 à horizon 2035
L'État mise sur le dynamisme du secteur privé.	Projet privé d'Eko Atlantic City qui va construire une jetée de 6,5 km
<i>Smart Cities Mission</i> : Lancé en 2015, ce programme vise à transformer 100 villes en Inde en « villes intelligentes ».	<i>Master Plan</i> de Delhi de 2001
Le gouvernement central fixe les objectifs de développement urbain à long terme et les autorités locales sont chargées de mettre en œuvre ces plans en fonction des besoins locaux.	Politique d'urbanisme particulière en raison du statut de région administrative spéciale en Chine
	Projet d'urbanisation le long de la rivière Nanghe en coopération avec la France
• Monarchie parlementaire • planification territoriale intégrée et forte implication de la communauté locale	Favorisation de la protection des espaces naturels
Le Canada est un pays vaste avec une variété de politiques d'urbanisme qui varient selon les provinces et les territoires.	<i>Greenest City Action Plan</i> qui vise à faire de Vancouver la ville la plus verte du monde d'ici 2020.
Les gouvernements locaux et nationaux travaillent ensemble pour développer une approche intégrée de la planification urbaine	Dès 1960, la ville a mis en place une série de politiques pour transformer son paysage urbain et son mode de vie. L'architecture bleue ou ZO!City.
principalement définie et mise en œuvre par les autorités locales et régionales	Plan d'Urbanisme Métropolitain de Barcelone (PMB) en vigueur depuis 2010

Tableau 1. Recueil de villes ayant subi des catastrophes naturelles.

influencées par les nombreux sommets. Par exemple, le Protocole de Kyoto en 1997, la Conférence de Johannesburg en 2002 dont l'objectif était le développement durable ou encore l'Accord de Paris en 2015 sur le changement climatique. Les points convergents sont : la durabilité environnementale, la résilience urbaine, l'équité sociale, la mobilité durable, la participation des citoyens. Les politiques d'urbanisme sont en constante évolution afin de répondre aux besoins qui évoluent sans cesse. Cela demande des efforts continus pour améliorer les politiques existantes et développer de nouvelles approches.

L'aménagement du territoire tient compte également des catastrophes naturelles et est déterminant pour l'évolution vers des villes durables et résilientes. Ces catastrophes peuvent être considérées comme une donnée essentielle des politiques urbaines, dans la mesure où elles ont souvent un impact important sur la planification et la gestion des villes. En effet, les événements extrêmes peuvent mettre en évidence les vulnérabilités des villes et des populations qui y vivent, en révélant notamment les zones à risque et les infrastructures insuffisantes pour y faire face. Cela conduit les autorités à repenser les politiques urbaines en développant, par exemple, des plans de gestion des risques (*i. e.* renforcer les infrastructures de protection du littoral).

Le tableau 1 (*cf. supra*) est un recueil non exhaustif d'exemples de villes ayant subi des catastrophes naturelles dans le passé et dont les occurrences risquent d'augmenter du fait du changement climatique. Les politiques d'État et d'urbanisme sont également rappelées.

Face au changement climatique, les villes durables et résilientes seront celles qui mettront en place des solutions adaptées à ces défis. Nous en développons ci-dessous certains éléments fondamentaux.

2. Limiter la surchauffe urbaine pour des villes durables

La surchauffe urbaine est une problématique à multiples facettes qui s'exprime de jour comme de nuit avec des répercussions pour la ville elle-même comme pour ses habitants. En période de forte chaleur, espaces extérieurs et bâtiments deviennent inconfortables pour les citoyens. En cas de canicule, le manque de rafraîchissement nocturne en ville devient un réel enjeu de santé pour les populations sensibles. Or, les projections climatiques annoncent une augmentation des températures moyennes, de la fréquence et de l'intensité des épisodes de canicule.

À l'échelle de la ville, là où vont résider en 2050, 70 % de la population mondiale, la surchauffe urbaine est un phénomène du climat local connu sous le nom d'îlot de

chaleur urbain (ICU). Sa caractéristique la plus marquée en période estivale est la limitation de la fraîcheur nocturne contrairement à ce qui se passe en zone rurale comme le montre la figure ci-dessous.

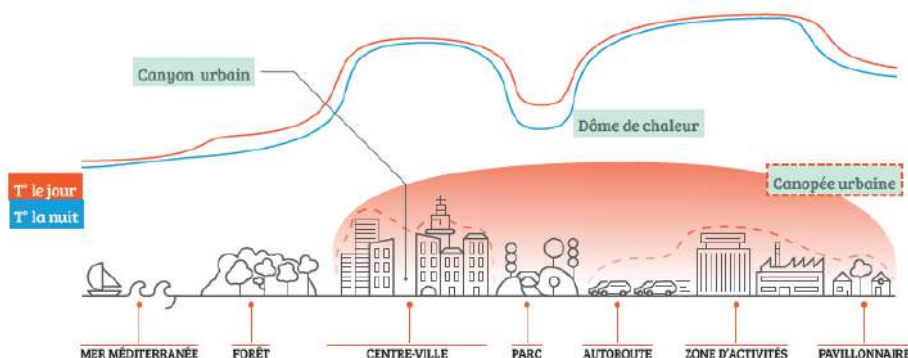


Figure 1. Représentation graphique d'un îlot de chaleur
© Jérôme Ghera/Agence d'Urbanisme Pays d'Aix-Durance, 2019.

La population mondiale concernée va augmenter et il convient de se préparer au mieux à ces nouveaux défis pour rendre la ville de demain plus durable et vivable.

ALÉA	PÉRIODE	EST. DE LA POPULATION	EST. NOMBRE DE VILLES
 CANICULE	Aujourd'hui	Plus de 200 millions de personnes	Plus de 350 villes
	2050	Plus de 1,6 milliard de personnes	Plus de 970 villes
 CANICULE ET PAUVRETÉ	Aujourd'hui	Plus de 26 millions de personnes	Plus de 230 villes
	2050	Plus de 215 millions de personnes	Plus de 490 villes

Figure 2. Comment le changement climatique va affecter nos villes
(source : modifié d'après C40 Cities et al., 2018).

Lors de la semaine de conférence, trois types de solutions ont été présentées :

- solutions vertes : ces solutions font appel à la nature (végétal et eau) ;
- solutions grises : ces solutions rassemblent les solutions techniques relatives aux infrastructures urbaines (revêtement, mobilier urbain) ;

- solutions douces : ces solutions relèvent du comportement et de la gestion urbaine.

Ces solutions sont présentées ci-dessous dans leurs formes les plus courantes.

2.1. Les solutions vertes

Planter des arbres est la solution idéale qui nous vient directement à l'esprit. En effet, cela permettrait de diminuer de quelques degrés nos rues étouffantes. Hélène Chartier est la responsable du *Zero Carbon Development* du *C40 Cities*, un réseau de 96 villes regroupant plus de 700 millions d'habitants, ayant pour point en commun d'accélérer la transition écologique. Elle est intervenue lors de la semaine de conférences internationales pour présenter le cas de la ville de Medellin (Chartier, 2023), en Colombie. La température dans la ville de Medellin a été abaissée de 2 °C en combinant les actions suivantes :

- création de 30 corridors verts pour connecter les quartiers entre eux ;
- plantation de 10 000 arbres.

Comment l'expliquer ? Tout d'abord, le sommet des arbres réfléchit les rayons solaires dans l'atmosphère. Les arbres créent également de l'ombre qui limite la transmission du rayonnement. Enfin, ils attirent par capillarité l'eau qui se situe dans les sols afin de faire circuler la sève, ce qui conduit à une évapo-transpiration par les feuilles et donc crée un refroidissement de l'air.

L'efficacité d'une telle solution à travers des expérimentations et des mesures effectuées en plusieurs points du globe, peut être vérifiée, par exemple :

- à Göteborg (Konarska, Holmer, Lindberg *et al.*, 2016), la création d'un parc arboré a permis de baisser la température de 5,9 °C par rapport à son environnement immédiat construit ;
- le parc olympique de Pékin (Amani-Beni, Zhang, Xu *et al.*, 2018), la différence de température maximale est de :
 - 0,15 °C entre les zones enherbées non irriguées et l'environnement construit
 - 1,2 °C entre les zones enherbées irriguées et l'environnement construit
 - 4,2 °C entre les zones arborées du parc et l'environnement construit
- à Paris, des mesures ont également été réalisées à proximité du Champs-de-Mars et prouvent l'efficacité des solutions vertes pour limiter les ICU.

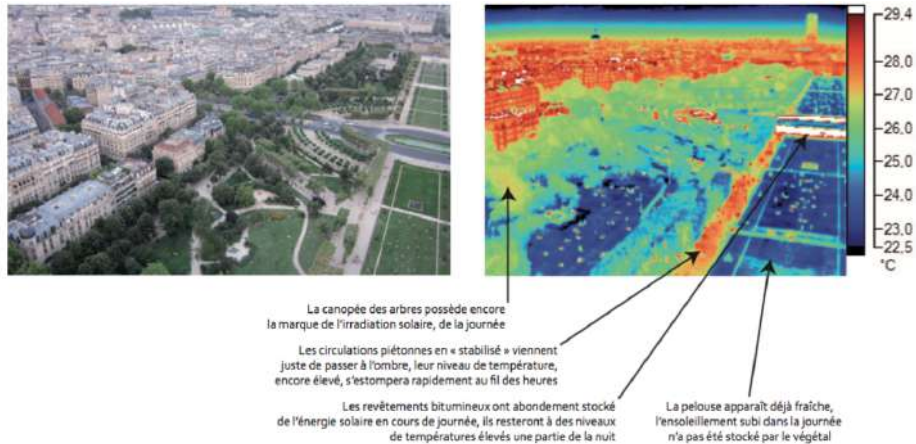


Figure 3. Vue aérienne du Champ-de-Mars prise le 2 août 2011 vers 20h, peu après le coucher du soleil
© Atelier parisien d'urbanisme, 2012, p. 16.

Les toitures végétalisées améliorent le confort intérieur et dans le cas de bâtiments climatisés, elles réduisent la consommation d'énergie pour la climatisation et donc ses rejets de chaleur. Il s'agit là d'un effet indirect sur la surchauffe urbaine.

Même si les effets de la généralisation des toitures végétalisées à l'échelle de la ville ne sont pas encore complètement quantifiés, la réduction des besoins en rafraîchissement des bâtiments équipés et l'apport sur le rafraîchissement des rues et des espaces urbains sont significatifs.

Cette conclusion est valable dans tous les climats étudiés. À Hong Kong (Jim, 2015), un abaissement de la température de l'air de 1 °C a été constaté à 1,50 mètre d'une toiture intensive.

L'ensemble de ces solutions vertes permettent de baisser les ICU et présentent également un intérêt vis-à-vis de la biodiversité.

2.2. Les solutions grises

2.2.1. La morphologie urbaine

L'amplitude de l'ICU augmente lorsque le facteur de vue du ciel (*Sky View Factor* – SVF) diminue.

À Hong Kong, chaque augmentation de 0,15 du facteur de vue de ciel (SVF) moyen sur un quartier permet de réduire de 1 °C la température d'air dans ce quartier, jusqu'à 3 °C de réduction pour une augmentation du SVF de 0,45 (Chen, Ng, 2011).

La disposition des bâtiments les uns par rapport aux autres selon leur géométrie a une incidence directe sur les ICU. Il convient de prendre en compte cette donnée en amont du projet.

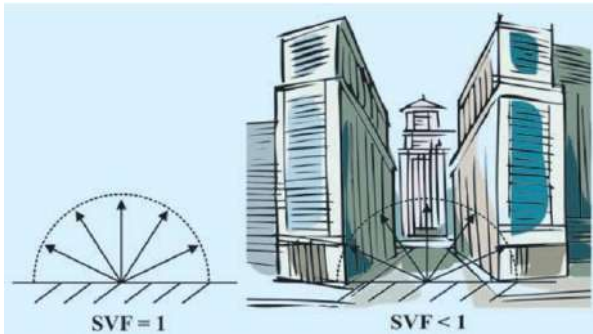


Figure 4. Définition du concept de Sky View Factor © Mojtaba Rafeian, Hadi Rezaei Rad, Ayyoob Sharifi, 2014.

2.2.2. Choix des revêtements

Les revêtements à albédo élevé sont caractérisés par leur fort pouvoir réfléchissant. Le plus souvent de couleur claire, ils peuvent être mis en place sur les sols, les murs, les toitures. Parmi les revêtements à albédo élevé, on peut citer :

- les revêtements communs : revêtements blancs (ciment ou élastomère), bétons désactivés, sablés, sols stabilisés, tuiles en argile, graviers blancs, etc. ;
- les revêtements innovants dits « cool », caractérisés par un albédo supérieur 0,7 : peintures réfléchissantes, peintures thermo-chromiques.

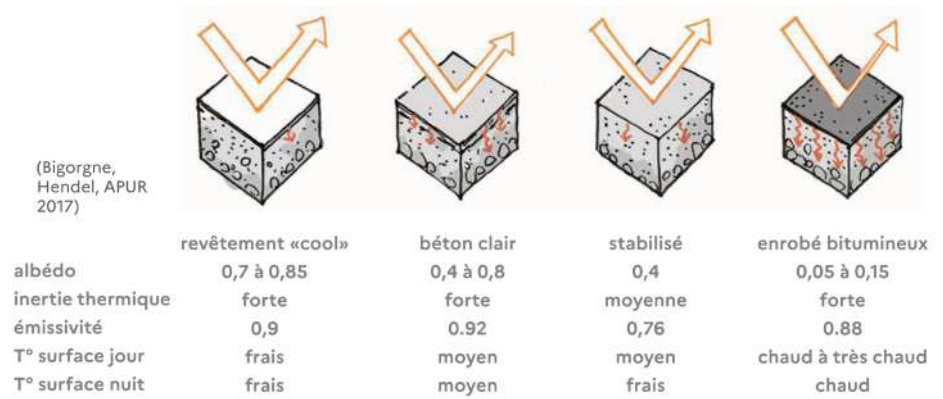


Figure 5. Effet albédo de différents types de revêtement © Héloïse Marie/TRIBU, 2021.

Là aussi, les retours d'expérience dans le monde sont multiples et peuvent concerner aussi bien les chaussées que les toitures :

- - 4 °C à Athènes, c'est l'effet de rafraîchissement de l'air en journée généré par le passage d'un revêtement foncé asphalté (albédo 0,04) à un revêtement blanc (albédo 0,55) pour les sols (Synnefa, Karlessi, Gaitani *et al.*, 2011) ;
- - 20 % en moyenne, c'est la diminution de la demande énergétique des bâtiments résidentiels et commerciaux avec l'application d'un *cool roof* (albédo 0,6) par rapport à une toiture en asphalté à Toronto au Canada (albédo 0,2) (Akbari, Konopacki, 2004) ;
- - 0,25 à - 0,5 °C à Melbourne et à Sydney, c'est la réduction moyenne de la température d'air en ville pour une augmentation de 0,1 de l'albédo des toits (Imran, Kala, Ng *et al.*, 2018) ;
- - 0,4 °C à - 0,8 °C à Milan, c'est la réduction moyenne de la température d'air en ville pour une augmentation de 0,1 de l'albédo de toutes les surfaces urbaines, ce qui correspond au passage de revêtements marron/gris à des revêtements blancs (Falasca, Ciancio, Salata *et al.*, 2019) ;
- - 5,8 à - 6,6 °C à Phoenix, c'est la réduction moyenne de la température sur une route bénéficiant d'un revêtement blanc par rapport à une route en enrobé n'en bénéficiant pas (Chartier, 2023).

2.3. Les solutions douces

Ces solutions relèvent du comportement des usagers :

- limiter la circulation de véhicules équipés de moteurs thermiques : le remplacement des véhicules conventionnels par des véhicules électriques à Pékin pourrait réduire l'intensité de l'ICU en été d'environ 0,94 °C pour un ICU d'intensité moyenne l'été de 3 °C (Li, Cao, Zhang *et al.*, 2015) ;
- limiter l'usage de la climatisation à son strict minimum ;
- aérer les bâtiments pendant nuit pour faire rentrer l'air frais.

3. Gérer l'eau de façon durable

Le changement climatique transforme certaines villes de manière significative. Les villes sont vulnérables aux impacts du changement climatique tels que les inondations, la sécheresse et l'élévation du niveau de la mer. Elles sont densément peuplées, ont des infrastructures souvent vieillissantes et sont situées dans des zones côtières.

Dans cette partie, nous allons explorer comment le changement climatique affecte les villes et quelles mesures nous pouvons prendre pour les adapter aux risques climatiques liés à l'eau. Rappelons néanmoins que les inondations ne sont pas toutes dues directement au changement climatique, mais également à certaines mauvaises pratiques : par exemple la construction dans des zones inondables qui, historiquement, n'était pas bâties (C40 Cities, 2018, *op. cit.*).

3.1. Inondations

Les précipitations intenses, associées à des événements climatiques extrêmes, peuvent causer des inondations dans les zones urbaines. Les conséquences peuvent être désastreuses, allant de l'interruption des activités économiques à la perte de vies humaines. Les villes peuvent s'adapter aux risques d'inondations urbaines en investissant dans des infrastructures résilientes, telles que des digues, des canaux de drainage, des parcs de rétention des eaux de pluie et des toits verts. En outre, les villes peuvent adopter des politiques d'aménagement du territoire qui encouragent les zones vertes et les surfaces perméables pour réduire le ruissellement des eaux de pluie.

Le célèbre programme d'aménagement Favela-Bairro (1994) à Rio de Janeiro au Brésil (Benmergui, Gonçalves, 2019, *op. cit.*) est un exemple concret. Il fait suite aux violents orages qui ont entraîné des conséquences dramatiques, en particulier, dans les favelas. Celles-ci sont souvent touchées par ces catastrophes naturelles (glissements de terrain, inondations et incendies) du fait de la précarité des bâtiments et de leur emplacement géographique souvent instable. La recrudescence des phénomènes a amené le conseil municipal à développer une expertise dans les travaux d'infrastructure et à définir les priorités pour améliorer l'accès aux services de base, tels que l'eau, l'assainissement, les transports, les espaces publics, les équipements sociaux et culturels et à régulariser la propriété foncière dans les zones informelles.

3.2. L'élévation du niveau de la mer

L'élévation du niveau de la mer peut causer des inondations côtières, l'érosion des côtes et une intrusion d'eau salée dans les aquifères souterrains. Les villes peuvent s'adapter à l'élévation du niveau de la mer en investissant dans des infrastructures côtières résilientes, telles que des digues, des barrages et des recharges de plage. Néanmoins, ces solutions ne doivent être mises en œuvre qu'après une étude d'impact complète.

Les politiques d'aménagement du territoire peuvent également limiter les développements dans les zones vulnérables et promouvoir la restauration des écosystèmes côtiers.

Dans ce domaine, il y a un exemple particulièrement intéressant avec « l'architecture bleue » d'Amsterdam aux Pays-Bas (Usbek & Rica, 2016). Le quartier Borneo-Sporenburg est construit sur une ancienne île industrielle. Les bâtiments sont surélevés pour éviter les inondations et les canaux entourant ces bâtiments permettent l'écoulement de l'eau, voire, son stockage temporaire en cas de fortes précipitations. De ce fait, l'architecture bleue est une solution innovante pour les défis liés à l'eau auxquels cette ville est confrontée.

3.3. Yuzhong : une écocité sur la vallée de la rivière Nanhe¹

Les régions urbaines peuvent subir des périodes prolongées de sécheresse, ce qui peut entraîner des pénuries d'eau, une baisse de la qualité de l'eau et une augmentation des coûts de l'eau.

Les villes peuvent s'adapter à la sécheresse en investissant dans des infrastructures de conservation de l'eau, tels que des systèmes de récupération des eaux de pluie, des technologies d'irrigation efficaces et des équipements ménagers économes en eau. Les politiques de gestion de la demande en eau, tels que les tarifs progressifs et les restrictions saisonnières, peuvent également aider à réduire la consommation d'eau.

Le projet se situe dans la région aride de Gansu, en Chine Occidentale, dans le district de Yuzhong de la ville de Lanzhou. La zone est confrontée à des défis tels que la sécheresse et la pression urbaine sur les terres agricoles. Pour y répondre, Cristina Garcez, aidée par une équipe d'urbanistes et d'ingénieurs, a proposé une stratégie novatrice pour restaurer l'environnement et le climat tout en maintenant les populations locales grâce à un grand projet d'urbanisation le long de la rivière Nanghe.



Figure 6. Carte de la Chine / Zoom district de Yuzhong / Photos du territoire (de gauche à droite)

© Cristina Garcez, 2023.

1 • Cette partie est basée sur l'exposé de Cristina Garcez, architecte urbaniste, travaillant pour le CSTB.

La proposition pour le district de Yuzhong offre une approche ambitieuse et novatrice pour répondre aux enjeux climatiques et environnementaux actuels, en restaurant le climat, en maintenant l'équilibre écologique et en améliorant la qualité de vie des habitants tout en offrant des opportunités économiques.

Le projet vise à créer une nouvelle forme d'urbanisation durable dans la région aride du Gansu, tout en préservant l'histoire et l'agriculture locale. Pour ce faire, le CSTB propose un nouveau système d'irrigation respectant la résilience naturelle de la terre et permettant une agriculture durable en harmonie avec les villages existants. Le modèle propose une organisation en doigts de gant avec des grandes zones d'agriculture alternées, des logements et des programmes sociaux. Le cœur du projet consiste à créer six nouveaux villages métropolitains qui intègrent les anciens villages existants.

La stratégie paysagère et urbaine repose sur l'amélioration de la qualité du sol et la gestion de l'eau, avec une nouvelle typologie de logements, des maisons vertes et des logements en terrasse. Le projet vise à inverser les effets négatifs de l'urbanisation et de l'agriculture intensive en utilisant des techniques innovantes, avec une approche intégrée de la restauration du climat dans le cadre d'une stratégie urbaine et paysagère globale.



Figure 7. Plan du projet © Cristina Garcez, Jean-Pierre Pranolas-Descours.

La stratégie hydraulique du projet vise à résoudre le problème de la rareté de l'eau dans cette région de Chine Occidentale en mettant en place une gestion durable de

l'eau. Il est important de préserver l'eau pour alimenter la population et soutenir l'activité agricole dans cette région qui est souvent confrontée à des sécheresses prolongées.

Pour y parvenir, une stratégie urbaine et paysagère a été élaborée pour améliorer la qualité du sol et capter toutes les ressources en eau disponibles. La plantation d'une forêt couvrant intégralement la colline sud permettra de réduire la température et d'augmenter la présence des nuages, ce qui contribuera à une augmentation des précipitations. De plus, la mise en place de blocs filtrants permettra de capter l'eau des collines et de la stocker dans des réservoirs.

Le projet prévoit la construction de réservoirs pour collecter et filtrer les eaux de pluie provenant des collines au sud. Ces réservoirs seront situés à la base des collines pour faciliter la collecte des eaux de pluie et minimiser les pertes par infiltration dans le sol. Pour assurer une construction légère et durable, les réservoirs seront constitués de structures alvéolaires ultra-légères. Ces structures seront conçues pour permettre un drainage efficace des eaux de pluie tout en supportant une charge minimale. Chaque réservoir sera équipé d'un massif de filtre à sable qui permettra de filtrer les eaux de pluie collectées avant leur stockage. La surface de chaque réservoir sera uniforme, avec une profondeur de 0,3 à 0,5 m, pour assurer une capacité de stockage optimale. Au total, les réservoirs auront une capacité de stockage de 760 733 m³ d'eau de pluie par an. Cette initiative permettra de collecter et de filtrer une quantité importante d'eau de pluie, ce qui contribuera à la préservation des ressources en eau et à la réduction de l'impact des précipitations sur les zones habitées en aval.

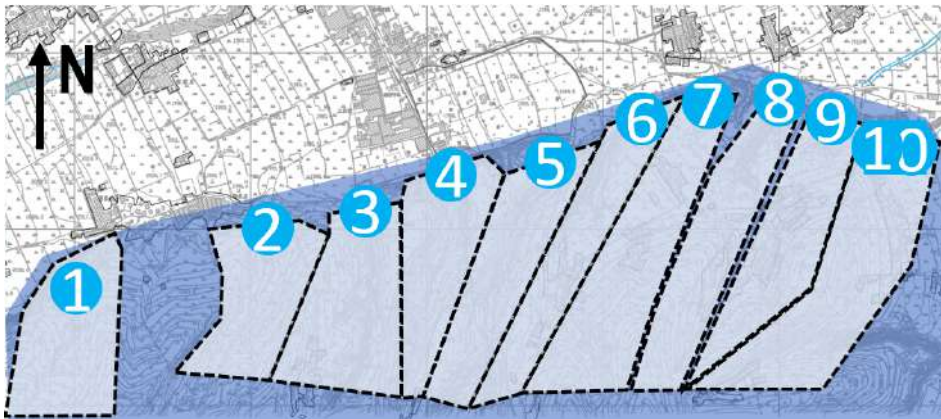


Figure 8. Carte d'implantation des dix réservoirs d'eau pluviale en pied de colline

© Cristina Garcez, 2023, op. cit.

Une autre mesure importante pour obtenir de l'eau complémentaire est de récupérer l'eau de pluie sur les toits des bâtiments et de modifier les habitudes de consommation d'eau domestique. Le projet de gestion durable de l'eau dans la région de Chine Occidentale est une initiative importante pour garantir la disponibilité de cette ressource essentielle à long terme. Les mesures proposées, notamment la plantation d'une forêt, le captage et le stockage de l'eau ainsi que la récupération de l'eau de pluie, contribueront à la réalisation de cet objectif.

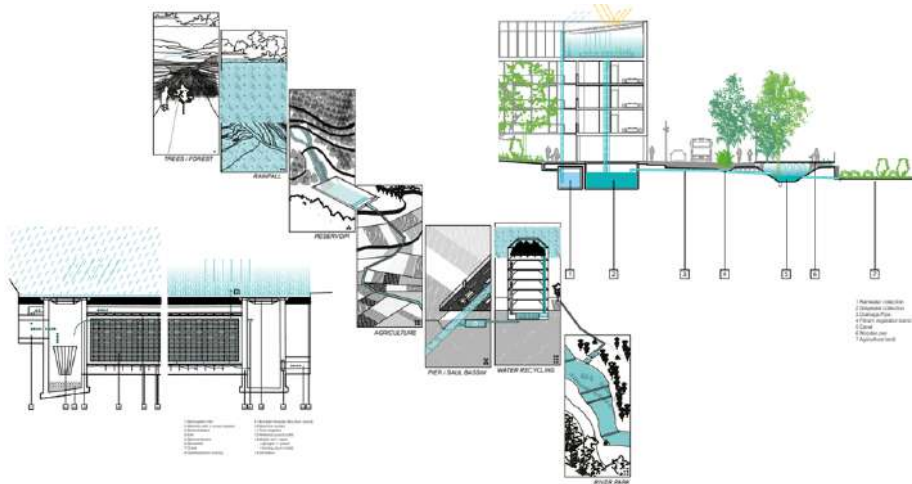


Figure 9. Stratégie hydraulique : réservoirs + collecte des eaux pluviales © Cristina Garcez, 2023, op. cit

4. La mobilité verte et la décarbonation des déplacements urbains

En réponse à l'urgence climatique et à l'urbanisation croissante (en 2050, la majorité de la population vivra en zone urbaine), la planification urbaine prend de plus en plus d'importance, à la fois, dans la gestion de la mobilité et dans la réduction de l'empreinte carbone des déplacements. Les principaux concepts sont présentés dans cette partie :

- la ville du quart d'heure où la conception des villes permet de satisfaire les besoins quotidiens des résidents dans un rayon de 15 minutes en mobilité verte ;
- le concept des 3/30/300 qui consiste à optimiser la couverture végétale des villes ;
- la mise en place de zones zéro émission pour décarboner totalement une grande partie des villes.

4.1. La ville du quart d'heure

Dans sa présentation, Hélène Chartier définit les trois principes fondamentaux d'une ville durable et résiliente, dont le concept, promu à partir de 2015 par Carlos Moreno (Moreno, S.D.), remonte à 1990² :

- une ville polycentrique, constituée autour de différents quartiers ;
- une ville dont les espaces publics et les rues sont centrés sur les personnes ;
- une maîtrise de la végétalisation, permettant une meilleure résilience aux risques climatiques.

L'exemple du Plan Vancouver 2050 (City of Vancouver, 2022, op. cit.) illustre cette approche de la ville du quart d'heure et définit la stratégie à long terme pour la croissance de la ville au cours des 30 prochaines années. Il établit une vision unifiée pour l'occupation du sol de la ville, définit les stratégies qui aideront la ville à rester plus vivable, abordable et durable, tout en conservant une économie forte, où les personnes et la biodiversité prospéreraient. La ville a repris les trois principes fondamentaux de la ville durable et résiliente, en définissant les trois lignes directrices principales suivantes, adaptées à sa situation :

- une politique de densification équilibrée des zones habitées, dans une volonté d'offrir des solutions de logement et d'opportunité équivalentes dans chaque quartier, répondant aux besoins de tous : se loger, travailler, accéder aux soins, s'approvisionner, apprendre et s'épanouir ;
- une économie accessible à tous, favorisant les zones d'affaire et d'activités dans les quartiers, tout en assurant une mixité de logements, d'emplois, de commerces et services de proximité, accessibles en transport en commun dans les zones actuellement mal desservies ;
- la protection des espaces végétalisés et la restauration des écosystèmes, par la création de corridors verts pour les modes de déplacements actifs et le soutien du mode de construction et de rénovation limitant les consommations d'énergie.

Le dernier rapport du GIEC statue sur le fait que ce modèle de la ville du quart d'heure pourrait réduire les émissions des GES de 25 % d'ici 2050. Cette ville polycentrique (Hall, 1998), avec une multitude de flux secondaires, s'oppose à la ville monocentrique, où les flux vont de la périphérie vers le centre.

2 • Voir : Burton, Jenks, Williams, 2003 ; Brundtland, 1987 ; Jacobs, 1985.

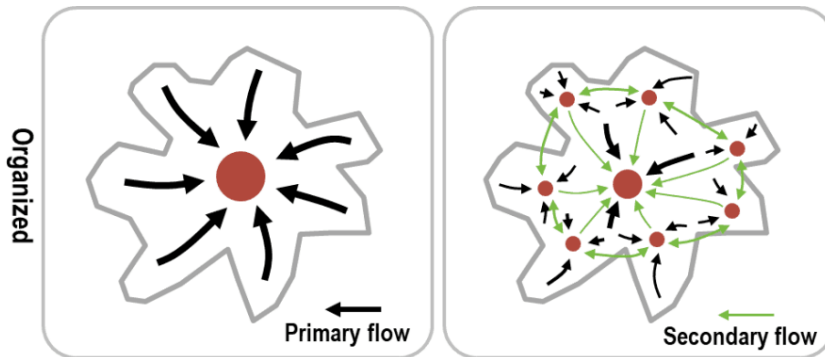


Figure 10. Ville monocentrique et ville polycentrique (source : modifié d'après Florent Le Néchet, 2015).

D'autre part, ce concept a gagné en popularité au moment de la pandémie de Covid-19, en permettant aux habitants de certaines villes de s'organiser plus facilement face aux restrictions de déplacements, en leur permettant de répondre à leurs besoins locaux sans se déplacer sur de longues distances. Ce qui a également permis de réduire les risques d'infection en évitant les déplacements inutiles, un aspect de la résilience de la ville qui avait été oublié avant cette première crise sanitaire.

Enfin, il a été rappelé par Philippe Bihouix lors de la semaine de conférence (Bihouix, 2023), qu'il y a un optimum à considérer entre la densification et l'empreinte carbone des villes. La densification par la hauteur génère des pertes de surface pour les tours de grande hauteur et le besoin de surpresseurs, en plus de fondations plus profondes en béton. Et plus les villes sont étendues, plus il faut une densité de mobilité, avec une forte artificialisation des sols. La surdensification crée des externalités négatives, obligeant à faire appel à des ressources extérieures à la ville. En Europe, la ville possédant la densité urbaine la plus forte est Paris. En effet, la densité des îlots haussmanniens est une des plus fortes qui se rencontrent dans les villes contemporaines³, avec plus de 20 000 habitants/km².

De nombreuses villes comme Paris, Rome, Milan, Barcelone, Melbourne, Vancouver, Buenos Aires, Bogota, Glasgow, Chengdu, Beijing et bien d'autres déploient ce concept à leur échelle, en l'adaptant aux conditions locales de chaque ville. Il y a systématiquement des rééquilibres, notamment économiques, démographiques ou constructifs à opérer pour sa mise en place. Par exemple :

- À Paris (Ville de Paris, 2022), l'école est mise en avant comme point focal du quartier, comme lieu d'apprentissage, de mélange et de partage. Plus seulement réservée à la détente ou aux activités des étudiants, elle est ouverte en dehors des horaires scolaires afin d'accueillir les habitants qui peuvent y trouver des activités ludiques, culturelles ou sportives.

3 • Voir Lapierre, 2013 ; De Borman, 2022.

- à Chengdu (Alwihada Info, 2023), le rapprochement des cultures des habitants : par la création de lieux d'accueil et de proximité comme le « *community service center* » ;
- à Buenos Aires (López Menéndez, 2022), une solution de partage de vélo gratuit, *Cycling Infrastructure initiative*, a permis de passer de 0,4 % des déplacements à vélo en 2009 à 4 % en 2019 ;
- Pour Bogota (Bogomolov, Clavijo, De Nadai *et al.*, 2016), la sécurité, au profit d'une ville où les habitants se sentent bien, avec le programme *Vital Neighbourhood*.

4.2. Le concept des 3/30/300

L'importance de la végétalisation dans les zones urbaines va au-delà du pouvoir dépolluant, rafraîchissant et protecteur abordé dans la seconde partie. En effet, plusieurs études démontrent que la végétalisation augmente le bien-être physique et mental des habitants. Sur cette base de l'urgence de végétaliser ou de revégétaliser les villes et les quartiers, le concept de l'approche de voir au minimum 3 arbres, de pouvoir se déplacer dans des quartiers avec 30 % de couvert arboré et de vivre à moins de 300 mètres d'un espace vert, a émergé *via* des organisations (ONU), des chercheurs et des experts en environnement (Beatley, 2012).



Figure 11. Schéma du concept des 3/30/300 (source : modifié d'après Salma Samaha).

Ce concept est adapté dans un grand nombre de plans d'urbanisme autour des grandes villes mondiales, dont on peut citer les exemples suivants.

En Asie :

- Singapour⁴ est un leader en matière de végétalisation urbaine, avec un programme de « ville-jardin » qui a pour objectif de couvrir la ville d'arbres, de parcs et de jardins. La ville a également introduit des initiatives telles que le « parc de la ligne verte », une promenade de 10 km à travers la ville qui relie les parcs et les espaces verts.
- Tokyo (Tokyo Metropolitan Government, 2023) a lancé un plan pour atteindre une couverture végétale de 30 % de la ville d'ici 2050. Le plan prévoit la création de nouvelles zones vertes, la végétalisation des toits et la plantation d'arbres le long des routes.

En Europe :

- Vienne⁵ est souvent classée comme l'une des villes les plus vertes d'Europe, avec plus de la moitié de la ville composée d'espaces verts. La ville a un programme actif de végétalisation urbaine qui comprend la plantation d'arbres et la création de nouveaux parcs et jardins.
- Oslo (Oslo Kommune, 2016) a pour objectif d'augmenter la surface végétalisée de la ville de 50 % d'ici 2030, avec des plans pour la création de nouveaux parcs et la végétalisation des toits.

En Afrique :

- Accra (Accra Metropolitan Assembly, 2020), capitale du Ghana, a lancé un programme de « ville verte » qui vise à augmenter la couverture végétale de la ville en plantant des arbres, en créant de nouveaux parcs et jardins, et en promouvant l'agriculture urbaine.
- Addis-Abeba (Federal Democratic Republic of Ethiopia, 2019), capitale de l'Éthiopie a lancé un programme ambitieux qui vise à planter 4 milliards d'arbres d'ici 2025 dans le cadre de ses efforts pour lutter contre le changement climatique et améliorer la qualité de l'air.

4.3. Les zones zéro émission

Les zones zéro émission (*Zero Emission Area* – ZEA) offrent aux villes un moyen de piloter des innovations en matière de mobilité urbaine, de donner la priorité à la marche, au vélo et aux transports publics, d'augmenter l'utilisation de véhicules zéro émission et d'impliquer les résidents. 36 villes de C40 se sont engagées à définir un secteur majeur

4 • Voir : <https://www.greenplan.gov.sg/>.

5 • Voir : <https://www.wien.info/en/sightseeing/green-vienna>.

de la ville comme ZEA d'ici 2030. Autres actions transformatrices dans lesquelles elles se sont engagées : la transition vers des rues vertes et saines (*Green Healthy Streets*⁶) en faisant l'acquisition de bus zéro émission à partir de 2025, et en veillant à ce qu'une grande partie des villes soient à zéro émission à partir de 2030, en mettant en œuvre les actions suivantes :

- transformer les villes grâce à des politiques d'aménagement respectueuses de l'humain ;
- augmenter les taux de marche, de vélo et d'utilisation des transports collectifs et accessibles à tous les habitants ;
- réduire le nombre de véhicules polluants dans les rues et abandonner les véhicules alimentés par des combustibles fossiles ;
- montrer l'exemple en achetant le plus rapidement possible des véhicules zéro émission pour les flottes urbaines publiques ;
- collaborer avec les fournisseurs, les exploitants de flottes et les entreprises pour accélérer la transition vers des véhicules à zéro émission et réduire les kilomètres parcourus par les véhicules dans les villes ;
- rendre compte publiquement tous les deux ans des progrès réalisés par les villes vers ces objectifs.

À Barcelone, le concept de Superblock⁷ illustre cet engagement à donner la priorité aux habitants et aux usagers. Sur la base d'un regroupement de neuf îlots contigus en un seul bloc piéton, comme sur la figure suivante, il permet de supprimer la circulation de transit et de réduire la vitesse de la circulation locale. Chaque Superblock dispose d'un espace public communautaire, avec des parcs, des aires de jeux et des jardins urbains et permet aux résidents de se réapproprier l'espace public. Ce modèle a pour objectif de promouvoir la durabilité urbaine, de réduire la pollution de l'air et de promouvoir les modes de déplacement actifs, tels que la marche et le vélo. Dans sa présentation, Nicolas Ziesel illustre cette action par l'augmentation de 80 % des zones piétonnes, une surface occupée par les véhicules réduite de 45 %, de nombreuses nouvelles aires de jeux pour les enfants et l'augmentation des zones végétalisées de 91 %.

6 • Voir : <https://www.c40.org/accelerators/green-healthy-streets/>.

7 • Sur le concept de Superblock, voir : <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/movilidad-activa-y-sostenible/plan-de-movilidad-urbana>.

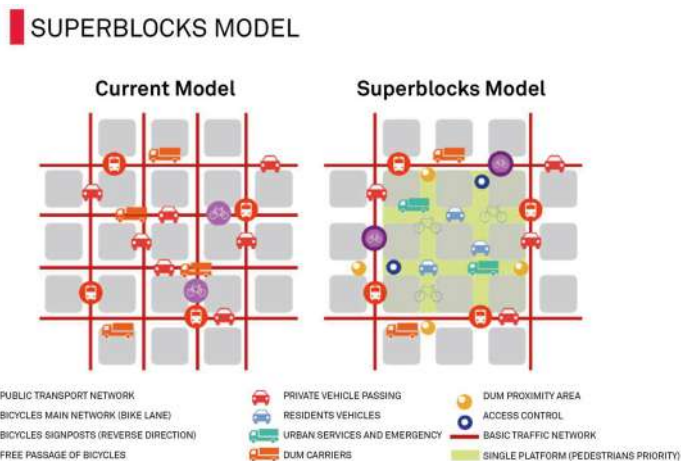


Figure 12. Barcelone – Superblocks modèle © Ajuntament De Barcelona, 2014, p. 10.

5. Les politiques en matière de rénovation

Les réglementations en matière de conception et de construction qui améliorent l'efficacité énergétique des bâtiments représentent des leviers fondamentaux pour limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C avant la fin du siècle. Dans un paysage réglementaire très complexe, il est parfois difficile d'évaluer l'efficacité réelle des réglementations actuelles dans la concrétisation des engagements nationaux visant à atteindre la neutralité carbone au cours du siècle. Dans cette partie, nous nous intéresserons à certaines des réglementations mises en œuvre par les gouvernements chinois, européens et américains, ainsi qu'à leurs ambitions affichées⁸.

5.1. Le cas de la Chine

La Chine, plus grand émetteur mondial de CO₂, qui s'est engagée à atteindre son pic d'émissions d'ici 2030 et la neutralité carbone d'ici 2060, est un cas intéressant. Dès 1986, elle met en place le premier Code national de l'énergie pour la conception des bâtiments résidentiels neufs dans les régions froides et très froides. Ce code national de l'énergie visait presque exclusivement l'isolation des murs. Depuis, la réglementation chinoise a beaucoup évolué vers une approche de bâtiments et quartiers durables.

En revanche, de 1995 à 2005, le parc immobilier chinois a presque triplé. Le Bureau national chinois des statistiques estime que, ces dernières années, quelque

⁸ Voir : <https://blog.rexel.com/stories/chine-europe-etats-unis-les-reglementations-vertes-pour-lutter-contre-le-changement-climatique-dans-le-batiment/>.

4 milliards de m² de nouveaux bâtiments ont été construits par an. Les autorités centrales et locales ont admis qu'il était urgent d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en adoptant à la fois des politiques réglementaires (codes du bâtiment) et des politiques financières et de marché (incitation et labels énergétiques pour les bâtiments), ces dernières demeurant néanmoins volontaires.

Il existe actuellement deux dispositifs de labellisation énergétique. Le premier est le programme *Green Building Evaluation and Labeling* (GBEL), qui est obligatoire pour les nouveaux bâtiments publics et commerciaux. Le second est le programme *Building Energy Efficiency Evaluation and Labeling* (BEEL) (Shen, Faure, 2021), un système d'évaluation et d'étiquetage de l'efficacité énergétique spécifiquement pour les bâtiments résidentiels.

À titre d'exemple, on peut citer les démarches entreprises par les villes de Qingdao et de Fuzhou. La première a souhaité augmenter considérablement l'efficacité énergétique des bâtiments existants de la ville, entre 2015 et 2020. Ainsi, plus de 24 millions de m² de bâtiments résidentiels et plus de 6 millions de m² de bâtiments publics ont été rénovés. Cet investissement colossal aura permis de réaliser des économies d'énergies moyennes de 40 %. La ville a également pour objectif de mettre en œuvre des plans d'action permettant la neutralité carbone de futurs projets de construction, de rénovation et de développement écologique. Fuzhou, quant à elle, a misé sur l'amélioration des énergies renouvelables telles que la chaleur solaire et l'énergie solaire et leur utilisation pour ses projets dans la construction de nouveaux bâtiments et la rénovation de bâtiments existants. Les actions menées dans ces deux villes ont pour objectif d'apporter des solutions nouvelles et de les mettre en place à grande échelle afin de permettre à la Chine d'atteindre la neutralité carbone en 2060.

5.2. Le cas de l'Europe

En Europe, la directive sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB) est la pierre angulaire de la politique en la matière. La DPEB est, avec certaines dispositions de la directive relative à l'efficacité énergétique (DEE) et de la directive sur les énergies renouvelables (RED), le « principal instrument législatif de l'UE visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments au sein de la Communauté » (Parlement européen, 2021).

La DPEB, qui concerne à la fois le parc immobilier neuf et existant, a été adoptée pour la première fois en 2010, révisée en 2018 et mise à jour à nouveau en décembre 2021, afin d'être alignée sur l'objectif de l'Accord de Paris : ramener à zéro les émissions nettes d'ici 2050. Elle s'inscrit dans le cadre de l'initiative *Renovation Wave* du *Green Deal* européen, qui vise à décarboner les bâtiments européens, tout en luttant contre la précarité énergétique et en stimulant la croissance économique. Elle

comprend le « développement de stratégies nationales de rénovation à long terme (LTRS) pour la décarbonation du parc immobilier d'ici 2050. La DPEB prescrit également la délivrance de certificats de performance énergétique (CPE) chaque fois qu'un bâtiment est vendu ou loué ».

Parmi les mises à jour les plus récentes de la directive adoptée en mars 2023 (Parlement européen, 2023) figure l'amélioration obligatoire de l'efficacité énergétique des bâtiments publics et non résidentiels pour atteindre au moins le niveau de performance énergétique E d'ici 2027 et au moins le niveau D d'ici 2030. Les bâtiments résidentiels devront avoir une performance énergétique minimale de classe E d'ici 2030 et classe D d'ici 2033. Les constructions neuves, quant à elles, devront être zéro émission d'ici 2028, avec une anticipation de 2 ans (d'ici 2026) pour les bâtiments publics ou occupés par des administrations publiques. Tous les nouveaux bâtiments devront également être équipés de technologies solaires à partir de 2028 (lorsque la configuration le permet). Les bâtiments résidentiels réalisant des rénovations majeures devront intégrer des technologies solaires à partir de 2032.

La modernisation du parc immobilier existant a été le sujet le plus controversé et un débat s'est ouvert sur la question de savoir jusqu'où ces plans devraient aller sans empiéter sur les pouvoirs des États membres de l'UE. Quoi qu'il arrive dans un avenir proche, une chose est claire : dans la mesure où 85 % des bâtiments de l'UE ont été construits avant 2001 et où la grande majorité devrait être encore exploitée en 2050, toute refonte du parc immobilier existant de l'UE sera une entreprise titanesque et des plans plus détaillés sont nécessaires aux niveaux régional et national pour garantir l'atteinte de la neutralité carbone en moins de trois décennies.

En France, par exemple, là où les logements ont les plus mauvais diagnostics de performance énergétique (DPE), les bailleurs sont contraints de rénover, sous peine de ne plus pouvoir louer leurs biens.

5.3. Le cas des États-Unis

Aux États-Unis, les bâtiments représentent 39 % de la consommation d'énergie et les 2/3 de la consommation d'électricité. Pour sa part, le gouvernement fédéral n'a pas le pouvoir d'adopter des codes du bâtiment contraignants. Les États et les gouvernements locaux peuvent cependant décider d'adopter l'un des codes standards fédéraux de l'énergie. Ces codes fixent des exigences minimales pour la conception et la construction de bâtiments neufs, ainsi que pour les rénovations dans le respect des principes d'efficacité énergétique. Ils visent également la consommation d'énergie des bâtiments ainsi que les émissions qu'ils génèrent tout au long de leur cycle de vie.

Il y a deux principaux codes « modèles » fédéraux qui encadrent la consommation d'énergie des bâtiments. Le premier est l'*International Energy Conservation Code* (IECC)

qui établit des normes minimales pour l'efficacité énergétique des bâtiments. Il fixe des exigences pour l'isolation, l'étanchéité à l'air, le chauffage, la ventilation, la climatisation et l'éclairage des bâtiments commerciaux et résidentiels. Le second code est la norme ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ASHRAE 90.1). Cette norme est largement utilisée dans l'industrie de la construction aux États-Unis pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et pour répondre aux exigences réglementaires. Elle est également utilisée comme référence pour les certifications de bâtiments durables, tel que le système de certification LEED.

À savoir, la plupart des États appliquent cette norme à leurs immeubles commerciaux et à certains à de leurs édifices publics.

On peut s'appuyer sur le cas de New-York qui a été étudié par Construction 21 (Batiactu, 2019). Les élus de la plus grande ville des États-Unis d'Amérique ont ratifié en 2019 le *Climate Mobilization Act* (Sciences et avenir, 2019), qui contraint les immeubles de grande hauteur et autres bâtiments importants à réduire de 40 % leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2030. Cette loi municipale apparaît comme pionnière dans la lutte contre le réchauffement climatique outre-Atlantique. L'ambition est de forcer les bâtiments les plus polluants à réaliser les travaux nécessaires pour faire baisser leur impact sur l'environnement. En cas de non-respect de la législation, les contrevenants s'exposeront à de lourdes amendes. Dans son communiqué, le conseil municipal a indiqué que les milliers de bâtiments résidentiels et commerciaux de plus de 2300 m² concernés par le texte représentaient environ 1/3 des émissions totales de GES de l'agglomération.

5.4. Le cas de la réhabilitation

La réhabilitation ou la rénovation de l'existant, est en fait la meilleure solution pour un bâtiment bas-carbone, *"what is the greenest building ? the one that already exists"* (Abha Narein Lambah). Il est en effet plus rentable (d'un point de vue financier) et plus durable (en termes de carbone embarqué) de rénover des bâtiments existants plutôt que de démolir et de construire de nouveaux bâtiments. Les bâtiments anciens peuvent être rénovés pour conserver leur patrimoine architectural, pour améliorer leur efficacité énergétique, ou encore, leur durabilité. Les enjeux principaux sont :

- d'identifier comment tirer parti du bâti existant afin de réduire son empreinte carbone lors des travaux et lors de sa phase d'exploitation ;
- de justifier que la rénovation est meilleure qu'une solution du type destruction et reconstruction ;
- et comment faire mieux avec moins.

En France, nous pouvons prendre comme exemple, le quartier Saint-Vincent-de-Paul dans le 14^e arrondissement de Paris. Sur 3,4 hectares de l'enclos historique de l'ancien hôpital, il a été réalisé un aménagement reposant sur le respect de l'histoire du site comme demandé par l'aménageur Paris & Métropole Aménagement : la qualité de son patrimoine, la mémoire de l'hôpital et les valeurs portées par une occupation transitoire dense et inventive. Par ailleurs, le projet comporte des exigences environnementales ambitieuses, puisqu'il vise à la fois une réduction maximale de l'empreinte carbone et le développement de l'économie circulaire depuis la conception du projet à sa réalisation et tout au long de la vie du quartier. L'objectif « zéro carbone, zéro déchet, zéro rejet » se traduit par un urbanisme de la sobriété qui associe réinvestissement du bâti, réemploi des matériaux, refertilisation des sols, maîtrise des consommations énergétiques et utilisation d'énergies renouvelables.

Sur le continent africain, le Maroc adopte également des mesures pour favoriser la rénovation et la réhabilitation des bâtiments. L'un des projets porteurs de ces nouvelles dispositions est l'écocité Zenata à Ain Harrouda, située au carrefour des villes stratégiques de Casablanca et de Rabat. Le but de cette écocité est de renouveler le quartier sur le principe des anciennes médinas.

En Inde, la rénovation des sites historiques est également assimilée avec la notion de conservation d'après Abha Narein Lambah. En effet, ils font partie de l'histoire et il est important de les protéger et de les sauvegarder. Les projets de rénovation ont plusieurs objectifs :

- l'utilisation de matériaux locaux et préférence pour les circuits courts ;
- la préservation des techniques de construction traditionnelle.

Dans le cas du temple bouddhiste Chamba Lakhang, à Basgo, dans le Ladakh, l'accent a été mis sur l'utilisation exclusive de matériaux locaux et des techniques de construction ancestrale. En effet, les conditions météorologiques du site (- 40 °C en hiver) rendent la rénovation de ce site compliquée. Afin de permettre sa rénovation dans les meilleures conditions, il a été impératif de perpétuer les techniques de construction traditionnelles. Un passage de témoin s'est donc effectué entre la précédente génération d'artisans et la nouvelle. Les premiers, transmettant leur savoir, aident et conseillent les plus jeunes pour qu'un jour ces derniers réalisent la même transmission de savoir. Il est important de sauvegarder le savoir-faire et la culture constructive qui risquent de disparaître pour mieux comprendre comment les bâtiments historiques ont été construits.



Figure 13. Atelier intergénérationnel de partage des techniques traditionnelles de construction
© Abha Narain Lambah Associates, 2013.

La conservation du patrimoine doit être considérée comme un outil pour permettre une architecture plus verte et plus durable. Abha Narein Lambah applique cette approche pour favoriser les actions locales comme faire participer la communauté aux projets les concernant. La sauvegarde de l'identité culturelle, quant à elle, passe par l'intermédiaire de la régénération urbaine. C'est un moyen de la faire perdurer grâce à la réappropriation de lieux emblématiques telle qu'une façade historique ou bien une place. L'exemple de Kala Ghoda Art District illustre l'initiative des citoyens qui a permis de faire renaître cette place emblématique en se la réappropriant en espace culturel public. Ainsi sont organisés des festivals d'art, des expositions, etc. gratuits et ouverts à tous⁹.

9 • Voir : <https://kalaghodaassociation.com/> ; <https://www.instagram.com/kgafest/?hl=fr>.

Conclusion

On constate qu'il y a une prise de conscience croissante au niveau mondial de l'urgence de créer des bâtiments, des quartiers et des villes durables. Les réglementations et codes de l'énergie applicables aux bâtiments ne sont efficaces que s'ils sont appliqués et correctement mis en œuvre. Cela peut s'avérer très difficile car peu de juridictions infligent des pénalités en cas de non-respect des règles ou constat de non-conformité. Leur application peut être favorisée par d'autres moyens. Par exemple, de nombreux pays complètent leur arsenal réglementaire relatif à la conception et à la construction de bâtiments par des incitations financières, allant des subventions aux prêts à faible taux d'intérêt en passant par des avantages fiscaux.

Selon le rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) sur l'efficacité énergétique, l'exploitation des bâtiments a contribué à environ 30 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO₂) en 2019. Cela équivaut à environ 10,9 gigatonnes d'émissions de CO₂ provenant des bâtiments cette année-là (UNEP, 2020). Et 10 % des émissions mondiales provenant de la construction des nouveaux bâtiments. Ce rapport souligne également que les bâtiments sont un domaine clé pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, car il existe de nombreuses solutions éprouvées pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Les possibilités de faire basculer, à l'échelle mondiale, le parc immobilier actuel et futur vers une énergie propre sont bien réelles, mais nécessitent des engagements fermes au niveau mondial, ainsi que des réglementations et des politiques pour les faire respecter et les défendre.

Les problèmes rencontrés varient en nature et en criticité suivant les zones géographiques.

On connaît aujourd'hui une certaine « globalisation » :

- de phénomènes démographiques ;
- de l'urbanisation intensive ;
- de défis environnementaux tels que le changement climatique, la pollution de l'air, de l'eau et de la perte de la biodiversité.

On sait qu'il existe des « points de bascule », notamment en ce qui concerne la biodiversité. Les enjeux sont donc colossaux.

Pourtant, cet article met en évidence, au travers de quelques exemples, les énergies incroyables qui sont mises en œuvre à travers le monde. L'École des Ponts Paris-Tech est un exemple concret de mise en commun de ces énergies. Alors oui, c'est une évidence, il faut avancer ensemble dans ce chantier titanesque, mais essentiel. L'échange de connaissances et de meilleures pratiques entre les villes ainsi que la

coopération internationale pour le financement de projets durables a pris un essor déterminant dans ce combat contre la montre.

En ce sens, de nombreuses stratégies existent. Que ce soit la certification environnementale (Göteborg, Cap Town, Vancouver), une planification urbaine intégrée (Lanzhou, Dakar), l'économie circulaire (Amsterdam, Copenhague), les technologies vertes (Stockholm, Hong Kong) ou encore la participation communautaire (Rio de Janeiro, Barcelone).

Comme cet article l'évoque à travers les divers exemples ci-dessus, l'urgence ne doit pas se faire au détriment des communautés locales et de leur culture. Il est essentiel que les solutions durables soient adaptées aux besoins et aux préférences des habitants locaux. Les efforts de développement durable doivent être inclusifs et équitables.

En d'autres termes et pour conclure : il faut améliorer la qualité de vie des habitants tout en réduisant l'impact de l'urbanisation croissante en rendant les villes neutres en carbone. Pour cela, il faut privilégier les solutions incitatives et collaboratives et non les politiques coercitives et la culpabilisation.

Introduction

The session entitled Sustainable Buildings, Neighborhoods and Cities addressed the urgent need for sustainable urban development to meet the challenge of climate change in cities around the world. Four presentations provided concrete examples of the following topics:

- Projects to redevelop and conserve historic sites, with the presentation entitled: Building a sustainable future: the Indian context, by Abha Narein Lambah
- How architecture can contribute to creating a sustainable, quality urban environment for inhabitants, with the presentation: Sensitive carbon, by Nicolas Ziesel
- The role of research as an innovative and technological approach to proposing a sustainable development project, with the presentation entitled: Territorial strategies in China and Brazil: two examples of borderless projects, by Cristina Garcez
- The different strategies that cities can use to reduce their carbon footprint at neighborhood level and beyond, at the level of urban development, with the presentation entitled: Accelerating low-carbon buildings and cities, by Hélène Chartier.

In this summary of the presentations, we have identified a number of fundamental themes that will help to raise awareness of the combined effects of demographics and climate change, as well as the need to respond to the growing urbanization of the next few years by taking this climate shock into account, and finally, solutions for creating healthier, more resilient and more resource-efficient urban spaces:

Firstly, raising awareness of demographic and climate shocks, with the need to implement urban planning policies that are key to meeting the challenge of climate change in the cities of tomorrow. Policies need to encourage the design of low-carbon, environmentally friendly buildings, built from local resources and by local craftspeople skilled in local construction techniques, the reuse of artificial or contaminated land, the creation of green spaces and the provision of efficient public transport.

Secondly, heat adaptation is a crucial issue in cities due to rising global temperatures. Buildings must be designed to minimize the impact of heat, heatwaves and drought, using materials that reduce heat absorption. The planting or re-vegetation of artificial spaces should help combat heat islands and maintain biodiversity at the heart of cities.

Water management is also a crucial issue for sustainable cities. Cities must be designed to reduce the risk of flooding, and to manage water resources efficiently. This can include rainwater harvesting, the creation of wetlands or the use of efficient irrigation technologies.

In addition, urban planning is becoming increasingly important, both in managing mobility and in reducing the carbon footprint of travel. Various concepts are proposed: firstly, the quarter-hour city, where the design of cities enables the daily needs of residents to be met within a 15-minute radius via green mobility. Then there is the 3/30/300 concept, which consists of seeing at least 3 trees in your neighbourhood, having 30% of your plots planted nearby and living within 300 metres of a park. And finally, the introduction of zero-emission zones to decarbonize urban mobility. This requires well-equipped neighborhoods, with shops, public transport services and green spaces.

Finally, energy performance policies for new and existing buildings are making headway worldwide. Under pressure from the energy, demographic and climate crises, the transformation of the construction and renovation sector is influenced by public policy. Renovating existing buildings does not obviate the need for bold policies in new construction too.

1. Raising awareness of urban planning policies

Urban planning policies around the world are varied. They differ according to national, regional and local contexts, as well as political, social, economic and environmental objectives. Some policies are also influenced by cultural and social factors (e.g., land ownership norms). Planning regulations are controlled differently in different countries. In India, they are decided by the central authorities, in Australia by the states and territories, while in Brazil they are decentralized and managed at local level.

More generally, in developed countries, the emphasis is on reducing congestion and pollution, and promoting the use of public transport and soft modes of travel. Environmental protection plays an important role. In developing countries, urban planning policies are more focused on the creation of decent housing, access to drinking water and sanitation. There are certain global trends and initiatives influenced by numerous summits. Examples include the Kyoto Protocol in 1997, the Johannesburg Conference in 2002, whose objective was sustainable development, and the Paris Agreement in 2015 on climate change. Their converging points are environmental sustainability, urban resilience, societal equity, sustainable mobility and citizen participation. Urban planning policies are constantly evolving to meet ever-changing needs. This calls for continuous efforts to improve existing policies and develop new approaches.

Spatial planning also takes natural disasters into account, and is a key factor in the move towards sustainable, resilient cities. These disasters can be considered an essential input for urban policies, as they often have a major impact on the planning and management of cities. Indeed, extreme events can highlight the vulnerabilities

City / Country	Data	Problems	
		Recognized disasters	Issues
Rio de Janeiro Brazil	- Inhabitants: 6.7 Million - Density: 5,645 inhab/km² - Surface area: 1,200 km²	- erosion - landslides - slims	Complex topography between sea, hills and mountains
Dakar Senegal	- Inhabitants: 125 Million - Density: 10,331 inhab/km² - Surface area: 121 km²	- flooding - isolation - unplanned construction	- Landlocked peninsula - Anarchic construction - Concrete housing - Expansion into farmland
Lagos Nigeria	- Inhabitants: 15.4 Million - Density: 16,966 inhab/km² - Surface area: 907 km²	- exponential urbanization - coastal erosion	Built-up area up from 368 km² in 1984 to 1,394 km² in 2015
Delhi India	- Inhabitants: 17 Million - Density: 11,320 inhab/km² - Surface area: 1,483 km²	- overpopulation - world capital of air and water pollution - water shortages	- unplanned urbanization - inadequate transport infrastructure - pollution capital of the world
Hong Kong China	- Inhabitants: 75 Million - Density: 6,704 inhab/km² - Surface area: 1,114 km²	- urban overheating - landslides	- complex topography between sea, hills and mountains - vertical city
Lanzhou China	- Inhabitants: 2.2 Million - Density: 166 inhab/km² - Surface area: 13,100 km²	drought	Urban pressure on farmland
Göteborg Sweden	- Inhabitants: 0.5 Million - Density: 1,285 inhab/km² - Surface area: 450 km²	urban overheating	High urbanization, population density and changes to land surfaces
Vancouver Canada	- Inhabitants: 2.2 Million - Density: 166 inhab/km² - Surface area: 13,100 km²	- flooding - rising sea levels	Canada's most vulnerable city to the effects of climate change
Amsterdam Nederland	- Inhabitants: 0.9 Million - Density: 4,894 inhab/km² - Surface area: 188.3 km²	- flooding - rising sea levels	- A city built 2 meters below sea level - worsening housing crisis
Barcelona Spain	- Inhabitants: 1.7 Million - Density: 16,675 inhab/km² - Surface area: 100.4 km²	- rising temperatures - drought - flooding	- unstable water supply - urban heat island (the city is surrounded by mountains that restrict the circulation of fresh air)

Table 1. Collection of towns that have suffered natural disasters.

Solutions	
State policy	Urban planning policies
Managed by municipal authorities, in collaboration with state and federal authorities	Favela-Bairro development program (1994)
Establishment of a number of institutions: MULHP, ANSD, Local Development Agency	Master Plan 2014 to 2035
The government is counting on the dynamism of the private sector.	Private project by Eko Atlantic City to build a 6.5 km pier
Smart Cities Mission: Launched in 2015, this program aims to transform 100 cities in India into "smart cities"	Delhi Master Plan de 2001
The central government sets long-term urban development objectives and local authorities are responsible for implementing these plans according to local needs.	Special urban planning policy due to China's status as a special administrative region
	Urban development project along the Nanghe River in cooperation with France
• A parliamentary monarchy • Integrated territorial planning and strong local community involvement	Promoting the protection of natural areas
Canada is a vast country with a variety of planning policies that vary from province to province and territory to territory.	Greenest City Action Plan, which aims to make Vancouver the greenest city in the world by 2020
Local and national governments work together to develop an integrated approach to urban planning.	As early as 1960, the city implemented a series of policies to transform its urban landscape and way of life. Blue architecture or ZO!City.
Mainly defined and implemented by local and regional authorities.	Barcelona's Metropolitan Master Plan (PMB), in force since 2010

Table 1. Collection of towns that have suffered natural disasters.

of cities and the people who live in them, revealing areas at risk and inadequate infrastructure to cope with them. This leads authorities to rethink urban policies, for example by developing risk management plans (e.g., reinforcing coastal protection infrastructures, etc.).

The table 1 (cf. *supra*) is a non-exhaustive collection of examples of cities that have suffered natural disasters in the past, and whose occurrences are likely to increase as a result of climate change. State and urban planning policies are also given.

In the face of climate change, sustainable and resilient cities will be those that implement solutions adapted to these challenges. Some of the key elements are outlined below.

2. Limiting urban overheating for sustainable cities

Urban overheating is a multi-faceted problem that manifests itself day and night, with repercussions for both the city itself and its inhabitants. In hot weather, outdoor spaces and buildings become uncomfortable for city dwellers. In the event of a heatwave, the lack of night-time cooling in the city becomes a real health issue for sensitive populations. Climate forecasts predict an increase in average temperatures, as well as in the frequency and intensity of heatwaves.

On a city scale, where 70% of the world's population will be living by 2050, urban overheating is a local climate phenomenon known as the "Urban Heat Island" or UHI. Its most marked characteristic in summer is the limitation of night-time coolness, in contrast to the situation in rural areas, as shown in the figure below:

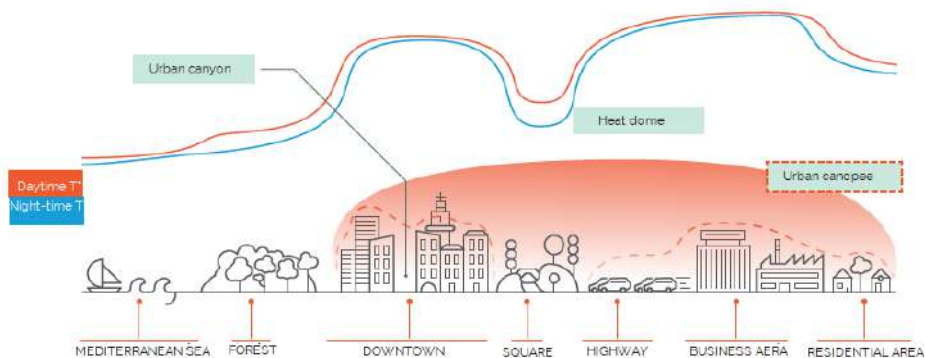


Figure 1. Graphic representation of a heat island
(source: adapted from Jérôme Ghera./Agence d'Urbanisme Pays d'Aix-Durance, 2019).

The world's population is set to increase, and we need to be as prepared as possible for these new challenges in order to make tomorrow's cities more sustainable and liveable.

VULNERABILITY	TIME PERIOD	POPULATION EST.	CITY ESTIMATE
 EXTREME HEAT	Present Day	Over 200 million people	Over 350 cities
	2050s	Over 1.6 billion people	Over 970 cities
 EXTREME HEAT & POVERTY	Present Day	Over 26 million people	Over 230 cities
	2050s	Over 215 million people	Over 490 cities

Figure 2. How climate change will affect our cities © C40 Cities et al., 2018.

During the week-long conference, three types of solutions were presented:

- Green solutions: these solutions call on nature (plants and water)
- Gray solutions: these include technical solutions relating to urban infrastructure (paving, street furniture)
- Soft solutions: these solutions concern behavior and urban management.

These solutions are presented below in their most common forms.

2.1. Green solutions

Planting trees is the ideal solution that immediately comes to mind. Indeed, this would shave a few degrees off our sweltering streets. Hélène Chartier is Head of Zero Carbon Development at C40 Cities, a network of 96 cities with over 700 million inhabitants, all committed to accelerating the ecological transition. During the week of international conferences, she presented the case of the Colombian city of Medellín. The temperature in Medellín (Chartier, 2023) was lowered by 2°C through a combination of the following actions:

- Creation of 30 green corridors to interconnect neighborhoods
- Planting of 10,000 trees

How can we explain this? Firstly, tree tops reflect the sun's rays back into the atmosphere. Trees also create shade, which limits the transmission of radiation. Finally, they attract water from the soil by capillary action, allowing sap to circulate. This leads to evapo-transpiration by the leaves, which in turn cools the air.

The effectiveness of such a solution can be verified through experiments and measurements carried out in various parts of the world, for example:

- In Gothenburg (Konarska, Holmer, Lindberg *et al.*, 2016), the creation of a tree-lined park has lowered the temperature by 5.9°C compared with its immediate built environment.
- In the Beijing Olympic Park (Amani-Beni, Zhang, Xu *et al.*, 2018), the maximum temperature difference is :
 - 0.15°C between non-irrigated grassed areas and the built environment
 - 1.2°C between irrigated grassed areas and the built environment
 - 4.2°C between the park's wooded areas and the built environment
- In Paris, measurements have also been carried out near the Champs de Mars, demonstrating the effectiveness of green solutions in limiting UHIs:

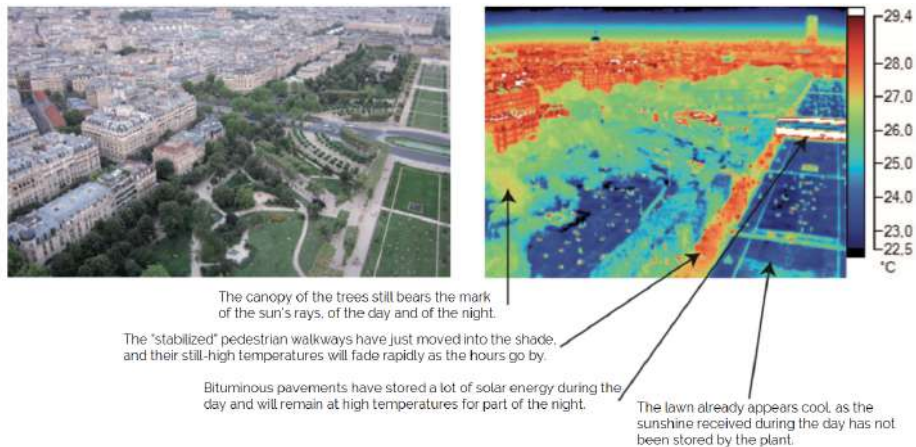


Figure 3. Aerial view of the Champ-de-Mars taken on August 2, 2011 around 8 p.m., shortly after sunset (source: adapted from: Atelier parisien d'urbanisme, 2012, p. 16).

Green roofs improve indoor comfort and, in the case of air-conditioned buildings, reduce energy consumption for air-conditioning and thus heat rejection. This is an indirect effect on urban overheating.

Although the effects of the widespread use of green roofs on a city scale have yet to be fully quantified, the reduction in the cooling requirements of equipped buildings and the contribution to the cooling of streets and urban spaces are significant.

This conclusion is valid for all the climates studied. In Hong Kong (Jim, 2015), a 1°C drop in air temperature was observed at a distance of 150 metres from an intensive roofing system.

All these green solutions help to reduce UHIs and are also beneficial to biodiversity.

2.2. Gray solutions

2.2.1. Urban morphology

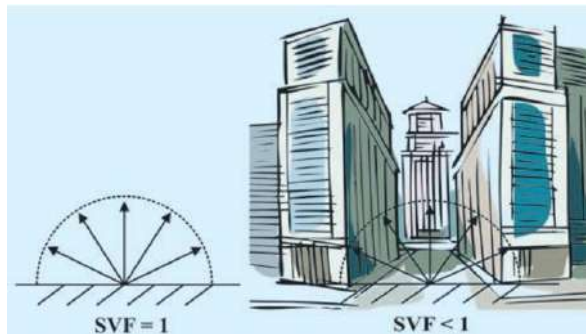


Figure 4. Defining the Sky View Factor concept © Mojtaba Rafeian, Hadi Rezaei Rad, Ayyoob Sharifi, 2014.

UHI amplitude increases as Sky View Factor (SVF) decreases.

In Hong Kong, each 0.15 increase in the average sky view factor (SVF) in a district reduces the air temperature in that district by 1°C, and up to a 3°C reduction for a 0.45 SVF increase (Chen, Ng, 2011).

The geometry of buildings in relation to each other has a direct impact on UHI. This must be taken into account upstream of the project.

2.2.2. Choice of coatings

High-albedo coatings are characterized by their high reflectivity. Most often light in color, they can be used on floors, walls and roofs. High-albedo coatings include:

- Common coatings: white coatings (cement or elastomer), deactivated concretes, sandblasted, stabilized floors, clay tiles, white gravel, etc.

- Innovative "cool" coatings, characterized by an albedo greater than 0.7: reflective paints, thermo-chromic paints.

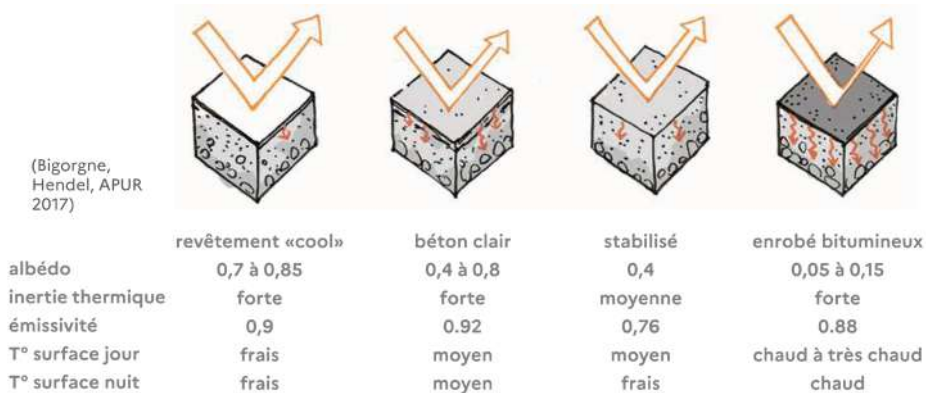


Figure 5. Albedo effect of different types of coating © Héloïse Marie/TRIBU, 2021.

Here, too, there is a wealth of feedback from around the world, from pavements to roofs:

- -4°C in Athens, the daytime air cooling effect generated by switching from dark asphalt pavement (albedo 0.04) to white pavement (albedo 0.55) for floors (Synnefa, Karlessi, Gaitani *et al.*, 2011)
- -20% on average, this is the reduction in energy demand for residential and commercial buildings with the application of a "cool roof" (albedo 0.6) compared to an asphalt roof in Toronto, Canada (albedo 0.2) (Akbari, Konopacki, 2004)
- -0.25 to -0.5°C in Melbourne and Sydney is the average reduction in urban air temperature for a 0.1 increase in the albedo of all urban surfaces, corresponding to a change from brown/gray to white pavements (Imran, Kala, Ng *et al.*, 2018)
- -0.4°C to -0.8°C in Milan, the average reduction in urban air temperature for a 0.1 increase in the albedo of all urban surfaces, corresponding to a change from brown/gray to white pavements (Falasca, Ciancio, Salata *et al.*, 2019)
- -5.8 to -6.6°C in Phoenix, this is the average reduction in temperature on a road with white surfacing compared with an asphalt road without (Chartier, 2023).

2.3. Soft solutions

These solutions relate to user behavior:

- Limiting the circulation of vehicles fitted with combustion engines: replacing conventional vehicles with electric vehicles in Beijing could reduce the intensity of the UHI in summer by around 0.94°C for an average summer UHI intensity of 3°C (Li, Cao, Zhang *et al.*, 2015)
- Limit the use of air conditioning to its strict minimum
- Ventilate buildings at night to bring in fresh air

3. Sustainable water management

Climate change is significantly transforming some cities. Cities are vulnerable to the impacts of climate change, such as flooding, drought and rising sea levels. They are densely populated, have aging infrastructure and are located in coastal areas. In this section, we explore how climate change is affecting cities, and what measures we can take to adapt them to water-related climate risks. It should be remembered, however, that not all flooding is directly due to climate change, but also to certain bad practices: for example, building in flood-prone areas that were historically undeveloped (C40 Cities, 2018, *op. cit.*).

3.1. Flooding

Intense rainfall combined with extreme weather events can cause flooding in urban areas. The consequences can be disastrous, ranging from the interruption of economic activities to the loss of human life. Cities can adapt to the risks of urban flooding by investing in resilient infrastructure such as dykes, drainage channels, rainwater retention parks and green roofs. In addition, cities can adopt land-use policies that encourage the development of green areas and permeable surfaces to reduce stormwater runoff.

A case in point is the famous Favela-Bairro development program (1994) in Rio de Janeiro, Brazil (Benmergui, Gonçalves, 2019, *op. cit.*). It followed violent storms that had dramatic consequences, particularly in the Favelas. These areas are often affected by natural disasters (landslides, floods and fires) due to the precarious nature of the buildings and their often unstable geographical location. The resurgence of these phenomena has led the municipal council to develop expertise in infrastructure work and to define priorities for improving access to basic services such as water, sanitation, transport, public spaces, social and cultural facilities, and to regulate land ownership in informal areas.

3.2. Rising sea levels

Sea-level rises can cause coastal flooding, coastal erosion and saltwater intrusion into underground aquifers. Cities can adapt to sea-level rises by investing in resilient coastal infrastructure, such as sea walls, dams and beach nourishment. However, these solutions should only be implemented after a full impact assessment.

Spatial planning policies can also limit development in vulnerable areas and promote the restoration of coastal ecosystems.

A particularly interesting example of this is the "blue architecture" of Amsterdam in the Netherlands (Usbek & Rica, 2016). The Borneo-Sporenburg district is built on a former industrial island. The buildings are elevated to prevent flooding, and the canals surrounding them allow water to drain away or even be temporarily stored in the event of heavy rainfall. Blue architecture is thus an innovative solution to the water-related challenges facing this city.

3.3. Yuzhong: An eco-city in the Nanhe river valley¹⁰

Urban areas can experience prolonged periods of drought, which can lead to water shortages, lower water quality and higher water costs.

Cities can adapt to drought by investing in water conservation infrastructure, such as rainwater harvesting systems, efficient irrigation technologies and water-saving household equipment. Water demand management policies, such as progressive tariffs and seasonal restrictions, can also help reduce water consumption.



Figure 6. Map of China / Zoom Yuzhong district / Photos of the area (from left to right) © Cristina Garcez, 2023.

The project is located in the arid Gansu region of western China, in the Yuzhong district of the city of Lanzhou. The area faces challenges such as drought and urban

¹⁰ • This section is based on a presentation by Cristina Garcez, architect and urban planner, working for CSTB.

pressure on agricultural land. In response, Cristina Garcez, assisted by a team of urban planners and engineers, proposed an innovative strategy to restore the environment and climate while maintaining local populations through a major urbanization project along the Nanghe River.

The proposal for the Yuzhong district offers an ambitious and innovative approach to meeting today's climatic and environmental challenges, restoring the climate, maintaining ecological balance and improving the quality of life of local residents while offering economic opportunities.

The project aims to create a new form of sustainable urbanization in the arid Gansu region, while preserving local history and agriculture. To achieve this, CSTB is proposing a new irrigation system that respects the natural resilience of the land and enables sustainable agriculture in harmony with existing villages. The model proposes a gauntlet-shaped organization with large areas of alternating agriculture, housing and social programs. At the heart of the project are six new metropolitan villages that integrate the existing old villages.

The landscape and urban strategy is based on improving soil quality and water management, with a new typology of housing, green houses and terraced housing. The project aims to reverse the negative effects of urbanization and intensive agriculture using innovative techniques, with an integrated approach to climate restoration as part of an overall urban and landscape strategy.



Figure 7. Project plan © Cristina Garcez, Jean-Pierre Prantlas-Descours.

Hydraulic strategy: The project aims to solve the problem of water scarcity in the Western China region by implementing sustainable water management. It is important to preserve water to supply the population and support agricultural activity in this region, which is often confronted with prolonged droughts.

To achieve this, an urban and landscape strategy has been drawn up to improve soil quality and capture all available water resources. The planting of a forest covering the entire south hillside will reduce the temperature and increase the presence of clouds, thus contributing to an increase in rainfall. In addition, the installation of filtering blocks will capture water from the hills and store it in reservoirs.

The project requires the construction of reservoirs to collect and filter rainwater from the southern hills. These tanks will be located at the base of the hills to facilitate rainwater collection and minimize losses through infiltration into the ground. To ensure lightweight, durable construction, the reservoirs will be made of ultra-lightweight honeycomb structures. These structures will be designed to allow efficient drainage of rainwater while supporting a minimal load. Each tank will be equipped with a sand filter bed to filter the collected rainwater before storage. The surface of each tank will be uniform, with a depth of 0.3 to 0.5 meters, to ensure optimum storage capacity. In total, the tanks will have a storage capacity of 760,733 cubic meters of rainwater per year. This initiative will enable a significant amount of rainwater to be collected and filtered, helping to preserve water resources and reduce the impact of rainfall on downstream residential areas.

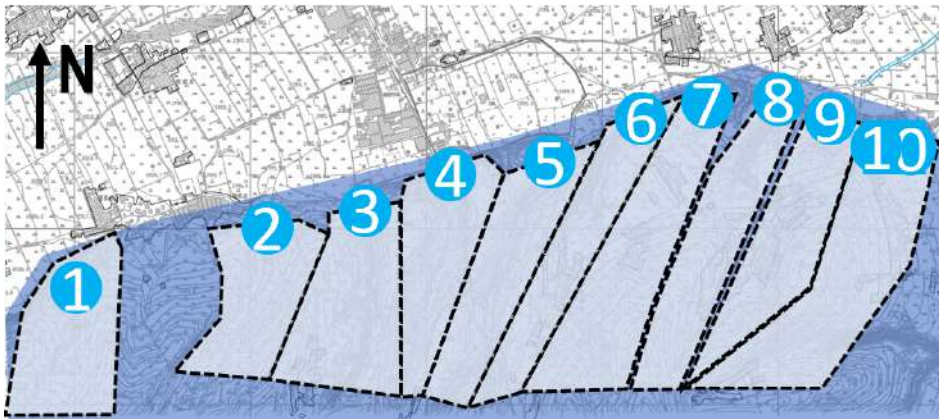


Figure 8. Map showing the ten rainwater reservoirs at the foot of the hill © Cristina Garcez, 2023, op. cit.

Another important measure for obtaining additional water is to harvest rainwater from the roofs of buildings and change domestic water consumption habits. The Western China Sustainable Water Management Project is an important initiative to

ensure the long-term availability of this essential resource. The proposed measures, including forest planting, water capture and storage, and rainwater harvesting, will help to achieve this objective.

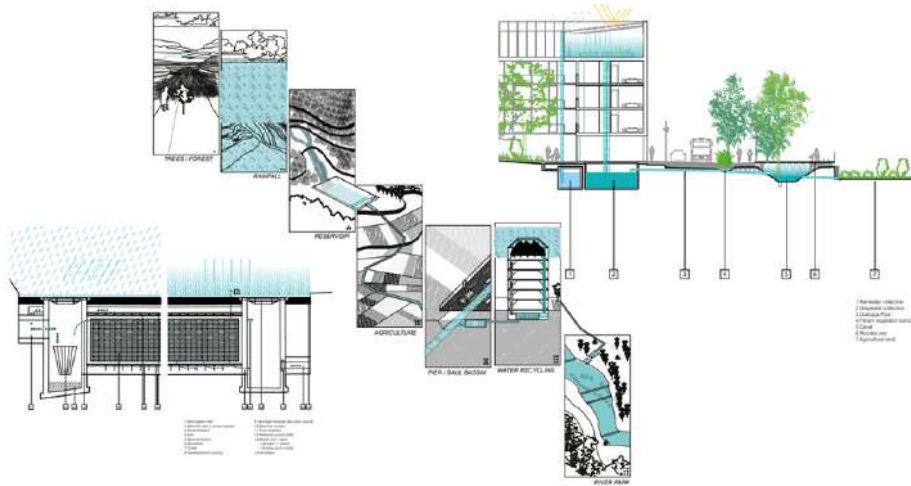


Figure 9. Hydraulic strategy: reservoirs and rainwater collection © Cristina Garcez, 2023, op. cit.

4. Green mobility and the decarbonization of urban travel

In response to the climate emergency and growing urbanization (by 2050, the majority of the population will be living in urban areas), urban planning is becoming increasingly important, both in managing mobility and in reducing the carbon footprint of travel. The main concepts are presented in this section:

- The quarter-hour city, where city design enables residents' daily needs to be met within a 15-minute radius with green mobility
- The 3/30/300 concept, The introduction of zero-emission zones to totally decarbonize a large proportion of cities

4.1. The quarter-hour city

In her presentation, Hélène Chartier defines the three fundamental principles of a sustainable and resilient city, the concept of which, promoted since 2015 by Carlos Moreno (Moreno, S.D.), dates back to 1990¹¹:

- A polycentric city, built around different neighborhoods
- A city whose public spaces and streets are people-centric
- A mastery of vegetation, enabling greater resilience to climatic risks

The Plan Vancouver 2050 (City of Vancouver, 2022, op. cit.) illustrates this quarter-hour city approach and defines the long-term strategy for the city's growth over the next 30 years. It sets out a unified vision for the city's land use, defining strategies that will help the city remain more liveable, affordable and sustainable, while maintaining a strong economy where people and biodiversity thrive. The city has taken up the three fundamental principles of the sustainable and resilient city, defining the following three main guidelines adapted to its situation:

- A policy of balanced densification of inhabited areas, with the aim of offering equivalent housing and opportunity solutions in every neighborhood, meeting the needs of all: housing, work, access to healthcare, provisioning, learning and self-fulfillment.
- An economy accessible to all, favoring business and activity zones in neighborhoods, while ensuring a mix of housing, jobs, local shops and services, accessible by public transport in areas that are currently poorly served.
- Protecting vegetated areas and restoring ecosystems, by creating green corridors for active modes of travel and supporting construction and renovation methods that limit energy consumption.

The latest IPCC report states that this quarter-hour city model could reduce GHG emissions by 25% by 2050. This polycentric city (Hall, 1998), with a multitude of secondary flows, contrasts with the monocentric city, where flows go from the periphery to the center.

This concept gained in popularity at the time of the Covid-19 pandemic, making it easier for people in certain cities to organize themselves in the face of travel restrictions, enabling them to meet their local needs without traveling long distances. This also reduced the risk of infection by avoiding unnecessary travel, an aspect of city resilience that had been overlooked prior to this first health crisis.

11• Burton, Jenks, Williams, 2003 ; Brundtland, 1987 ; Jacobs, 1985.

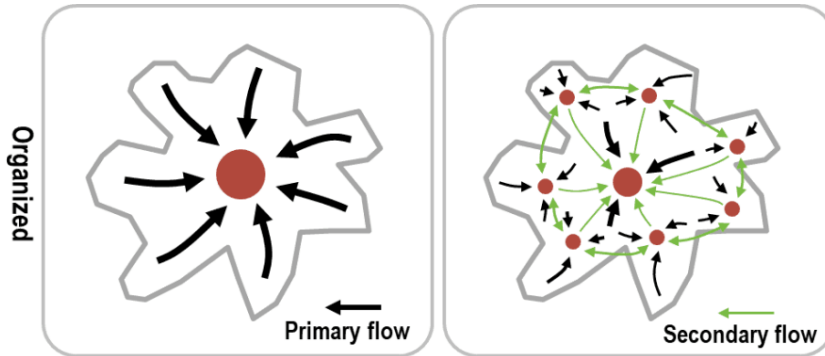


Figure 10. Monocentric and polycentric cities (source: adapted from Florent Le Néchet, 2015).

Finally, Philippe Bihouix reminded us during the week-long conference (Bihouix, 2023) that there is an optimum to be considered between densification and the carbon footprint of cities. Densification through height generates surface losses for high-rise buildings and the need for superchargers, in addition to deeper concrete foundations. And the more sprawling the city, the greater the need for mobility density, with a high level of land artificialization. Over-densification creates negative externalities, forcing us to use resources from outside the city. In Europe, the city with the highest urban density is Paris. Indeed, the density of Haussmannian blocks is one of the highest found in contemporary cities¹², with over 20,000 inhabitants/km².

Many cities, including Paris, Rome, Milan, Barcelona, Melbourne, Vancouver, Buenos Aires, Bogota, Glasgow, Chengdu, Beijing and others, are rolling out this concept on their own scale, adapting it to the local conditions of each city. There are always economic, demographic and constructional adjustments to be made before it can be implemented. For example:

- For Paris (Ville de Paris, 2022), the school is highlighted as the focal point of the neighborhood, a place for learning, mixing and sharing. No longer just reserved for relaxation or student activities, it is open outside school hours to welcome residents, who can find recreational, cultural or sporting activities.
- For Chengdu (Alwihada Info, 2023), bringing residents' cultures closer together through the creation of places of welcome and proximity like the "community service center"
- For Buenos Aires (López Menéndez, 2022) a free bike-sharing solution called the "Cycling Infrastructure initiative", which enabled the number of bike trips to rise from 0.4% in 2009 to 4% in 2019

12 • Lapierre, 2013 ; De Borman, 2022.

- For Bogota (Bogomolov, Clavijo, De Nadai *et al.*, 2016), safety, for a city where residents feel good, with the “Vital Neighbourhood” program

4.2. The 3/30/300 concept

The importance of vegetation in urban areas goes beyond the depolluting, refreshing and protective powers discussed in the second part. Indeed, a number of studies have shown that revegetation enhances the physical and mental well-being of residents. On this basis of the urgent need to revegetate cities and neighborhoods, the concept of seeing at least 3 trees, being able to move around in neighborhoods with 30% tree cover and living within 300 meters of a green space, has emerged *via* organizations (UN), researchers and environmental experts (Beatley, 2012).

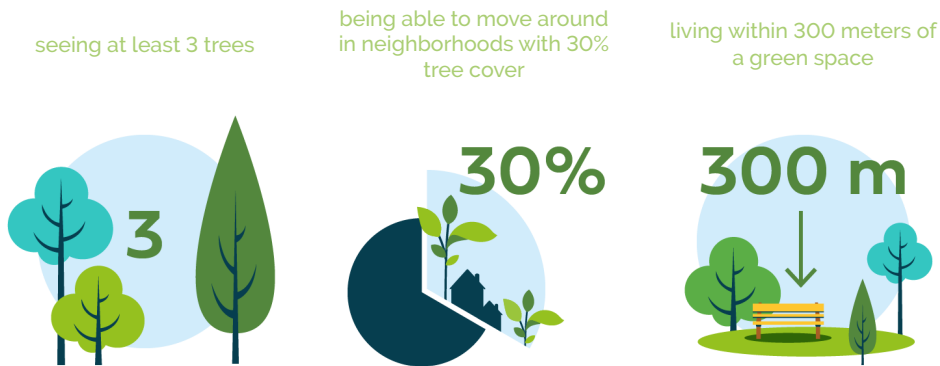


Figure 11. 3/30/300 concept diagram (source: adapted from Salma Samaha).

This concept has been adapted in a large number of urban plans around the world's major cities, including the following examples:

In Asia:

- Singapore¹³ is a leader in urban greening, with a “garden city” program that aims to cover the city with trees, parks and gardens. The city has also introduced initiatives such as the “Green Line Park”, a 10km walk across the city that links parks and green spaces.
- Tokyo (Tokyo Metropolitan Government, 2023) has launched a plan to achieve 30% green cover in the city by 2050. The plan calls for the creation of new green zones, the greening of rooftops and the planting of trees along roadsides.

13 • <https://www.greenplan.gov.sg/>.

In Europe:

- Vienna¹⁴ is often ranked as one of Europe's greenest cities, with more than half the city made up of green spaces. The city has an active urban greening program that includes tree planting and the creation of new parks and gardens.
- Oslo (Oslo Kommune, 2016) aims to increase the city's vegetated surface area by 50% by 2030, with plans to create new parks and green rooftops.

In Africa:

- Accra (Accra Metropolitan Assembly, 2020), capital of Ghana, has launched a "green city" program that aims to increase the city's vegetation cover by planting trees, creating new parks and gardens, and promoting urban agriculture.
- Addis-Abeba (Federal Democratic Republic of Ethiopia, 2019), capital of Ethiopia, has launched an ambitious program that aims to plant 4 billion trees by 2025 as part of its efforts to combat climate change and improve air quality.

4.3. Zero emission areas

Zero Emission Areas (ZEAs) offer cities a way to drive innovations in urban mobility, prioritize walking, cycling and public transport, increase the use of zero-emission vehicles and involve residents. 36 C40 cities have committed to defining a major area of the city as a ZEA by 2030. Other transformative actions they have committed to: the transition to Green Healthy Streets¹⁵ by acquiring zero-emission buses from 2025, and ensuring that a large proportion of cities are zero-emission by 2030, by implementing the following actions:

- Transform cities through human-friendly planning policies.
- Increase rates of walking, cycling and use of public and accessible transport for all residents.
- Reduce the number of polluting vehicles on the streets and abandon vehicles powered by fossil fuels
- Set an example by purchasing zero-emission vehicles for public urban fleets as quickly as possible.
- Work with suppliers, fleet operators and businesses to accelerate the transition to zero-emission vehicles and reduce vehicle miles traveled in cities
- Report publicly every two years on cities' progress towards these goals

¹⁴ • <https://www.wien.info/en/sightseeing/green-vienna>.

¹⁵ • <https://www.c40.org/accelerators/green-healthy-streets/>.

In Barcelona, the Superblock concept¹⁶ illustrates this commitment to putting residents and users first. Based on the grouping of nine contiguous blocks into a single pedestrian block, as shown in the figure below, it eliminates through-traffic and reduces the speed of local traffic. Each Superblock features a community public space, with parks, playgrounds and urban gardens, enabling residents to reclaim public space. This model aims to promote urban sustainability, reduce air pollution and promote active modes of travel, such as walking and cycling. In his presentation, Nicolas Ziesel illustrates this action with an 80% increase in pedestrian zones, a 45% reduction in the surface area occupied by vehicles, numerous new play areas for children and a 91% increase in vegetated areas.

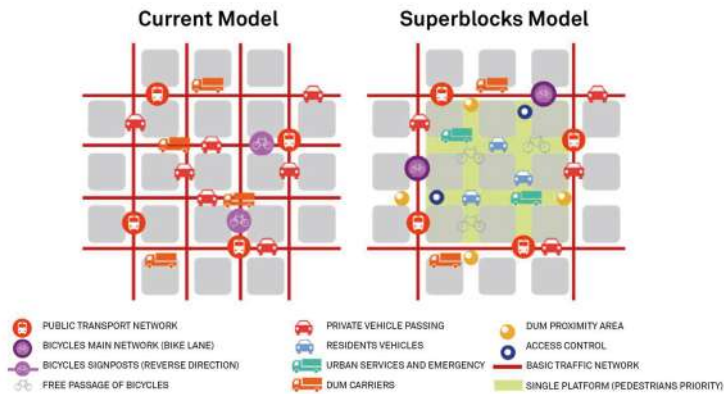


Figure 12 Barcelona - Superblocks model © Ajuntament De Barcelona, 2014, p. 10.

5. Renovation policies

Design and construction regulations that improve the energy efficiency of buildings represent the fundamental levers for limiting global warming to 1.5°C before the end of the century. In a highly complex regulatory landscape, it is sometimes difficult to assess the real effectiveness of current regulations in meeting national commitments to achieve carbon neutrality within the century. In this section, we look at some of the regulations implemented by the Chinese, European and American governments, and their stated ambitions¹⁷.

¹⁶ About Superblock concept, see : <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/movilidad-activa-y-sostenible/plan-de-movilidad-urbana>.

¹⁷ <https://blog.rexel.com/stories/chine-europe-etats-unis-les-reglementations-vertes-pour-lutter-contre-le-changement-climatique-dans-le-batiment/>.

5.1. The case of China

China, the world's largest emitter of CO₂, is an interesting case in point, having committed to achieving peak emissions by 2030 and carbon neutrality by 2060. As early as 1986, it introduced the first "national energy code for the design of new residential buildings in cold and very cold regions". This national energy code focused almost exclusively on wall insulation. Since then, Chinese regulations have evolved towards a sustainable building and neighborhood approach.

On the other hand, between 1995 and 2005, China's housing stock almost tripled. The Chinese National Bureau of Statistics estimates that, in recent years, some 4 billion m² of new buildings have been constructed every year. Central and local authorities have recognized the urgent need to improve the energy efficiency of buildings by adopting both regulatory policies (building codes) and financial and market policies (incentives and energy labels for buildings), although the latter remain voluntary.

There are currently two energy label schemes. The first is the Green Building Evaluation and Labeling (GBEL) program, which is mandatory for new public and commercial buildings. The second is the Building Energy Efficiency Evaluation and Labeling (BEEL) (Shen, Faure, 2021) program, an energy efficiency evaluation and labeling system specifically for residential buildings.

By way of example, we can cite the steps taken by the cities of Qingdao and Fuzhou. The former decided to significantly increase the energy efficiency of its existing buildings between 2015 and 2020. More than 24 million square meters of residential buildings and over 6 million square meters of public buildings were renovated. This colossal investment will have delivered average energy savings of 40%. The city also aims to implement carbon-neutral action plans for future ecological construction, renovation and development projects. The second city, Fuzhou, has focused on improving the use of renewable energies such as solar heat and solar power in its new-build and renovation projects. The actions carried out in these two cities aim to provide new solutions and implement them on a large scale to enable China to achieve carbon neutrality by 2060.

5.2. The case of Europe

In Europe, the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) is the cornerstone of policy in this area. Together with certain provisions of the Energy Efficiency Directive (EED) and the Renewable Energy Directive (RED), the EPBD is the "main EU legislative instrument for improving the energy performance of buildings within the Community" (Parlement européen, 2021).

The EPBD, which covers both new and existing building stock, was first adopted in 2010, revised in 2018 and updated again in December 2021 to bring it into line with

the Paris Agreement objective of reducing net emissions to zero by 2050. It is part of the European Green Deal's "Renovation Wave" initiative, which aims to decarbonize European buildings while combating fuel poverty and stimulating economic growth. It includes the development of national long-term renovation strategies (LTRS) to decarbonize the building stock by 2050. The DPEB also prescribes the issuance of energy performance certificates (CPE) whenever a building is sold or rented.

Among the most recent updates to the directive adopted in March 2023 (Parlement européen, 2023) is the mandatory improvement of the energy efficiency of public and non-residential buildings to at least energy performance level E by 2027 and at least level D by 2030. Residential buildings will have to achieve a minimum energy performance of class E by 2030 and class D by 2033. New buildings must be zero-emission by 2028, with a 2-year advance (to 2026) for public buildings or those occupied by public authorities. All new buildings will also have to be equipped with solar technologies from 2028 (where the configuration allows). Residential buildings undergoing major renovation will have to incorporate solar technologies from 2032.

Modernization of the existing building stock has been the most controversial topic, and debate has opened up as to how far these plans should go without encroaching on the powers of EU member states. Whatever happens in the near future, one thing is clear: given that 85% of the EU's buildings were constructed before 2001, and the vast majority are expected to still be in use in 2050, any overhaul of the EU's existing building stock will be a mammoth undertaking, and more detailed plans are needed at regional and national levels to ensure that carbon neutrality is achieved in less than three decades.

In France, for example, where housing has the worst energy performance diagnosis (*Diagnostic de performance énergétique* – DPE) ratings, landlords are obliged to renovate, or risk being unable to rent out their properties.

5.3. The case of the United States

In the United States, buildings account for 39% of energy consumption and two-thirds of electricity consumption. The federal government does not have the power to adopt binding building codes. State and local governments can, however, decide to adopt one of the standard federal energy codes. These codes set minimum requirements for the design and construction of new buildings, as well as for energy-efficient renovations. They also address the energy consumption of buildings and the emissions they generate throughout their lifecycle.

There are two main federal "model" codes governing energy consumption in buildings. The first is the International Energy Conservation Code (IECC), which sets minimum standards for building energy efficiency. This code sets requirements for

insulation, air tightness, heating, ventilation, air conditioning and lighting in commercial and residential buildings. The second code is ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ASHRAE 90.1). This standard is widely used in the US construction industry to improve the energy efficiency of buildings and to meet regulatory requirements. It is also used as a benchmark for green building certifications, such as the LEED certification system.

Most states apply this standard to their commercial buildings and to some of their public buildings.

New York, studied by Construction 21 (Batiactu, 2019), is a case in point. In 2019, the elected representatives of the largest city in the United States of America ratified the Climate Mobilization Act (Sciences et avenir, 2019), which obliges high-rise and other major buildings to reduce their greenhouse gas (GHG) emissions by 40% by 2030. This municipal law appears to be a pioneer in the fight against global warming on the other side of the Atlantic. The aim is to force the most polluting buildings to carry out the necessary work to reduce their impact on the environment. Failure to comply with the legislation will result in heavy fines. In its press release, the city council pointed out that the thousands of residential and commercial buildings over 2,300 m² affected by the law accounted for around a third of the conurbation's total GHG emissions.

5.4. The case of rehabilitation

The rehabilitation or renovation of existing buildings is in fact the best solution for a low-carbon building: "what is the greenest building? The one that already exists" (Abha Narein Lambah). In fact, it is more cost-effective (from a financial point of view) and more sustainable (in terms of embedded carbon) to renovate existing buildings than to demolish and build new ones. Old buildings can be renovated to preserve their architectural heritage, improve their energy efficiency or enhance their sustainability. The main issues are:

- To identify how to take advantage of existing buildings in order to reduce their carbon footprint during construction and in their operational phase.
- To justify that renovation is better than a destruction and reconstruction solution
- And how to do better with less.

In France, we can take as an example the Saint-Vincent-de-Paul district in the 14th arrondissement of Paris. On 3.4 hectares of the former hospital's historic enclosure, development was based on respect for the site's history, as requested by the developer Paris & Métropole Aménagement: the quality of its heritage, the memory of the hospital and the values carried by a dense and inventive transitional occupation.

In addition, the project includes ambitious environmental requirements, aiming for maximum reduction of the carbon footprint and development of the circular economy from project design to completion and throughout the life of the district. The "zero-carbon, zero-waste, zero-discharge" objective translates into a sober urbanism that combines reinvestment in buildings, reuse of materials, re-fertilization of soil, control of energy consumption and use of renewable energies.

On the African continent, Morocco is also adopting measures to encourage the renovation and rehabilitation of buildings. One such project is the Zenata Eco-City in Ain Harrouda, located at the crossroads of the strategic cities of Casablanca and Rabat. The aim of this Eco-City is to renew the district along the lines of the old medinas.

In India, the renovation of historic sites is also equated with the notion of conservation, according to Abha Narein Lambah. Indeed, they are part of history, and it is important to protect and safeguard them. Renovation projects have several objectives:

- The use of local materials and a preference for short circuits
- Preservation of traditional building techniques

In the case of Chamba Lakhang, Basgo, Ladakh, a Buddhist temple, emphasis was placed on the exclusive use of local materials and ancestral construction techniques. Indeed, the site's weather conditions (-40°C in winter) make renovation complicated. To enable the site to be renovated in the best possible conditions, it was imperative to perpetuate traditional construction techniques. The previous generation of craftspeople passed on their knowledge to the new generation. The former pass on their knowledge, helping and advising the younger generation, so that one day the latter can do the same. It is important to safeguard the know-how and building culture that are in danger of disappearing, so that we can better understand how historic buildings were built.

Heritage conservation must be seen as a tool to enable greener, more sustainable architecture. Abha Narein Lambah applies this approach to encourage local action, such as involving the community in projects that concern them. Safeguarding cultural identity is achieved through urban regeneration. It is a way of ensuring that cultural identity endures through the reappropriation of emblematic sites such as historic facades or squares. The example of the Kala Ghoda Art District illustrates the citizens' initiative to revive this emblematic square by reappropriating it as a public cultural space. Art festivals, exhibitions, etc. are organized, free of charge and open to all¹⁸.

18 • <https://kalaghodaassociation.com/> ; <https://www.instagram.com/kgafest/?hl=fr>.



Figure 13. Intergenerational workshop to share traditional building techniques
© Abha Narain Lambah Associates, 2013.

Conclusion

There is a growing global awareness of the urgent need to create sustainable buildings, neighborhoods and cities. Energy regulations and codes applicable to buildings are only effective if they are enforced and correctly implemented. This can be very difficult, as few jurisdictions impose penalties for non-compliance. Enforcement can be encouraged by other means. For example, many countries supplement their regulatory arsenal for building design and construction with financial incentives, ranging from subsidies to low-interest loans and tax breaks.

According to the International Energy Agency's (IEA) Energy Efficiency Report, building operations contributed around 30% of global carbon dioxide (CO₂) emissions in 2019. This equates to around 10.9 gigatons of CO₂ emissions from buildings that year (UNEP, 2020), and 10% of global emissions from new building construction. The report also highlights buildings as a key area for reducing greenhouse gas emissions, as there are many proven solutions for improving the energy efficiency of buildings.

The opportunities for a global shift to clean energy in current and future building stock are real, but require firm global commitments, as well as regulations and policies to enforce and defend them.

The nature and criticality of the problems encountered vary from one geographical area to another.

Today, we are experiencing a certain degree of "globalization":

- demographic phenomena
- intensive urbanization
- environmental challenges such as climate change, air and water pollution and biodiversity loss.

We know that there are "tipping points", particularly where biodiversity is concerned. The stakes are therefore colossal.

Yet this article highlights, through a few examples, the incredible energies being deployed around the world. Ecole des Ponts ParisTech is a concrete example of the pooling of these energies. So, yes, it is obvious that we need to move forward together on this titanic but essential project. The exchange of knowledge and best practices between cities, as well as international cooperation to finance sustainable projects, has taken on a decisive role in this race against the clock.

Numerous strategies exist to achieve this. These include environmental certification (Gothenburg, Cape Town, Vancouver), integrated urban planning (Lanzhou, Dakar), the circular economy (Amsterdam, Copenhagen), green technologies (Stockholm, Hong Kong) and community participation (Rio de Janeiro, Barcelona).

As this article demonstrates through the various examples given above, urgency must not prevail over the needs of local communities and their culture. It is essential that sustainable solutions are adapted to the needs and preferences of local inhabitants. Sustainable development efforts must be inclusive and equitable.

In other words, we need to improve people's quality of life while reducing the impact of increasing urbanization by making cities carbon-neutral. To achieve this, we need to give priority to incentive-based and collaborative solutions, rather than coercive policies and guilt-tripping.

Sources • Sources

Tableau 1.

Rio de Janeiro

BENMERGUI, Leandro et GONÇALVES, Rafael Soares, 2019. Rio de Janeiro : orages et urbanisme milicien. *Métropolitiques* [en ligne], 5 p. Disponible sur : <https://www.metropolitiques.eu/Rio-de-Janeiro-orages-et-urbanisme-milicien.html> (consulté le 10.08.2023).

APUR, RIO PREFEITURA et IABD, S.D. *Plan de revitalisation de la zone centrale de Rio de Janeiro. Projet BID n° ATN-1033* [en ligne]. Résumé du rapport final, 17 p. Disponible sur : https://50ans.apur.org/data/b4s3_home/fiche/78/07_zone_centrale_rio_resume_projet_bid_63fb7.pdf (consulté le 10.08.2023).

FAJARDO, Washington et CABOT, Roberto, 2014. Nouvelles perspectives pour Rio de Janeiro [en ligne]. *PCA-STREAM Philippe Chiambaretta Architecte*. Disponible sur : <https://www.pca-stream.com/fr/articles/nouvelles-perspectives-pour-rio-de-janeiro-31> (consulté le 10.08.2023).

Dakar

MINISTÈRE DU RENOUVEAU URBAIN, DE L'HABITAT ET DU CADRE DE VIE et AGENCE JAPONAISE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE, 2016. *Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses Environs. Horizon 2035* [en ligne]. Rapport final, vol. 1, 46 p. Disponible sur : https://www.pdudakar.gouv.sn/IMG/pdf/eijr16003_da2875.pdf (consulté le 10.08.2023).

DIRECTION DE L'URBANISME ET DE L'ARCHITECTURE, S.D. Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses Environs. Horizon 2035. Scénarios de développement [en ligne]. *pdudakar.sec.gouv.sn*. Disponible sur : <https://pdudakar.sec.gouv.sn/Scenarios-de-developpement.html> (consulté le 10.08.2023).

Lagos

DENMAT, Pierre, 2018. Lagos, immensité et urbanité d'une ville d'Afrique subsaharienne fantasmée dans les séries télévisées. *Urbanités* [en ligne], 22 octobre 2018. Dossier Urbanités africaines. Disponible sur : <https://www.revue-urbanites.fr/urbanites-africaines-denmat/> (consulté le 10.08.2023).

Delhi

GIRAUD, Pierre-Noël, MARIA, Augustin, 2010. L'habitat informel à Delhi : Panorama historique et implications politiques. *Les Annales de la recherche urbaine* [en ligne], n° 106. Mélanges. pp. 26-37. DOI: [10.3406/aru.2010.2780](https://doi.org/10.3406/aru.2010.2780).

SINGHAI, Aakriti, 2020. Delhi Master Plans. *ResearchGate* [en ligne]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/350637949_Delhi_Master_Plans (consulté le 10.08.2023).

WANGCHUK, Tsomo, 2022. Delhi Master Plan of Delhi 2041 by Delhi Development Authority (DDA) [en ligne]. *planningtank.com*, 01 juin 2022. Disponible sur : <https://planningtank.com/master-plan/delhi-master-plan-mpd-2041> (consulté le 10.08.2023).

ROWELL, Melody, S.D. Delhi : Vivre dans la ville la plus polluée du monde. *National Geographic* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/delhi-vivre-dans-la-ville-la-plus-polluee-du-monde> (consulté le 10.08.2023).

Hong Kong

DOUAY, Nicolas, 2010. La remise en cause du modèle d'urbanisme hongkongais par l'émergence d'une approche collaborative de la planification. *Perspectives chinoises* [en ligne], n°110, pp. 109-123. DOI: [10.3406/perch.2010.3999](https://doi.org/10.3406/perch.2010.3999).

Lanzhou

GARCEZ, Cristina, 2023. Les stratégies territoriales en Chine et au Brésil : deux exemples de projets sans frontière. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Göteborg

ASCHAN-LEYGONIE, Christina, BONNAUD, Agnès et GIRAULT, Camille, 2015. Quand la situation urbaine favorise la protection des espaces naturels : le cas de Göteborg (Suède). *Cybergeog: European Journal of Geography* [en ligne], Environment, Nature, Landscape, document 744. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/cybergeog/27258> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeog.27258> (consulté le 10.08.2023).

Vancouver

CITY OF VANCOUVER, 2022. *Vancouver Plan 2050* [en ligne]. 85 p. Disponible sur : <https://vancouverplan.ca/wp-content/uploads/Vancouver-Plan-2022-09-23-1.pdf> (consulté le 10.08.2023).

Amsterdam

BERMOND, Guillaume. 2017. Amsterdam, un projet d'urbanisme collaboratif contribue à changer un quartier d'affaires [en ligne]. *Le Monde*, 12 avril 2017. Disponible sur : https://www.lemonde.fr/les-prix-de-l-innovation/article/2017/04/12/a-amsterdam-un-projet-d-urbanisme-collaboratif-contribue-a-changer-un-quartier-d-affaires_5110124_4811683.html (consulté le 10.08.2023).

USBK & RCA, 2016. Le génie d'Amsterdam : modèle d'intelligence urbaine [en ligne]. *demain la ville by Bouygues Immobilier – Le blog*, 20 juillet 2016. Disponible sur : <https://www.demainlaville.com/le-genie-damsterdam/> (consulté le 10.08.2023).

Barcelone

URBANISMO, TRANSICIÓN ECOLÓGICA, SERVICIOS URBANOS Y VIVIENDA, S.D. Plan de Movilidad Urbana (2013-2018) [en ligne]. *barcelona.cat*. Disponible sur : <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/movilidad-activa-y-sostenible/plan-de-movilidad-urbana> (consulté le 10.08.2023).

Figure 1.

AGENCE D'URBANISME PAYS D'AIX-DURANCE, SONNTAG, Alexandra, CROMBÉ, Flore *et al.*, 2019. *Halte à la surchauffe en ville ! Comprendre le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICH)* [en ligne]. Marseille : Métropole Aix Marseille Provence, 16 p. Disponible sur : https://aupa.fr/wp-content/uploads/2020/07/ICU-Cahier1_Vf_dec2019.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 2.

C40 CITIES, BADAoui, Nathalie, COPPOLA, Flavio Coppola *et al.*, 2018. *Integrating Climate Adaptation. A toolkit for urban planners and adaptation practitioners* [en ligne]. S. L. : C40 Cities, Global Environment Facility, Global Platform for Sustainable Cities, 66 p. Disponible sur : https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/integrating_climate_adaptation_toolkit_c40_gpsc_eng.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 3.

ATELIER PARISIEN D'URBANISME, BLANCOT, Christiane (dir.) 2012. *Les îlots de chaleur urbains à Paris* [en ligne]. Cahier n° 1, 40 p. Disponible sur : https://www.apur.org/sites/default/files/documents/ilot_chaleur_urbains_paris_cahier1.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 4.

RAFIEIAN, Mojtaba, RAD, Hadi Rezaei et SHARIFI, Ayyoob, 2014. The necessity of using Sky View Factor in urban planning: A case study of Narmak neighborhood, Tehran. In : IEEE. *2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)*. pp. 1-5.

Figure 5.

ADEME, 2021. *Rafraîchir les villes. Des solutions variées*. Angers : ADEME, TRIBU, Cerema, 80 p. Collection « Ils l'ont fait ».

Figure 6.

GARCEZ, Cristina, 2023, *op. cit.*

Figure 7.

HOLCIM FOUNDATION, 2021. Awards Asia Pacific 2021 [en ligne]. *holcimfoundation.org*, 13 novembre 2021. Disponible sur : <https://www.holcimfoundation.org/media/news/awards/awards-asia-pacific-2021> (consulté le 10.08.2023).

Figure 8.

GARCEZ, Cristina, 2023, *op. cit.*

Figure 9.

GARCEZ, Cristina, 2023, *op. cit.*

Figure 10.

LE NÉCHET, Florent, 2015. De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain. *Cybergeo* [en ligne]. DOI: [10.4000/cybergeo.26753](https://doi.org/10.4000/cybergeo.26753).

Figure 11.

SAMAHA, Salma, S. D. L'approche 3-30-300 pour des villes plus saines, plus vertes et plus équitables [en ligne]. *Milieux de vie en santé*. Disponible sur : <https://milieuxdevieensante.org/approche-3-30-300-villes-saines-vertes-equitables/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 12.

AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2014. *Urban Mobility Plan of Barcelona. PMU 2013-2018* [en ligne]. 102 p. Disponible sur : https://prod-mobilitat.s3.amazonaws.com/PMU_Sintesi_Angles.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 13.

Abha Narain Lambah Associates, 2013. Quila Mubarak Patiala, Punjab. Projects (source : <https://www.anlassociates.com/monuments/quila-mubarak/>).

Bibliographie • References

ACCRA METROPOLITAN ASSEMBLY, 2020. *The City of Accra. 2020 Voluntary Local Review (VLR). Report on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Deve-*

lopment and African Union Agenda 2063 [en ligne]. Accra : AMA, 73 p. Disponible sur : [https://ama.gov.gh/documents/Accra_City_2020_VLR_Report-Final_\(May_2020\)_docx.pdf](https://ama.gov.gh/documents/Accra_City_2020_VLR_Report-Final_(May_2020)_docx.pdf) (consulté le 10.08.2023).

AKBARI, Hashem et KONOPACKI, Steven, 2004. Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy*, vol. 29, n° 2, pp. 191-210.

AMANI-BENI, Majid, ZHANG, Biao, XU, Jie *et al.*, 2018. Impact of urban park's tree, grass and waterbody on microclimate in hot summer days: A case study of Olympic Park in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 32, pp. 1-6.

BATIACTU, 2019. États-Unis : New York déclare la guerre aux bâtiments polluants [en ligne]. *construction21.org*, 23 avril 2019. Disponible sur : <https://www.construction21.org/france/articles/h/etats-unis-new-york-declare-la-guerre-aux-batiments-polluants.html> (consulté le 10.08.2023).

BEATLEY, Timothy (ed.), 2012. *Green cities of Europe: Global lessons on green urbanism*. Washington : Island Press.

BIHOUIX, Philippe, 2023. Vers des métropoles « vertes » ou des villes « stationnaires » ? . In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

BOGOMOLOV, Andrey, CLAVIJO, Andrés, DE NADAI, Marco *et al.*, 2016. What makes a city vital and safe: Bogot'a case study. In : *Annual World Bank Conference on Development Economics (ABCDE): Data and Development Economics*, session D.

BRUNDTLAND, Gro Harlem, 1987. *Our Common Future World Commission On Environment And Development*. Report of the Word Commission on Environment and Development. United Nations.

BURTON, Elizabeth, JENKS, Mike et WILLIAMS, Katie (eds.), 2003. *The compact city: a sustainable urban form?*. Routledge.

CHARTIER, Hélène, 2023. L'accélération des bâtiments et villes bas-carbone. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

CHEN, Liang et NG, Edward, 2011. Quantitative urban climate mapping based on a geographical database: A simulation approach using Hong Kong as a case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 13, n° 4, pp. 586-594.

DE BORMAN, Antoine (dir.), 2022. *Densité urbaine : Cahier de recommandations. La densité au service de la qualité de vie, vers une nouvelle équation urbaine* [en ligne]. Bruxelles : Perspectives Brussels, 67 p. Disponible sur : https://perspective.brussels/sites/default/files/documents/20220922_projecting_densite_cahier.pdf (consulté le 10.08.2023).

FALASCA, Serena, CIANCIO, Virgilio, SALATA, Ferdinando *et al.*, 2019. High albedo materials to counteract heat waves in cities: An assessment of meteorology, buildings energy needs and pedestrian thermal comfort. *Building and environment*, vol. 163, 106242.

FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA, 2019. *Ethiopia's Climate Resilient Green Economy. National Adaptation Plan* [en ligne]. Addis-Abeba : Ethiopia's Environment, Forest and Climate Change Commission. Disponible sur : [https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/Final%20Ethiopia-national-adaptation-plan%20\(1\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/Final%20Ethiopia-national-adaptation-plan%20(1).pdf) (consulté le 10.08.2023).

GARCEZ, Cristina, 2023. Les stratégies territoriales en Chine et au Brésil : deux exemples de projets sans frontière. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

HALL, Peter Geoffrey, 1998. *Cities in civilization*. New-York : Pantheon Books.

IMRAN, Hosen M., KALA, J., NG, A. W. M. *et al.*, 2018. Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. *Journal of Cleaner Production*, vol. 197, pp. 393-405.

JACOBS, Jane, 1985. *Cities and the wealth of nations: Principles of economic life*. Vintage.

JIM, Chi Yung, 2015. Assessing climate-adaptation effect of extensive tropical green roofs in cities. *Landscape and Urban Planning*, vol. 138, pp. 54-70.

KONARSKA, Janina, HOLMER, Björn, LINDBERG, Fredrik *et al.*, 2016. Influence of vegetation and building geometry on the spatial variations of air temperature and cooling rates in a highlatitude city. *International Journal of Climatology*, vol. 36, n° 5, pp. 2379-2395.

LAMBAH, Abha Narein, 2023. Construire un avenir durable : le contexte indien. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

LAPIERRE, Éric, 2013. *Paris, un cas d'école. Constructif* [en ligne], n° 35. Disponible sur : http://www.constructif.fr/bibliotheque/2013-6/paris-un-cas-d-ecole.html?item_id=3331 (consulté le 10.08.2023).

LI, Canbing, CAO, Yijia, ZHANG, Mi *et al.*, 2015. Hidden benefits of electric vehicles for addressing climate change. *Scientific reports*, vol. 5, n° 1, 9213.

LÓPEZ MENÉNDEZ, Manuela, 2022. Cycle vision: Buenos Aires plots a bigger bicycle future [en ligne]. *Transport Policy Matters*, 03 juin 2022. Disponible sur : <https://transportpolicymatters.org/2022/06/03/cycle-vision-buenos-aires/> (consulté le 10.08.2023).

MORENO, Carlos (dir.), S. D. *La ville du ¼ d'heure ; Du concept à la mise en œuvre* [en ligne]. Livre Blanc n° 2. Paris : Chaire ETI – IAE Paris, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. 47 p. Disponible sur : <https://www.moreno-web.net/wordpress/wp-content/uploads/2020/12/Livre-Blanc-2-Etude-ville-quart-heure-18.12.2020.pdf> (consulté le 10.08.2023).

ONU PROGRAMME POUR L'ENVIRONNEMENT, 2020. Les émissions du secteur du bâtiment ont atteint un niveau record, mais la reprise à faible intensité de carbone [en ligne]. *unep.org*, 16 décembre 2020. Disponible sur : <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/communique-de-presse/les-emissions-du-secteur-du-batiment-ont-atteint-un> (consulté le 10.08.2023).

OSLO KOMMUNE, 2016. *Climate and Energy Strategy for Oslo. Adopted by the City Council in Oslo 22.06.2016 (Proposition 195/16)* [en ligne]. Oslo : City of Oslo, Agency for Climate, 15 p. Disponible sur : <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2018/06/Climate-and-Energy-Strategy-2016-English.pdf> (consulté le 10.08.2023).

PARLEMENT EUROPÉEN, 2023. *MEPs back plans for a climate neutral building sector by 2050* [en ligne]. Press Releases. Disponible sur : <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230310IPR77228/meps-back-plans-for-a-climate-neutral-building-sector-by-2050> (consulté le 10.08.2023).

PARLEMENT EUROPÉEN, 2021. *Rapport sur la mise en œuvre de la directive sur la performance énergétique des bâtiments* [en ligne]. Rapport – A9-0321/2021. Disponible sur : https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0321_FR.html (consulté le 10.08.2023).

PEOPLE'S DAILY, 2023. China's Chengdu strives to build better. 15-minute community life circles [en ligne]. *Alwihada Info*, 15 janvier 2023. Disponible sur : https://www.alwihdainfo.com/China-s-Chengdu-strives-to-build-better-15-minute-community-life-circles_a120497.html (consulté le 10.08.2023).

SCIENCES ET AVENIR et AFP, 2019. Climat : New York vote une ambitieuse loi de réduction des émissions des bâtiments [en ligne]. *Sciences et avenir*, 19 avril 2019. Disponible sur : https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat-new-york-vote-une-ambitieuse-loi-de-reduction-des-emissions-des-batiments_133097 (consulté le 10.08.2023).

SHEN, Yayun et FAURE, Michael, 2021. Green building in China. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* [en ligne], vol. 21, pp. 183-199. DOI: [10.1007/s10784-020-09495-3](https://doi.org/10.1007/s10784-020-09495-3).

SYNNEFA, Afroditi, KARLESSI, Theoni, GAITANI, Niki *et al.*, 2011. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment*, vol. 46, n° 1, pp. 38-44.

TOKYO METROPOLITAN GOVERNMENT, 2023. *Tokyo Sustainability Action* [en ligne], 108 p. Disponible sur : https://sdgs.un.org/sites/default/files/vlrs/2022-04/tokyo_sustainability_action.pdf (consulté le 10.08.2023).

VILLE DE PARIS, 2022. Paris ville du quart d'heure, ou le pari de la proximité [en ligne]. *paris.fr*, 23.05.2022. Disponible sur : <https://www.paris.fr/dossiers/paris-ville-du-quart-d-heure-ou-le-pari-de-la-proximite-37> (consulté le 10.08.2023).

ZIESEL, Nicolas, 2023. Carbone sensible. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Rénover autrement

Renovate otherwise



Rita FRANCIS
Kévin HIBERT
Éric MAUPERON



École des Ponts
ParisTech

Introduction

Le bâtiment est l'un des premiers émetteurs de gaz à effet de serre (GES), allant de la production des matériaux de construction, en passant par la construction proprement dite, jusqu'à l'exploitation. Outre l'artificialisation des sols, le système bâti crée, en milieu urbain, des microclimats, des îlots de chaleur, qui renforcent le réchauffement climatique.

Les secteurs de l'immobilier et du bâtiment ont une influence significative sur le climat. Les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre sont liées à l'utilisation des bâtiments qui, pour une grande partie d'entre eux, sont peu ou mal isolés et sont énergivores.

Selon un rapport du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires paru le mardi 11 mai 2021, ce secteur représente 44 % de l'énergie consommée en France. Ce rapport indique que, chaque année, le secteur du bâtiment émet plus de 123 millions de tonnes de CO₂, soit 23 % de GES. Ainsi, il est indispensable de rendre les bâtiments plus économes en énergie, et en particulier d'accélérer la rénovation massive du parc existant.

La loi Climat et résilience, promulguée et publiée au journal officiel le 24 août 2021, issue d'une partie des travaux de la Convention citoyenne pour le climat, avait pour objectif de faire entrer dans le quotidien des Français des usages et des obligations liées au changement climatique. La mesure phare de cette loi concerne l'efficacité énergétique des logements et l'obligation de rénover les passoires énergétiques. Elle aura un fort impact social et on peut l'espérer, un impact environnemental significatif. C'est une mesure nécessaire bien que contraignante pour agir efficacement contre le changement climatique.

En parallèle, la refonte du DPE en 2021 aboutit à une prise en compte beaucoup plus importante des émissions de carbone liées à la production énergétique du logement. Avant 2021, le DPE consistait en une note prenant en compte principalement l'enveloppe du bâtiment. Il s'enrichit désormais d'une notation des systèmes de production d'énergie. Les logements chauffés au fioul ou au charbon sont très pénalisés et désormais considérés comme des passoires énergétiques.

La loi Climat et résilience ainsi que les nouveaux DPE sont liés à un calendrier d'obligations croissantes de vendre et de louer pour les propriétaires. Par exemple, les bailleurs sociaux ne peuvent plus louer les logements classés G+ (+ de 450 kWh par m²/an) depuis janvier 2023. Ce calendrier d'obligations/interdictions contraindra également les propriétaires bailleurs. Ceux-ci ne pourront plus louer ce type de logement tant que l'étiquette DPE sera aussi basse (G dans un premier temps en 2025 et F en 2028).

À l'échelle européenne, l'objectif est identique. Cependant, les méthodes divergent et se tournent plus vers une démarche incitative que vers une règle coercitive.

La contrainte et l'interdiction ne résoudront pas tous les problèmes des propriétaires. La capacité des ménages à financer les travaux de rénovation énergétique de leur logement une question clé si l'on souhaite massifier la réhabilitation, pour tous et en particulier pour les ménages les plus modestes. Il convient de mettre en œuvre les financements publics conséquents, dispositifs d'aide et de subventions adaptés. Il faudra ensuite convaincre l'ensemble des membres de la chaîne de valeur de l'immobilier de l'intérêt, voire, de la nécessité de rénover autrement leur patrimoine.

Il est essentiel de rénover l'ensemble du patrimoine bâti afin de gagner en efficacité et en sobriété énergétique et réduire les émissions de GES du bâtiment. Cette massification de la rénovation doit également permettre de limiter le recours à la construction neuve afin d'économiser les ressources naturelles et de réduire l'artificialisation de nouvelles surfaces naturelles ou agricoles.

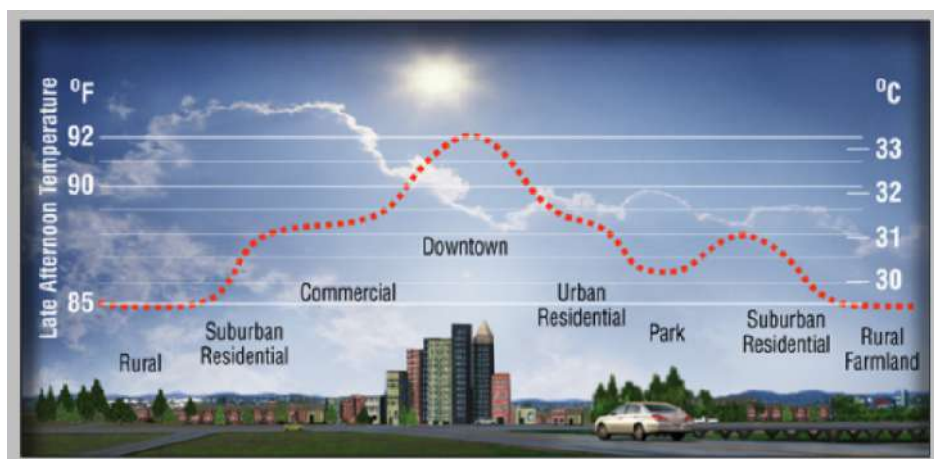


Figure 1. Illustration du microclimat urbain dû au système bâti © Heat Island Group.

1. Nombre de logements à rénover et besoin de financement

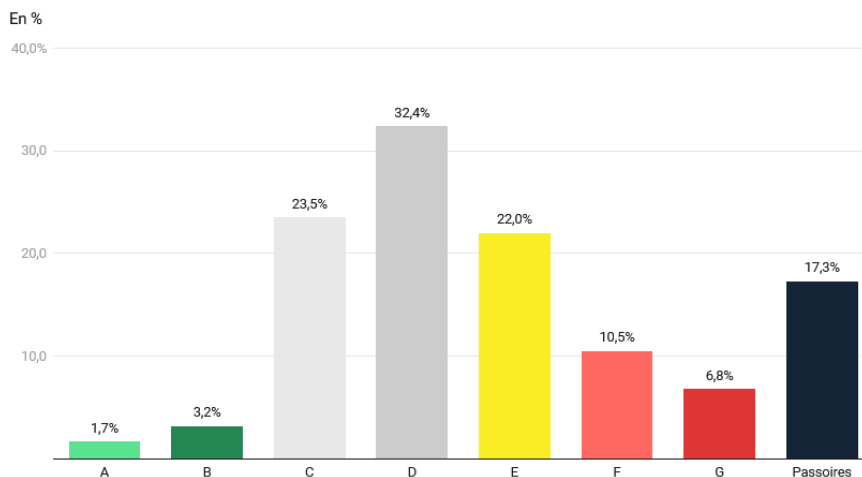
1.1. État des lieux

Atteindre la neutralité carbone en 2050 impose une réduction importante de la consommation énergétique de nos bâtiments. Le parc de logement comprend environ 30 millions de logements dont seulement 1,5 million de logements A et B, ainsi que

5,5 millions de logements publics sociaux et HLM pour lesquels les bailleurs sociaux mènent une politique active de rénovation énergétique.

Il reste par conséquent de l'ordre de 23 millions de logements privés à rénover pour les amener au niveau du label Bâtiment basse consommation (BBC) d'ici 2050. Ces 23 millions de logements comprennent notamment 11 millions de logements E, F et G dont 4,7 millions de « passoires énergétiques » c'est-à-dire des logements F ou G avec une consommation supérieure à 330 kWh/m²/an en énergie primaire ce qui représente environ 11 millions de personnes. Les logements F et G doivent disparaître dorénavant d'ici 2034. On peut rappeler que la loi du 17 août 2015 relative à la Transition énergétique pour la croissance verte (TECV) avait donné initialement pour objectif la suppression, d'ici à 2025, de ces passoires thermiques.

On constate également que 3,7 millions de personnes du 1^{er} et du 2^e quintile propriétaires vivent dans des logements classés F ou G. Ce constat pose la question de la capacité de l'ensemble de la population à financer la rénovation énergétique de son logement.



Note : passoires = logements classés F ou G.

Champ : ensemble des résidences principales au 1^{er} janvier 2022, France métropolitaine.

Figure 2. Répartition des résidences principales selon l'étiquette DPE
© Vie publique. Au cœur du débat public/DILA, 2022.

En qui concerne le secteur résidentiel, l'objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050 implique la rénovation complète de 370 000 logements (privés et sociaux) par an jusqu'à 2029, puis, de l'ordre de 700 000 logements par an entre 2030 et 2050.

Pour mémoire, en 2007, le Grenelle de l'Environnement avait conduit à un consensus sur la rénovation complète de 400 000 logements par an.

Or, le coût d'une rénovation performante, plus important dans le cas de maisons individuelles que de logements collectifs, s'élève de 30 000 à 50 000 € par logement, ce qui, rapporté aux 700 000 logements à rénover chaque année au niveau « BBC Effinergie rénovation » représente un besoin d'investissement annuel global d'environ 25 milliards d'euros. La loi TECV de 2015 a fixé l'objectif d'un parc immobilier (résidentiel et tertiaire) au niveau BBC ou équivalent en 2050, soit une classe A ou B. Or, à l'heure actuelle, on constate que seulement 5 % du parc est classé A ou B.

1.2. Les aides existantes pour les ménages et leur efficacité

À l'heure actuelle, moins de 5 milliards sont consacrés par l'État en aides publiques diverses avec une efficacité relative sur les logements réellement réalisés en rénovation globale, alors qu'il faudrait 10 à 13 GM € au total, selon Michel Pelenc, et 20 milliards selon la Convention citoyenne. Les moyens déployés par l'État pour soutenir la rénovation énergétique des logements résidentiels pour les particuliers sont pourtant nombreux. On compte notamment la réduction de taxe (TVA à 5,5 %), le prêt à taux zéro bonifié (éco-PTZ), des subventions : MaPrimeRénov', CEE, etc.

MaPrimeRénov' s'adresse à tous les ménages, ainsi qu'aux copropriétés et aux propriétaires bailleurs. Le montant de la prime est calculé en fonction des revenus et du gain écologique des travaux. Le logement doit être construit depuis au moins 15 ans ou depuis au moins deux ans lors du remplacement d'une chaudière au fioul. Il s'agit d'une prime directe versée aux ménages.

L'éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ) permet de financer la rénovation énergétique d'un logement sans faire d'avance de trésorerie et sans payer d'intérêts. Le prêt peut aller jusqu'à 50 000 €. Il est accordé sans condition de ressources. Le logement doit avoir été achevé depuis plus de 2 ans à la date de début des travaux.

En cas de rénovation d'un logement, certains travaux d'amélioration de la qualité énergétique peuvent bénéficier d'une TVA à taux réduit à 5,5 %. Le logement doit être achevé depuis plus de 2 ans.

Les aides des entreprises de fourniture d'énergie (CEE) (EDF, Engie, Total...) proposent des aides pour la réalisation de travaux d'économies d'énergie sous réserve qu'ils soient effectués par un professionnel reconnu garant de l'environnement (RGE). En contrepartie des aides versées, les entreprises CEE obtiennent des certificats leur permettant d'attester auprès de l'État qu'elles ont bien rempli leur obligation d'inciter les consommateurs à réaliser des économies d'énergie. Ces aides des entreprises de fourniture d'énergie (CEE) peuvent prendre plusieurs formes, diagnostics-conseils, mise en relation avec un réseau qualifié d'artisans, prêt à taux bonifié, prime.

En 2021, l'ANAH indique avoir financé la rénovation de 751 646 logements. Selon cet organisme, en 2021, 764 732 dossiers ont été déposés, 644 073 primes accordées, soit 2,06 milliards d'aides distribuées et 372 828 primes ont été payées à l'issue du chantier. MaPrimeRénov' a bénéficié pour 63 % à des ménages aux revenus modestes et très modestes. Les aides ont été majoritairement mobilisées pour changer le système de chauffage (68 %), suivi de l'isolation (26 %) et de la ventilation (3 %).

1.3. La nécessité d'une rénovation globale

On constate que ces aides publiques visent essentiellement les gestes individuels au détriment d'un objectif de performance finale et globale du logement. Pour arriver à un niveau BBC, la rénovation devrait être conçue de manière globale : de préférence en une seule fois (la meilleure solution technique et financière) ou, à défaut, en 2 ou 3 étapes maximum, coordonnées pour éviter les impasses techniques. En incitant les ménages à changer leur système de chauffage ou leurs fenêtres, on ne contribue pas forcément à rendre leur logement plus performant.

Ainsi en 2022, il n'y a pas eu 700 000 logements rénovés, mais « 669 890 dossiers payés à travers MaPrimeRénov' ». Sur ces 669 890 dossiers, seules 65 939 rénovations globales ont été menées, soit moins de 10 %. L'immense majorité concerne seulement des « gestes de travaux », comme un changement de fenêtres ou de chauffage. La France ne pourra atteindre l'objectif 2050 qu'en finançant de véritables rénovations globales. C'est-à-dire, en traitant à la fois l'isolation de toute l'enveloppe du bâtiment, puis le remplacement de la ventilation, du chauffage, etc.

Sur les 65 939 rénovations globales, seuls 13 400 logements sont arrivés en classe BBC. Autrement dit : près de 80 % de ces rénovations « globales » financées par l'État n'atteignent pas l'objectif de départ. En une année, ce ne sont donc pas 700 000 logements mais de l'ordre de 13 000 qui auraient été mis en conformité au standard BBC. « On est très loin de l'objectif ». À ce rythme, il faudrait plus de 2 600 ans pour que la France s'occupe de l'ensemble des logements à rénover et les classer en A ou B... 16 ans après le Grenelle de l'Environnement, ce résultat semble faible au vu de l'urgence climatique.

Agnès Pannier-Runacher, ministre de la Transition énergétique, a nuancé ce chiffre de 13 000 rénovations A ou B, qui correspond, selon elle, aux logement ayant pu bénéficier d'un « diagnostic avant/après », « Tout le monde ne fait pas le diagnostic, parce que c'est un diagnostic qui est coûteux », indique-t-elle. En effet, seules les rénovations « globales » sont soumises à un diagnostic. Pour les autres, soit 90 % des cas, l'État ne contrôle pas l'efficacité de l'argent public dépensé.

Le Sénat a d'ailleurs récemment créé une commission d'enquête afin de comprendre pourquoi la France ne parvenait pas à atteindre ses objectifs, en matière

de rénovation énergétique et de proposer des solutions pour y remédier. Cette commission s'est réunie le mercredi 25 janvier 2023 pour constituer son bureau et lancer ses travaux; elle rendra ses conclusions cet été. Devant cette commission, l'ancien ministre de la Transition écologique, François de Rugy, a reconnu qu'en matière de rénovation énergétique, « le plus symbolique l'emporte très largement sur le plus efficace ».

Le défi climatique et les objectifs du nombre de logements à rénover au regard de ceux réellement réalisés justifieraient d'abandonner certaines politiques d'incitation dont les résultats sont insuffisants. À titre d'exemple, l'Allemagne ne rénove que 3 % des bâtiments qu'elle est censée rénover chaque année. Dans ce cas, l'alternative serait d'aller vers des politiques plus coercitives en rendant obligatoire la rénovation globale. Quelle que soit la politique adoptée, incitative ou coercitive, il y a un consensus pour dire qu'il faut rénover globalement et non plus par tranches ou par gestes.

Il est également nécessaire que des contrôles soient effectués post-travaux et que les audits thermiques soient plus efficaces. Cela nécessite de travailler sur la structuration de la filière pour disposer d'experts, d'ingénieurs, d'architectes bien formés et en nombre suffisant. Il faut également disposer d'outils d'évaluation adaptés et que les entreprises compétentes soient en nombre suffisant pour pouvoir répondre à la demande.

2. Lever les freins à la rénovation

2.1. Comment mieux objectiver les travaux de rénovation et les projets ?

Pour analyser les politiques publiques et les projets de rénovation, il manque encore des outils dédiés à la mesure de la performance et de l'impact carbone pour les bâtiments et quartiers rénovés. Il faudrait aujourd'hui avoir systématiquement recours à des outils comme Urbanprint/Powerdis qui permettent une évaluation précise des projets d'aménagement urbain, d'un point de vue de l'impact carbone et de l'utilisation des ressources naturelles.

Certains outils plus généraux, comme « Go Rénove », permettent de mettre en place une stratégie patrimoniale rationnelle basée sur une lecture énergétique et technique (DPE). Cela permet de ne pas mener une politique patrimoniale purement opportuniste avec une vision à trop court terme. Il convient aussi parfois d'être en capacité *via* des organismes professionnels comme l'Agence Qualité Construction (AQC), de rationaliser l'approche des chantiers de réhabilitation. Une part importante

du carbone consommé dans la construction, qu'il s'agisse du neuf ou de la réhabilitation, provient de désordres, erreurs de plan, erreurs de mise en œuvre, malfaçons diverses *etc.*

Afin d'optimiser les projets de réhabilitation, une analyse des logements livrés avec ces outils permettrait d'identifier les ponts thermiques, les erreurs de conception et/ou de mise en œuvre. « L'objectif est de prévenir les désordres dans le bâtiment et d'améliorer la qualité de la construction », selon Philippe Estingoy.

Pour industrialiser la réhabilitation, il est important de ne pas reproduire les mêmes erreurs en phase de conception. Un appareillage de mesure et d'analyse devrait être plus systématiquement utilisé. Il peut s'agir de capteurs, d'outils de mesure et d'analyse d'un logement pour en faire un bilan thermique et technique plus complet. Ce diagnostic technique permettrait, par exemple, de vérifier l'absence de désordres et d'estimer une consommation d'énergie ou de faire un bilan carbone précis. Une telle analyse nécessiterait la neutralisation d'un logement pendant 24 h et permettrait, avant que le logement ne soit occupé, une reprise des désordres, un enrichissement de la méthode et du programme du maître d'ouvrage. Par exemple, avec une étude du type PROFEEL SEREINE développée par l'Agence Qualité Construction.

240 MAISONS INDIVIDUELLES SUR LESQUELLES APPLIQUER SEREINE



CONDITIONS PRATIQUES DE LA MESURE

- **MESURE GRATUITE**
- **CONVENTION QUI DÉTERMINE LES MODALITÉS ET LES RESPONSABILITÉS/ASSURANCES DE CHACUN**
 - entre AQC, Opérateur et Propriétaire
- **DONNÉES ANONYMISÉES INTÉGRÉES À UNE PLATEFORME PUBLIQUE**

Figure 3. Le dispositif SEREINE © Philippe Estingoy/Agence Qualité Construction.

Les maîtres d'ouvrage privés ou publics ne sont pas soumis à des contrôles portant sur la pertinence de la dépense publique. Les contrôles existants se limitent à une lecture juridique et administrative, par exemple, sur le respect de la commande publique, la certification RGE, *etc.* Il serait souhaitable que des organismes, sur le

modèle de l'Agence nationale de contrôle du logement social (ANCOLS), puissent évaluer les réalisations de réhabilitation globale, avec deux axes principaux : l'efficacité énergétique et le bilan carbone. Un mécanisme de crédit/débit carbone pourrait être associé à cette évaluation permettant de majorer ou de minorer certaines subventions d'État en fonction du résultat, c'est-à-dire, de la performance réellement atteinte et mesurée. Ce type d'évaluation pourrait avoir un impact significatif sur l'efficacité des opérations de rénovation.

Actuellement, il est difficile d'évaluer objectivement les politiques publiques. En effet, les pouvoirs publics délivrent différentes subventions, prêts à taux zéro et autres crédits d'impôt sans exercer de contrôle sur les résultats des opérations de rénovation et donc sans vérifier l'efficacité des aides accordées. Par ailleurs, il n'existe pas d'obligation de réhabilitation bas-carbone des bâtiments.

Qu'en est-il à l'échelle urbaine ? Pour le cas particulier des projets en NPNRU (nouveau programme national de renouvellement urbain), l'Agence nationale de renouvellement urbain (ANRU) oriente fortement les stratégies patrimoniales des bailleurs, avec soit de la démolition-reconstruction soit de la restructuration lourde du patrimoine énergivore dans les quartiers prioritaires. Les orientations des projets permettent une intervention de la puissance publique afin d'améliorer la qualité de vie des locataires du logement social et des copropriétés dégradées. Cet investissement fort de l'État via l'ANRU se concentre essentiellement sur le volet social et énergétique, mais ne prend absolument pas compte de la décarbonation des opérations de réhabilitation avec des méthodes alternatives.

2.2. Comment mieux inciter l'ensemble des ménages à rénover leur logement ?

Pour inciter les acteurs à rénover, il faudrait que les économies engendrées sur la facture d'énergie soient supérieures au coût de remboursement des mensualités de l'emprunt, intérêts et principal compris. Afin que cela soit possible pour tous, il est nécessaire que les taux soient les plus faibles possible, voire, nul, et les échéances les plus longues possibles, par exemple, jusqu'à trente ans, pour rendre attractif l'investissement pour les ménages.

Cependant, les faibles taux et les échéances longues ne séduisent pas vraiment les financeurs et organismes prêteurs. Surtout si de nombreux ménages en précarité financière sont emprunteurs. La puissance publique devrait donc s'engager à accorder des garanties ou à investir elle-même. Des subventions, des crédits d'impôt et des prêts à taux zéro accordés ou garantis par l'État sont par conséquent nécessaires sur une large échelle pour atteindre les objectifs de la rénovation énergétique des 23 millions de logements.

On constate que les dispositifs d'aide, dont le montant global est inférieur à 5 milliards d'euros par an, ne répondent pas aux besoins de la rénovation globale. Ceux-ci s'élèvent à 25 milliards d'euros, somme nécessaire pour rénover 700 000 logements par an. Il est donc « indispensable que la puissance publique augmente le volume des aides de rénovation énergétique de près de 10 à 20 milliards d'euros » tout en les simplifiant et en recherchant à accompagner les ménages vers une rénovation globale du logement.

En effet, la multiplicité des aides et la complexité des démarches administratives découragent souvent de trop nombreux ménages. À cela viennent s'ajouter des effets d'aubaine, arnaques ou fraudes, qui ont souvent miné la confiance des Français dans les dispositifs de rénovation.

Si l'État doit financer plus et simplifier les démarches, il ne pourra pas supporter seul l'investissement nécessaire. Les propriétaires ont leur part à jouer. Pour que cela fonctionne, on identifie plusieurs conditions :

- Chaque ménage doit bénéficier d'un financement total de sa rénovation, quels que soient ses revenus, assortis éventuellement de certains plafonds raisonnables.
- Il est nécessaire de disposer d'un guichet unique. Le financement des opérations est aujourd'hui trop complexe. La conséquence est que beaucoup de ménages abandonnent leur projet de rénovation.
- Le ménage doit percevoir très rapidement le bénéfice de la rénovation par une baisse sensible des charges liées au chauffage et/ou la climatisation. Si possible dès la première année.

« En outre, 9 millions de personnes vivent sous le seuil de pauvreté, soit en dessous de 60 % du revenu médian » (Pelenc, 2023). On considère également que près de 9 millions de personnes environ sont en situation de précarité énergétique, c'est-à-dire, qu'ils consacrent au moins 10 % de leur revenu aux dépenses énergétiques.

En outre, le parc locatif privé est composé de 7 millions de logements dont 40 % classés en E, F et G. Il s'agit actuellement d'un « angle mort » des politiques de rénovation énergétique de l'habitat. Avec un traitement des bâtiments classés F et G rendu obligatoire d'ici 2034, près de 3,4 millions de logements se retrouvent sans dispositif spécifique d'accompagnement financier. Cela risque d'entraîner, à terme, une contraction de ce parc de logement, avec un risque de vente de ces logements par les propriétaires qui n'auraient pas les moyens d'effectuer les rénovations. On peut donc craindre le développement d'un marché parallèle. « Il sera de plus en plus difficile pour les personnes du premier quintile de trouver un logement abordable économe en énergie » selon Michel Pelenc. Actuellement, 3,7 millions de personnes des 1^{er} et

2^e quintiles vivent dans des logements classés F ou G dont 1,7 million du 1^{er} quintile. Cela représente un taux de mal-logement considérable.

Les dépenses pré-engagées ou contraintes, c'est-à-dire, les dépenses correspondant aux loyers, charges, dépenses d'eau, d'électricité, services de télécommunication ou de télévision, assurances, remboursements d'emprunts immobiliers sont globalement en augmentation. Elles représentent un poids important pour les ménages et sont souvent débitées automatiquement chaque mois. Ces dépenses sont en hausse et représentent près de 40 % de la dépense totale pour des ménages du 1^{er} quintile (c'est-à-dire un peu plus que la précarité).

Faire accéder les personnes les plus démunies aux financements de la rénovation énergétique des logements est un véritable enjeu politique, économique et social. Il est donc, selon Michel Pelenc, « indispensable d'accompagner les ménages très modestes dans leur projet d'habitat » en mettant en place des dispositifs plus simples, plus lisibles, plus efficaces dans la durée.

2.3. Comment réussir la rénovation énergétique pour tous, en particulier pour les plus modestes ?

« Tout ce que vous faites pour moi sans moi, vous le faites contre moi » (Gandhi)

Dans une nation, il est indispensable d'impliquer et « d'embarquer tout le monde » selon Michel Pelenc. Cela nécessite de mieux informer les parties prenantes, par exemple, par l'intermédiaire d'ambassadeurs « écologiques ». Ceux-ci ont pour mission d'expliquer les dispositifs d'aide existants et d'accompagner les demandeurs dans leurs démarches administratives. Il faut créer un « climat de confiance » alors même que le sentiment ou la crainte de « l'arnaque » est très prégnant au sein de la population. Ce sentiment est renforcé par un nombre important de fraudes et d'arnaques sur les dispositifs de rénovation énergétique comme la rénovation des combles à 1 €. En général, les ménages ont plutôt envie de « faire » si tant est que l'on crée un climat favorable, qu'on les sécurise et qu'on les accompagne de bout en bout.

Comme évoqué précédemment, il existe de très nombreux dispositifs d'aide financière venant de l'État, mais également, des caisses de retraite, par exemple. Mais y accéder nécessite une véritable expertise et une ingénierie financière qui peut aboutir à un montage administratif et financier complexe. Ces montages complexes peuvent parfois aboutir à la création de montage de dossier de financement de type « Frankenstein » selon Michel Pelenc.

Le préfinancement du chantier est également essentiel dans ces montages pour les ménages modestes. L'illectronisme est un véritable obstacle et 13 millions de

personnes en France n'ont pas d'accès à Internet alors que l'ensemble des démarches d'aides pour la rénovation est dématérialisé. Cela pose un véritable problème d'accès au droit. Le dispositif MaPrimeRénov', censé s'adresser à tous, est en réalité accessible uniquement en mode numérique.

Pour toutes ces démarches, un accompagnement humain est nécessaire et important. Or, cet accompagnement, rémunéré environ 600 € par dossier, est clairement sous rémunéré par les pouvoirs publics. Pour réussir à atteindre les objectifs de la rénovation globale, il convient de mobiliser toute la chaîne d'acteurs impliqués dans cette rénovation. Non seulement les financiers, les architectes et les ingénieurs, mais aussi et surtout les artisans. On sait que ces derniers sont peu habitués au travail collaboratif. Mais cette collaboration entre acteurs est dans le cas précis un gage de succès et donc une nécessité.

Le choix des artisans, le suivi de l'avancement des travaux, le suivi du financement en s'assurant que les subventions arrivent au bon moment, le contrôle qualité sont autant de facteurs indispensables à la réussite des opérations de rénovation.

3. Des solutions sont envisageables pour financer les opérations de rénovation

L'accompagnement et le conseil technique sont nécessaires, mais la question du financement reste une question clé si l'on veut accompagner tous les ménages dans la rénovation énergétique. C'est un chantier colossal.

Pour Pierre Larrouturnou, c'est néanmoins possible. « Il ne s'agit que de volonté politique. Si on le veut, on le peut ». En s'inspirant du *"We choose to go to the Moon"* (littéralement « Nous choisissons d'aller sur la lune ») prononcé par le président des États-Unis John Fitzgerald Kennedy lors de son discours du 12 septembre 1962 à l'université Rice, à Houston. Dans ce discours, Kennedy promet de voir un Américain poser le pied sur la lune avant la fin des années 1960. En 7 ans seulement, l'Homme va sur la lune et les États-Unis créent 400 000 emplois (Larrouturnou, 2023).

De la même manière, selon le député européen, « on a réussi en France avec Jules Ferry l'école pour tous ». En 20 ans, la France s'est transformée pour avoir un bon niveau de formation sur l'ensemble du pays. Dans tous les villages de France, des écoles ont été ouvertes, on a formé des instituteurs et on a réussi à donner un bon niveau d'éducation aux enfants de notre pays. »

La question du financement se pose partout en Europe. Par exemple, en Allemagne où 50 milliards d'euros par an durant 30 ans sont nécessaires pour la seule industrie afin de faire face aux enjeux climatiques. Aux Pays-Bas, il faut isoler 2 millions de maisons et rehausser les digues. Où trouver l'argent ? Selon la Cour des comptes

européenne, la construction d'une nouvelle économie permettant d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris et préserver la biodiversité nécessitera plus de 1 115 milliards d'euros par an pendant dix ans, entre 2021 et 2030. Sur ce budget, 280 milliards d'euros seraient affectés au secteur résidentiel et aux services. Ce qui représente un effort annuel supplémentaire d'au moins 300 à 400 milliards d'euros compte tenu de ce qui se fait déjà. En dix ans, il est nécessaire de trouver un minimum de 3 000 milliards d'euros pour financer une réelle politique de rénovation énergétique et environnementale.

Exemples d'estimation des coûts économiques du changement climatique pour l'UE

Atténuation du changement climatique

Entre 2021 et 2030, il sera nécessaire d'investir chaque année 1 115 milliards d'euros dans les secteurs suivants pour atteindre les objectifs de l'Union à l'horizon 2030:

- 736 milliards d'euros dans le secteur des transports,
- 282 milliards d'euros dans le secteur résidentiel et dans le secteur des services,
- 78 milliards d'euros dans les réseaux, dans la production et dans les chaudières industrielles,
- 19 milliards d'euros dans l'industrie.

Adaptation

Dans un scénario de statu quo, si aucune mesure publique d'adaptation n'est prise, les changements climatiques anticipés à l'horizon 2080 coûteraient chaque année 190 milliards d'euros, à prix constants, aux ménages de l'ensemble de l'UE, c'est-à-dire presque 2 % du PIB actuel de l'Union. Retarder l'adaptation, ou ne pas agir du tout, pourrait faire substantiellement augmenter le coût total du changement climatique.

Encadré 1. Exemples d'estimation des coûts économiques du changement climatique pour l'UE

© Cour des comptes européennes, 2017, p. 58.

À noter qu'avec un tel engagement financier pour le climat, on pourrait créer massivement de l'emploi. L'ADEME (2017) estime qu'on pourrait créer en France environ 900 000 emplois (cf. figure 5).

Toujours, selon Pierre Larroustou, il faut utiliser autrement l'argent des banques¹. Cela a été possible en 2008 lorsqu'on a trouvé 1 000 milliards d'euros pour sauver les banques. « Il faut mettre 1 000 milliards d'euros pour sauver le climat ». En 2014, de nouveau, la BCE a débloqué 1 000 milliards d'euros pour sauver la croissance. Le

¹ • Sur le financement de la rénovation par les banques, voir également les présentations du 3 avril 2023 lors de la session financement durable, notamment celle de Grégoire Chauvière Le Drian et de Peter Sweatman (cf. *supra*).

député européen indique qu'« il n'y a jamais eu autant d'argent sur les marchés financiers », et propose que l'argent de la BCE soit dirigé vers une banque du climat avec des prêts à taux 0 % à destination des ménages pour la rénovation énergétique. Sans changer les traités européens, « cela permettrait d'obtenir 300 milliards d'euros » chaque année pour la rénovation énergétique et le développement des transports en commun.

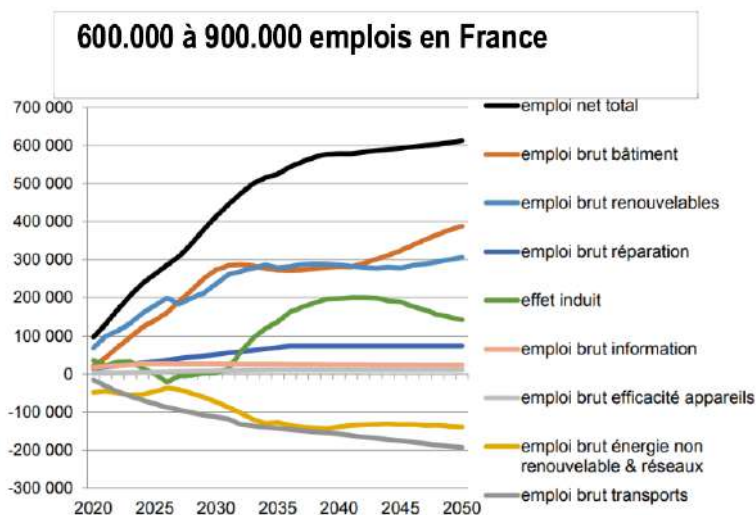


Figure 4. Création d'emplois liée à la transition écologique © Pierre Larrourou, 2023.

La banque centrale pourrait financer elle-même ces prêts à taux 0 % aux acteurs privés. En effet, l'interdiction de financement monétaire des États par la banque centrale, stipulée par l'article 123 du traité de fonctionnement de l'UE, ne concerne pas les acteurs privés. *A priori* rien n'empêche donc la banque centrale de financer les acteurs privés par des prêts ou même par des dons.

Selon Édouard Bouin, administrateur général d'Agir pour le climat Pacte Finance-Climat, pour rénover nos bâtiments, il faut rénover aussi notre approche de la dette et de la monnaie.

Sachant qu'une rénovation coûte entre 30 000 et 40 000 euros par logement, les prêts à taux 0 % ne suffiront pas. Une partie de la population ne pourra pas financer ces travaux et s'endetter à ce niveau pour la rénovation thermique. Il est donc nécessaire de mettre en place en complément un dispositif de subventions non remboursables au bénéfice des ménages d'après Pierre Larrourou.

Deux solutions sont alors envisageables pour financer les opérations de rénovation :

La première solution consiste à lutter contre le *dumping* fiscal européen. En Europe, l'impôt sur les bénéfices des sociétés est en moyenne de 19 % contre 38 % aux États-Unis alors qu'il s'agit pourtant d'un pays dit libéral. La proposition consiste à mettre en place un taux d'imposition supplémentaire de l'ordre de 5 % au niveau européen sur les bénéfices des entreprises. Proposition qui, selon le député européen, fait déjà l'objet d'un consensus assez large.

La seconde solution consiste à mettre en place une taxe sur la spéculation, dite « taxe Tobin », qui pourrait permettre de prélever à un pourcentage des valeurs échangées sur les marchés financiers. En Europe, 5 500 milliards d'euros ont été échangés en 2012 et 7 350 milliards en 2022, sur les principaux marchés boursiers. Sur les marchés monétaires où l'on achète et vend des euros ou des dollars, ce sont plus de 6 500 milliards de dollars qui sont échangés chaque jour. La « taxe sur la spéculation » serait simple à mettre en œuvre car tout est prêt pour qu'elle le soit rapidement.

Les solutions

Le constat est clair : notre système de redistribution des richesses est très loin de fonctionner comme il le devrait et il est grand temps de prendre des mesures de justice fiscale !

Taxer la fortune des milliardaires

Selon des économistes comme Gabriel Zucman, en taxant à 1,5 % tous les revenus de plus d'1 milliard de dollars, on obtiendrait chaque année 300 milliards de dollars à l'échelle mondiale pour financer la lutte contre le dérèglement climatique.

Taxer les superprofits

Plusieurs pays européens ont déjà décidé de taxer les entreprises qui ont (in)directement tiré profit des conséquences de la guerre en Ukraine. L'Espagne a par exemple décidé de taxer les superprofits des compagnies pétrolières ou gazières et des banques à hauteur de 25 %.

La Taxe sur la spéculation n'est qu'une première étape mais c'est une étape fondamentale !

Parmi toutes ces solutions, la Taxe sur la spéculation est la plus simple, car tout est prêt pour qu'elle soit mise en œuvre rapidement.

Rien qu'à l'échelle européenne (et malgré le Brexit), une taxe de 0,1% sur les transactions financières (0,1% pour les actions et 0,01% pour les produits dérivés) pourrait rapporter jusqu'à 57 milliards d'euros par an, sans toucher au portefeuille du plus grand nombre.

0.1%

En décembre 2020, la Commission européenne rappelait qu'un accord sur la taxe sur les transactions financières était possible en coopération renforcée (l'unanimité n'est pas requise sur ce sujet), et affirmait qu'elle espérait un accord avant la fin 2022.

Figure 5. Taxons la spéculation. Les solutions © Pierre Larroustou, 2023.

À l'échelle européenne et malgré le Brexit, une taxe de 0,1 % sur les transactions financières – 0,1 % pour les actions et 0,01 % pour les produits dérivés – pourrait rapporter jusqu'à 57 milliards d'euros par an, sans toucher au portefeuille du plus grand nombre. Le Parlement avait voté le principe de mise en œuvre de cette taxe en 2021. Le 16 février dernier, le Parlement a, à nouveau, demandé que cette taxe soit votée avant fin juin. Le même jour, les marchés financiers ont atteint des sommets. Il y a, selon le député européen, un paradoxe à dire qu'il n'y a pas d'argent voire « une forme d'obscénité ». Une pétition est en ligne pour soutenir sa mise en place « Taxonslaspeculation.com ».

Ces deux solutions de financement pourraient ainsi permettre à l'État de verser directement des subventions à hauteur de ce qui est nécessaire, pour financer les opérations de rénovation des ménages situés au-dessous d'un certain niveau de revenus, et compléter avec des prêts à taux 0 % pour la rénovation thermique. Dans ces conditions, c'est-à-dire, si la rénovation est massivement aidée, on peut ensuite la rendre obligatoire et accélérer la transition énergétique du parc de logements privés et tenir les objectifs de la loi de 2015.

Conclusion

Selon l'ADEME, « le bâtiment est une filière qui est segmentée ». Dans son rapport *Imaginons ensemble les bâtiments de demain* (ADEME, CSTB, 2022), elle décrit les outils prospectifs qui peuvent permettre demain de répondre aux enjeux climatiques.

Pour répondre aux enjeux environnementaux, la solution est la rénovation du parc existant pour laquelle les politiques actuelles sont essentiellement incitatives et peinent à produire des effets en volume sur la rénovation. En conséquence, ses effets sur la structuration de la filière bâtiment sont limités. Parmi les évolutions prospectives nous pouvons citer le développement des acteurs de la coordination entre les métiers, pour prendre en compte le facteur humain dans la rénovation. D'autres évolutions tendent à l'émergence de nouveaux acteurs de la rénovation, d'activités et de nouveaux services numériques.

Avec la loi Climat et résilience qui préfigure la zéro artificialisation nette des sols et modifie les dispositions sur les passoires thermiques, la réglementation anticipe déjà ce nouveau paradigme avec un volet, non plus incitatif, mais plus coercitif.

Les outils et les réglementations actuelles des rénovations ne suffiront pas à répondre aux ambitions nécessaires de la transition énergétique. Tant du côté des propriétaires occupants que du côté des propriétaires bailleurs, il est essentiel d'augmenter le montant des financements prêts et subventions, de simplifier leurs modalités d'accès. Il est nécessaire de convaincre l'ensemble des propriétaires d'effectuer

des travaux de réhabilitation globale. Ce sont des enjeux essentiels qui nécessitent un accompagnement de proximité.

Les projets de rénovation excluent dans la majorité des cas le volet humain des projets en se concentrant essentiellement sur la technique et les économies d'énergie. L'approche participative n'est pas suffisamment développée dans les projets. Elle pourrait pourtant permettre une meilleure appropriation des travaux ainsi qu'un sentiment de participation à la transition énergétique. Cette transition peut se faire grâce à l'outil numérique avec des plateformes dédiées. Une implication de la société civile est essentielle.

Le développement du numérique est un vecteur d'accélération des transformations du bâtiment et de recomposition de la filière, les outils du numérique (BIM) vont permettre une meilleure organisation des acteurs avec une répartition plus égale des rémunérations entre les industriels et les entreprises de travaux en rénovation.

La mise en œuvre opérationnelle de la rénovation au regard de la pluralité du patrimoine bâti va obliger la chaîne de valeur du bâtiment et de l'immobilier à se reformer en profondeur pour répondre à l'enjeu majeur du XXI^e siècle : « rénover autrement ».

Introduction

The building industry is a major emitter of greenhouse gases (GHGs), from the production of building materials, through construction and operation. In addition to artificializing land, the built environment creates microclimates and heat islands in urban areas, which contribute to global warming.

The real estate and building sectors have a significant influence on the climate. Energy consumption and greenhouse gas emissions are linked to the use of buildings, many of which are poorly insulated, and are energy guzzlers.

According to a report by the French Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion published on Tuesday, May 11, 2021, this sector accounts for 44% of the energy consumed in France. The report indicates that every year, the building sector emits more than 123 million tons of CO₂, or 23% of GHGs. It is therefore essential to make buildings more energy-efficient, and in particular to speed up the mass renovation of existing buildings.

The Climate and resilience law promulgated and published in the official gazette on August 24, 2021, stemming from part of the work of the Citizens' Climate Convention, aimed to make climate change-related uses and obligations part of everyday French life. The law's flagship measure concerns the energy efficiency of housing and the obligation to renovate energy wastes. It will have a strong social impact and, we hope, a significant environmental impact. It is a necessary, if restrictive, measure for effective action against climate change.

At the same time, the overhaul of the energy performance diagnosis (*diagnostic de performance énergétique* – DPE) in 2021 means that carbon emissions linked to the energy production of housing will be taken into much greater account. Prior to 2021, the DPE consisted of a rating that primarily took into account the building envelope. It now includes a rating for energy production systems. Dwellings heated by oil or coal are heavily penalized, and are now considered as thermal bridges.

Both the Climate Resilience Act and the new DPE are linked to a timetable of increasing obligations on landlords to sell and rent. For example, from January 2023, social landlords will no longer be able to rent out housing rated G+ (over 450 kWh per m²/year). This schedule of obligations and bans will also constrain landlords. They will no longer be able to rent out this type of property if the DPE label is this low (G initially in 2025 and F in 2028).

At European level, the objective is identical. However, the methods differ and are more geared towards an incentive-based approach than a coercive rule. Coercion and bans will not solve all homeowners' problems. The ability of households to finance energy renovation work on their homes is a key issue if we want to massively increase renovation, for all and in particular for the most modest households. We need to put in place substantial public financing, with appropriate aid and subsidy schemes. We then

need to convince all members of the real estate value chain of the benefits, and even the necessity, of renovating their properties in a different way.

It is essential to renovate the entire building stock in order to improve energy efficiency and sobriety, and reduce greenhouse gas emissions from buildings. Mass renovation must also limit the need for new construction, in order to save natural resources and reduce the artificialization of new natural and agricultural land.

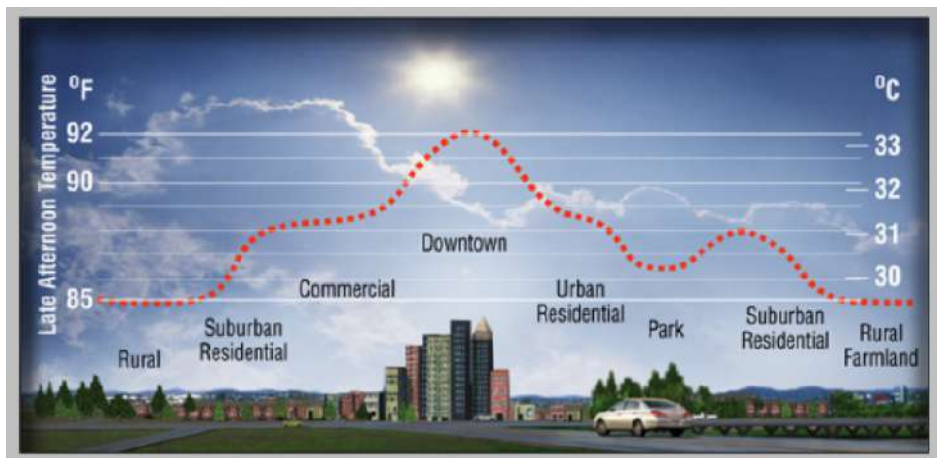


Figure 1. Illustration of the urban microclimate due to the built system © Heat Island Group.

1. Number of homes to be renovated and financing requirements

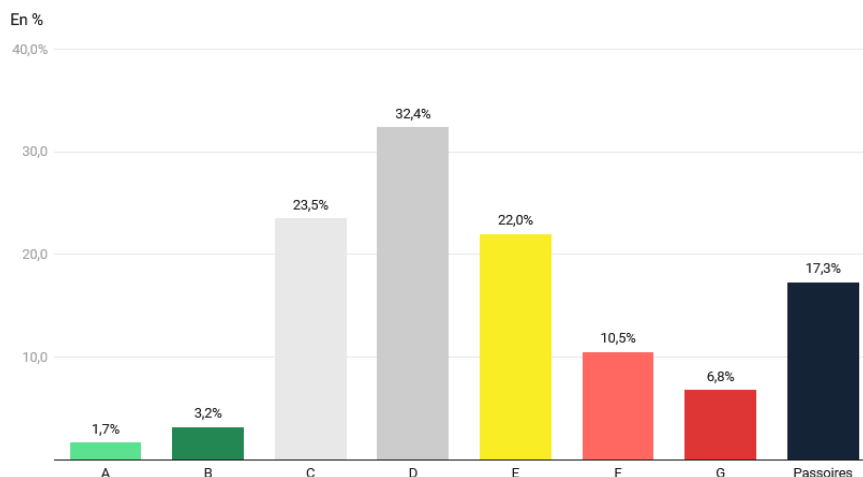
1.1. Current situation

Achieving carbon neutrality by 2050 will require a significant reduction in the energy consumption of our buildings. The housing stock comprises around 30 million dwellings, of which only 1.5 million are A and B units, plus 5.5 million public housing units for which social landlords are pursuing an active energy renovation policy.

As a result, some 23 million private homes still need to be renovated to bring them up to the Low-energy building (*Bâtiment basse consommation* – BBC) standard by 2050. These 23 million homes include 11 million E, F and G homes, 4.7 million of which are “energy flats”, i.e., F or G homes with primary energy consumption in excess of 330 kWh/m²/year, representing around 11 million people. F and G homes are to be phased out by 2034. It should be remembered that the French law of August 17, 2015

on "energy transition for green growth" had initially set the target of eliminating these thermal wastes by 2025.

We also note that 3.7 million people in the 1st and 2nd quintile of homeowners live in housing rated F or G. This raises the question of the ability of the entire population to finance the energy renovation of their homes.



Note : passoires = logements classés F ou G.

Champ : ensemble des résidences principales au 1er janvier 2022, France métropolitaine.

Figure 2. Breakdown of primary residences by DPE label © Vie publique. Au cœur du débat public/DILA, 2022.

In the residential sector, the goal of carbon neutrality by 2050 implies the complete renovation of 370,000 homes (private and social) per year up to 2029, then around 700,000 homes per year between 2030 and 2050. As a reminder, in 2007, the *Grenelle de l'Environnement* resulted in a consensus on the complete renovation of 400,000 homes per year.

However, the cost of high-performance renovation, which is higher for single-family homes than for apartment buildings, is €30,000 to €50,000 per dwelling, which, in relation to the 700,000 homes to be renovated each year to « BBC Efficacité rénovation » standard, represents an overall annual investment requirement of around €25 billion. The 2015 French law on "energy transition for green growth" set the target of having all housing stock (residential and tertiary) at BBC level or equivalent by 2050, i.e., class A or B. At present, however, only 5% of the building stock is classified A or B.

1.2. Existing household subsidies and their effectiveness

At present, less than €5 billion is spent by the State on various forms of public aid, with relative effectiveness in terms of homes actually undergoing comprehensive renovation. According to Michel Pelenc, a total of €10 to €13 billion is needed, and €20 billion according to the citizens' convention. There are, however, a number of ways in which the French government can support the energy-efficiency renovation of private homes. These include tax reductions (VAT at 5.5%), subsidized zero-rate loans (*Éco-PTZ*), subsidies (*MaPrimeRénov'*, CEE), *etc.*

MaPrimeRénov' is aimed at all households, as well as condominiums and landlords. The amount of the bonus is calculated according to income and the ecological gain achieved by the work. The dwelling must have been built at least 15 years ago, or at least two years ago when replacing an oil-fired boiler. The bonus is paid directly to households

Zero-rate eco-loan (*Éco-PTZ*) enables you to finance the energy-efficiency renovation of your home without having to make a cash advance or pay interest. The loan can be up to €50,000. It is granted without a means test. The property must have been completed more than 2 years before the start of the work.

VAT at 5.5%. When renovating a home, certain energy-efficiency improvements are eligible for reduced-rate VAT at 5.5%. The property must have been completed more than 2 years ago.

Aid from energy supply companies (CEE). Energy supply companies (EDF, Engie, Total, *etc.*) offer aid for energy-saving work, provided it is carried out by a professional recognized as an environmental guarantor (RGE). In return for the aid they receive, CEE companies are awarded certificates that enable them to certify to the French government that they have fulfilled their obligation to encourage consumers to save energy. This assistance from energy supply companies (CEE) can take several forms: diagnostics-advice, contact with a qualified network of craftsmen, subsidized loans, bonuses, *etc.*

In 2021, Anah reports having financed the renovation of 751,646 homes. According to this organization, in 2021, 764,732 applications were submitted, 644,073 grants awarded, representing 2.06 billion in aid distributed, and 372,828 grants were paid on completion of the work. 63% of *MaPrimeRénov'* grants went to households on modest and very modest incomes. The majority of grants were used to change heating systems (68%), followed by insulation (26%) and ventilation (3%).

1.3. The need for comprehensive renovation

It is clear that these public subsidies are essentially aimed at individual actions, to the detriment of a final, overall housing performance objective. To achieve BBC levels, re-

novation should be designed as a whole: preferably in one go (the best technical and financial solution) or, failing that, in 2 or 3 stages maximum, coordinated to avoid technical deadlocks. Encouraging households to change their heating systems or windows does not necessarily contribute to making their homes more efficient.

So in 2022, not 700,000 homes were renovated, but "669,890 files paid for through MaPrimeRénov". Of these 669,890 files, only 65,939 "comprehensive" renovations were carried out, *i.e.*, less than 10%. The vast majority concerned only "work gestures", such as changing windows or heating systems. France will only be able to reach the 2050 target if it finances genuine comprehensive renovations. In other words, by first insulating the entire building envelope, then replacing the ventilation and heating systems...

Of the 65,939 comprehensive renovations, only 13,400 homes achieved BBC (*Bâtiment Basse Consommation*) status. In other words, nearly 80% of these state-funded "global" renovations failed to meet the original target. In one year, therefore, not 700,000 homes but around 13,000 would have been brought up to BBC standards. "We're a long way from our target. At this rate, it would take more than 2,600 years for France to take care of all the homes in need of renovation and classify them as A or B ... 16 years after the Grenelle, this is truly catastrophic in view of the urgency of climate change".

Agnès Pannier-Runacher, France's Minister for Energy Transition, qualified this figure of 13,000 A or B renovations, which she said corresponded to those where "the "before/after diagnosis" had been made. Not everyone makes the diagnosis, because it's an expensive one", she points out. In fact, only "comprehensive" renovations are subject to diagnosis. For the other 90% of cases, the State has no control over the effectiveness of the public money spent.

Indeed, the French Senate recently set up a commission of inquiry to understand why France is failing to meet its energy renovation targets, and to propose solutions to remedy the situation. This commission met on Wednesday January 25, 2023 to set up its bureau and launch its work; it will deliver its conclusions this summer. Speaking before the commission, former French Minister for Ecological Transition François de Rugy acknowledged that, when it comes to energy renovation, "the most symbolic approach far outweighs the most effective".

The climate challenge and the targets for the number of homes to be renovated versus those actually built would justify abandoning certain incentive policies whose results are insufficient. Germany, for example, renovates just 3% of the buildings it is supposed to every year. In this case, the alternative would be to move towards more coercive policies by making comprehensive renovation compulsory. Whatever the policy adopted, incentive or coercive, there is a consensus that we need to renovate as a whole, and no longer by tranches or gestures!

Post-retrofit checks and more effective thermal audits are also essential. To achieve this, we need to work on structuring the industry so that we have a sufficient number of well-trained experts, engineers and architects. We also need the right assessment tools, and a sufficient number of competent companies to meet demand.

2. Removing obstacles to renovation

2.1. How to better objectify renovation work and projects?

To analyze public policies and renovation projects, there is still a lack of tools dedicated to measuring the performance and carbon impact of renovated buildings and neighborhoods. Today, tools such as Urbanprint/Powerdis should be systematically used to accurately assess urban development projects in terms of their carbon impact and use of natural resources.

More general tools, such as "Go Réno", can be used to implement a rational property strategy based on an energy and technical analysis (DPE). This avoids a purely opportunistic asset management policy with an overly short-term vision. In some cases, we also need to be able to rationalize our approach to renovation projects through professional bodies such as the *Agence Qualité Construction*. A significant proportion of the carbon consumed in construction, whether new or refurbishment, comes from disorders, design errors, implementation errors, miscellaneous defects and so on.

In order to optimize rehabilitation projects, an analysis of homes delivered using these tools would enable thermal bridges, design and/or installation errors to be identified. "The aim is to prevent building disorders and improve construction quality", says Philippe Estingoy.

To industrialize rehabilitation, it is important not to repeat the same mistakes in the design phase. Measurement and analysis equipment should be used more systematically. This could include sensors and tools for measuring and analyzing a dwelling to produce a more complete thermal and technical assessment. This technical diagnosis would, for example, make it possible to verify the absence of disorders and estimate energy consumption, or to carry out a precise carbon footprint. Such an analysis would require the neutralization of a dwelling for 24 hours, before it is occupied, and would make it possible to take stock of the damage and enrich the project owner's method and program, for example with a "PROFEEL SEREINE" type study developed by *Agence Qualité Construction*.

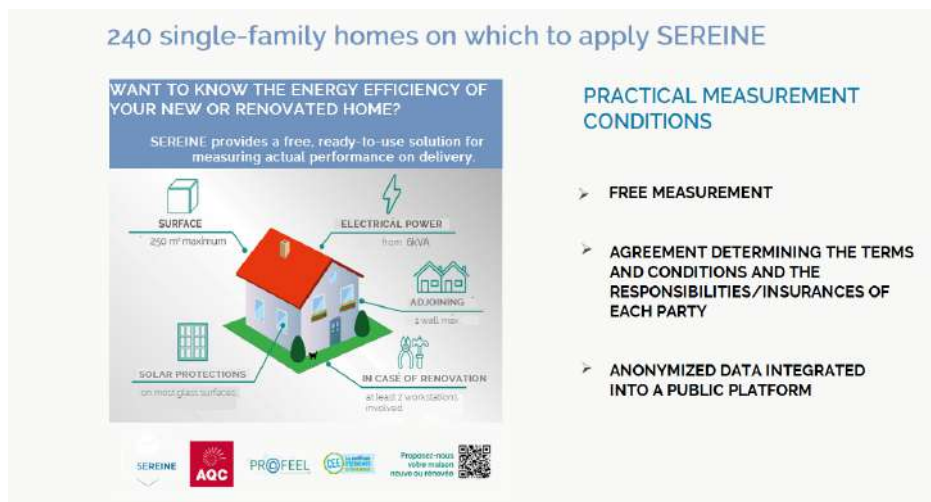


Figure 3. The SEREINE device (source: adapted from Philippe Estingoy/Agence Qualité Construction).

Public and private contracting authorities are not subject to controls on the appropriateness of public spending. Existing controls are limited to a legal and administrative reading, for example, of compliance with public procurement regulations, RGE certification and so on. It would be desirable for bodies – modelled on ANCOLS (National Social Housing Control Agency) – to be able to assess comprehensive rehabilitation projects, with two main focuses: energy efficiency and carbon footprint. A carbon credit/debit mechanism could be associated with this assessment, enabling certain state subsidies to be increased or reduced according to the result, i.e., the performance actually achieved and measured. This type of assessment could have a significant impact on the efficiency of renovation operations.

It is currently difficult to evaluate public policies objectively. Indeed, the public authorities issue various subsidies, interest-free loans and other tax credits without monitoring the results of renovation operations, and therefore without verifying the effectiveness of the aid granted. In addition, there is no obligation for buildings to undergo low-carbon renovation.

What about the urban scale? In the specific case of NPNRU (new national urban renewal program) projects, ANRU (national urban renewal agency) is strongly influencing landlords' asset management strategies, with either demolition/reconstruction or a major restructuring of energy-hungry assets in priority neighborhoods. These projects will enable the public authorities to intervene to improve the quality of life of social housing tenants and run-down condominiums. This strong investment by the State via the ANRU focuses primarily on the social and energy aspects, but takes

absolutely no account of the decarbonization of rehabilitation operations using alternative methods.

2.2. How to better encourage all households to renovate their homes?

To encourage people to renovate, the savings generated on energy bills should be greater than the cost of repaying the monthly loan instalments, including interest and principal. To make this possible for everyone, interest rates need to be as low as possible, or even zero, and maturities as long as possible – up to thirty years, for example – to make the investment attractive to households.

However, low rates and long maturities are not exactly appealing to financiers and lenders – especially if many households in financial difficulty are borrowers. Public authorities should therefore commit to providing guarantees or investing themselves. Subsidies, tax credits and zero-interest loans granted or guaranteed by the State are therefore needed on a large scale to achieve the objectives of energy renovation of the 23 million homes.

It is clear that aid schemes worth less than 5 billion euros a year do not meet the needs of global renovation. These amount to 25 billion euros, the sum needed to renovate 700,000 homes a year. It is therefore “essential for the public authorities to increase the volume of energy renovation grants by between 10 and 20 billion euros”, while simplifying them and seeking to support households in the overall renovation of their homes.

Indeed, the myriad types of grants and the complexity of administrative procedures often discourage too many households. Added to this are windfall effects, scams and fraud, which have often undermined French people's confidence in renovation schemes.

While the government needs to provide more funding and simplify procedures, it will not be able to bear the necessary investment alone. Homeowners have their part to play. For this to work, several conditions need to be met:

- Every household should benefit from full financing for its renovation, regardless of its income, possibly subject to certain reasonable ceilings.
- We need a one-stop shop. Today, financing these operations is too complex. As a result, many households abandon their renovation projects.
- Households need to see the benefits of renovation very quickly, in the form of significantly lower heating and/or air-conditioning costs. If possible, from the very first year.

In addition, 9 million people live below the poverty line, i.e., below 60% of the median income (Pelenc, 2023). Around 9 million people are also considered to be in a situation of fuel poverty, i.e., they spend at least 10% of their income on energy..

What is more, the private rental housing stock comprises 7 million homes, 40% of which are classified as E, F or G. This is currently a "blind spot" in housing energy renovation policies. With the treatment of F and G-rated buildings set to become mandatory by 2034, almost 3.4 million homes will be left without any specific financial support. In the long term, this could lead to a contraction in the housing stock, with the risk that owners who cannot afford to carry out the renovations will sell their homes. We therefore fear the development of a parallel market. According to Michel Pelenc, "It will be increasingly difficult for people in the top quintile to find affordable, energy-efficient housing. Currently, 3.7 million people in the 1st and 2nd quintiles live in housing rated F or G, including 1.7 million in the 1st quintile. This represents a considerable rate of inadequate housing".

Pre-committed expenses, i.e., rent, service charges, water, electricity, telecommunications, television, insurance and mortgage repayments, are on the increase overall. They represent a significant burden for households, and are often debited automatically each month. These expenses are on the rise, and account for almost 40% of total expenditure for households in the 1st quintile (i.e., slightly more than those in precarious situations).

Giving the most disadvantaged people access to financing for home energy renovation is a real political, economic and social challenge. According to Michel Pelenc, it is therefore "essential to support low-income households in their housing projects" by introducing simpler, clearer and more effective schemes over the long term.

2.3. How to make energy renovation a success for everyone, especially the most modest members of society?

"Whatever you do for me without me, you do against me" (Gandhi)

In a nation, it is essential to involve and "get everyone on board", according to Michel Pelenc. This means better informing stakeholders, for example, through "ecological" ambassadors. Their role would be to explain existing aid schemes and help applicants with administrative formalities. A "climate of trust" needs to be created, even though there is a widespread feeling or fear of "scamming" among the population. This feeling is reinforced by a significant number of frauds and scams involving energy renovation schemes such as the €1 attic renovation. In general, households are quite willing to "do it", provided that a favorable climate is created, that they are reassured and supported from A to Z.

As already mentioned, there are a great many financial aid schemes available, not only from the government but also, for example, from pension funds. But accessing them requires real expertise and financial engineering, which can lead to complex administrative and financial arrangements. These complex arrangements can sometimes lead to the creation of “Frankenstein”-type financing packages, according to Mr. Pelenc.

Pre-financing of the building work is also essential in these packages for low-income households. Illectronism is a real obstacle, and 13 million people in France have no access to the Internet, despite the fact that all renovation assistance procedures are dematerialized. This poses a real problem of access to the law. The MaPrimeRénov’ scheme, which is supposed to be open to everyone, is in fact only accessible in digital mode.

For all these procedures, human support is necessary and important. However, this support, which costs around €600 per case, is clearly under-remunerated by the public authorities. If we are to succeed in achieving our overall renovation objectives, we need to mobilize the entire chain of players involved in the renovation process. Not only the financiers, architects and engineers, but also and above all the craftspeople. We know that the latter are often rather individualistic and not used to working together. But in this particular case, collaboration is a guarantee of success, and therefore a necessity.

Choosing the right craftspeople, monitoring the progress of the work, ensuring that funding arrives at the right time, and quality control are all essential factors in the success of any renovation project.

3. Possible solutions for financing renovation operations

Support and technical advice are necessary, but the question of financing remains a key issue if we are to support all households in energy renovation. It is a colossal undertaking.

For Pierre Larrourou, it is possible. “It’s just a question of political will. If we want it, we can do it”. The inspiration is “We choose to go to the Moon”, a speech delivered by U.S. President John Fitzgerald Kennedy on September 12, 1962 at Rice University in Houston. In this speech, JFK promised to see an American set foot on the moon by the end of the 1960s. In just 7 years, man went to the moon and the USA created 400,000 jobs (Larrourou, 2023).

Similarly, according to the MEP, “we succeeded in France with Jules Ferry’s schooling for all”. In 20 years, France has transformed itself to ensure a high level of

education throughout the country. In every village in France, schools have been built, teachers have been trained and we have succeeded in giving our country's children a good level of education.

The question of financing arises throughout Europe. In Germany, for example, 50 billion euros a year for 30 years are needed for industry alone to meet the climate challenge. In the Netherlands, 2 million houses need to be insulated and dykes raised. Where will the money come from? According to the European Court of Auditors, building a new economy to meet the objectives of the Paris Agreement and preserve biodiversity will require more than €1,115 billion a year for ten years, between 2021 and 2030. Of this budget, 280 billion euros would be allocated to the residential and services sectors. This represents an additional annual effort of at least 300 to 400 billion euros, given what is already being done. In ten years, a minimum of 3,000 billion euros will be needed to finance a real policy of energy and environmental renovation.

Examples of estimating the economic costs of climate change for the EU

Climate Change Mitigation

Between 2021 and 2030, an annual investment of €1.115 billion will be needed in the following sectors to achieve the Union's 2030 objectives:

- 736 billion euros in the transport sector,
- 282 billion euros in the residential sector and in the service sector,
- 78 billion euros in networks, in production and in industrial boilers,
- 19 billion euros in industry

Adaptation

In a business-as-usual scenario, if no public adaptation measure is taken, the anticipated climate changes by 2080 would cost 190 billion euros each year, at constant prices, to households throughout Europe, i.e., almost 2% of the Union's current GDP. Delaying adaptation, or not acting at all, could substantially increase the total cost of climate change.

Inset 1. Examples of estimating the economic costs of climate change for the EU

© Cour des comptes européennes, 2017, p. 58.

It is worth noting that such a financial commitment to the climate could lead to massive job creation. ADEME (2017) estimates that around 900,000 jobs could be created in France.

Again, according to Mr. Larroustou, banks' money must be used differently². This was possible in 2008 when 1,000 billion euros were found to save the banks. "We

² On renovation financing by banks, see also the presentations made on April 3, 2023 during the sustainable financing session, in particular those by Grégoire Chauvière Le Drian and Peter Sweatman (cf. *supra*).

need to put 1,000 billion euros to save the climate". In 2014, once again, the ECB released €1,000 billion to save growth. The MEP points out that "there has never been so much money on the financial markets", and proposes that ECB money be channeled into a climate bank with 0% interest loans to households for energy renovation. Without changing European treaties, "this would make it possible to obtain 300 billion euros" every year for energy renovation and the development of public transport.

600,000 to 900,000 jobs in France

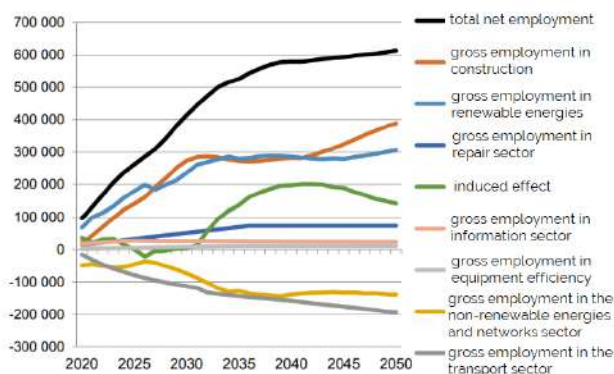


Figure 4. Job creation linked to the ecological transition (source: adapted from Pierre Larrourou, 2023).

The central bank could itself finance these 0-rate loans to private players. Indeed, the prohibition on monetary financing by the central bank of States, stipulated in Article 123 of the EU Treaty, does not apply to private players. A priori, nothing prevents the central bank from financing private players through loans or even grants.

According to Édouard Bouin (Managing Director of the Agir pour le Climat Finance-Climat pact), to renovate our buildings, we also need to overhaul our approach to debt and money.

Given that renovation costs around 30,000 to 40,000 euros per home, 0% interest loans will not be enough. Part of the population will not be able to finance the work and will go into debt at this level for thermal renovation. It is therefore necessary to set up a complementary system of non-refundable subsidies for households, according to Mr. Larrourou.

There are two possible solutions for financing renovation work:

The first solution is to combat European tax dumping. In Europe, the average tax rate on corporate profits is 19%, compared with 38% in the USA, a country which claims to be liberal. The proposal is to introduce an additional European tax rate of around 5%

on corporate profits, a proposal which, according to the MEP, has already achieved a fairly broad consensus.

The second solution is to introduce a tax on speculation, known as the "Tobin Tax", which could be levied on a percentage of the values traded on financial markets. In Europe, 5,500 billion euros were traded in 2012 and 7,350 billion in 2022, on the main stock markets. On the money markets, where euros and dollars are bought and sold, over 6,500 billion dollars are traded every day. The "tax on speculation would be simple to implement, as everything is in place to make it happen quickly".

The solutions

The conclusion is clear: our wealth redistribution system is very far from working as it should and it is high time for tax justice action!

Taxing the wealth of billionaires

According to economists like Gabriel Zucman, by taxing all income over 1 billion dollars at 1.5%, we would obtain 300 billion dollars each year worldwide to finance the fight against climate change.

Tax superprofits

Several European countries have already decided to tax companies that have (in) directly benefited from the consequences of: the war in Ukraine. Spain has for example decided to tax the superprofits of oil or gas companies and banks up to 25%.

Tax on speculation is only a first step, but it is a fundamental step!

Among all these solutions, the tax on speculation is the simplest, because everything is ready for it to be implemented quickly. On a European scale alone (and despite Brexit), a tax of 0.1% on financial transactions (0.1% for equities and 0.01% for derivatives) could yield up to 57 billion euros per year, without touching the wallets of the greatest number.

0.1%

In December 2020, the European Commission recalled that an agreement on the tax on financial transactions was possible in enhanced cooperation (unanimity is not required on this subject), and affirmed that it hoped for an agreement before the end of 2022.

Figure 5. Let's tax speculation. The solutions (source: adapted from Pierre Larrourou, 2023).

On a European scale and despite Brexit, a 0.1% tax on financial transactions - 0.1% for equities and 0.01% for derivatives - could bring in up to 57 billion euros a year, without affecting the wallets of the greatest number of people. Parliament had voted in principle to implement the tax in 2021. On February 16, Parliament again called for the tax to be passed before the end of June. On the same day, the financial markets hit record highs. According to the MEP, there is a paradox in saying that there is no money, or even "a form of obscenity". A petition is on line to support its implementation ([Taxonslaspeculation.com](https://taxonslaspeculation.com)).

These two financing solutions could enable the State to pay direct subsidies up to the amount required, to finance renovation operations for households below a certain income level, and to supplement this with 0% interest loans for thermal renovation. Under these conditions, *i.e.*, if renovation is massively subsidized, we can then make it compulsory and accelerate the energy transition of the private housing stock and meet the objectives of the 2015 law.

Conclusion

According to ADEME, "the building industry is segmented". In its report *Imaginons ensemble les bâtiments de demain* ("Let's imagine tomorrow's buildings together"), it describes the forward-looking tools that can help meet tomorrow's climate challenges.

To meet environmental challenges, the solution is to renovate the existing building stock, for which current policies are essentially incentive-based and are struggling to produce volume effects on renovation. As a result, their effects on the structuring of the construction industry are limited. Prospective developments include the development of coordination between trades, to take account of the human factor in renovation. Other developments are tending towards the emergence of new renovation players, activities and new digital services.

With the Climate and resilience law, which prefigures zero net artificialization of land and modifies the provisions on thermal flaws, regulations are already anticipating this new paradigm with a more coercive rather than incentive component.

Current renovation tools and regulations will not suffice to meet the necessary ambitions of the energy transition. For both owner-occupiers and landlords, it is essential to increase the amount of loans and subsidies available, and to simplify access to them. We need to convince all homeowners to carry out comprehensive renovation work. These are essential issues that require local support.

In most cases, renovation projects exclude the human aspect of the project, focusing essentially on technical aspects and energy savings. The participatory approach is not sufficiently developed in projects. It could, however, lead to greater ownership of the work and a sense of participation in the energy transition. This transition can be achieved using digital tools and dedicated platforms. The involvement of civil society is essential.

The development of digital technology is a vector for accelerating the transformation of the building industry and reorganizing the sector. Digital BIM tools will enable players to be better organized, with a more equal distribution of remuneration between manufacturers and renovation contractors.

The operational implementation of renovation in relation to the plurality of the built heritage will force the building and real estate value chain to undergo in-depth reform to meet the major challenge of the 21st century: "renovating differently".

Sources • Sources

Figure 1.

HEAT ISLAND GROUP. S. D. Overview [en ligne]. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. Disponible sur : <https://heatisland.lbl.gov/coolscience> (consulté le 10.08.2023).

Figure 2.

VIE PUBLIQUE, 2022. Énergie : 17% des résidences principales seraient des passoires énergétiques [en ligne]. *vie-publique.fr*, 05 août 2022. Disponible sur : <https://www.vie-publique.fr/en-bref/285937-bilan-dpe-17-des-logements-classes-passoires-energetiques> (consulté le 10.08.2023).

Données : INSEE et MINISTÈRE DES FINANCES, 2020. *Fichiers démographiques sur les logements et les individus (FIDELI) – 2020*. CASD.

ADEME. L'observatoire DPE – Audit. Données décembre 2021 – mars 2022.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES, 2022. Le parc de logements par classe de performance énergétique au 1^{er} janvier 2022 [en ligne]. *Statistiques développement durable*, 22 juillet 2022. Commissariat général au développement durable, SDES. Disponible sur : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-logements-par-classe-de-performance-energetique-au-1er-janvier-2022-0>.

Figure 3.

ESTINGOY, Philippe, 2023. Incitations et contrôles pour atteindre les objectifs fixés. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Encadré 1.

COUR DES COMPTES EUROPÉENNES, 2017. *Analyse panoramique. L'action de l'UE dans le domaine de l'énergie et du changement climatique* [en ligne]. Luxembourg : Cour des comptes européenne, 104 p. Disponible sur : https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR17_01/LR_ENERGY_AND_CLIMATE_FR.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 4.

LARROUTOUROU, Pierre, 2023. Comment financer une politique de rénovation thermique à la hauteur des enjeux ? In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Données : ADEME, 2022. Les effets de la transition écologique sur l'emploi. *La lettre ADEME Stratégie*, juillet 2022.

Figure 5.

LARROUTOUROU, Pierre, 2023. Taxons la spéculation [en ligne]. *pierre-larrou-tou.eu*. Disponible sur : <https://www.pierre-larrou-tou.eu/taxons-la-speculation/> (consulté le 10.08.2023).

Bibliographie • References

ADEME, 2017. *Actualisation du scénario énergie-climat. ADEME 2035-2050* [en ligne]. Angers : ADEME, 48 p. Disponible sur : https://librairie.ademe.fr/cadic/1746/ademe_visions2035-50_010305.pdf (consulté le 10.08.2023).

ADEME, CSTB. 2022. *Imaginons ensemble les bâtiments de demain. Démarche prospective ADEME – CSTB*. S. L. ADEME, CSTB, 106 p.

CHAUVIÈRE LE DRIAN, Grégoire, 2023. La Banque européenne d'investissement. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

ESTINGOY, Philippe, 2023. Incitations et contrôles pour atteindre les objectifs fixés. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

LARROUTOUROU, Pierre, 2023. Comment financer une politique de rénovation thermique à la hauteur des enjeux ?. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

PELENC, Michel, 2023. Rénovation énergétique et pauvreté. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

SWEATMAN, Peter, 2022. *The European Renovation Loan: An innovative financial instrument to Repower EU* [en ligne]. Climate Strategy & Partners. Disponible sur : <https://www.climatestrategy.es/press/EURenovationLoanSummApr2022> (consulté le 10.08.2023).

Biodiversité

Biodiversity



Yvan Jean Laurent
ESSONO

Introduction

La biodiversité est extrêmement sensible aux différentes dégradations de l'environnement produites par l'activité humaine. Avec la forte pression de l'homme sur le milieu naturel et à mesure que la population humaine s'accroît, on constate une perte de biodiversité. Ceci pousse les chercheurs à s'interroger sur l'enclenchement de la sixième extinction de masse. L'activité humaine se traduit par une artificialisation des espaces naturels, au fur et à mesure que les villes se développent et par des pollutions venant de l'industrie, des transports et de l'agriculture, notamment, de l'élevage. Avant d'explorer les mesures pour endiguer cet effondrement déjà enclenché, il est important de définir la biodiversité ? Puis comprendre quels en sont les grands domaines ? Par la suite, nous allons interroger les facteurs de développement et d'effondrement de la biodiversité. Et enfin, nous allons explorer les stratégies d'adaptation naturelle de la biodiversité face aux activités humaines. Tout au long de cet article, nous nous référons à l'exposé de Tatiana Giraud sur la biodiversité, exposé présenté lors de la journée de conférences du 6 avril 2023.

1. Qu'est-ce que la biodiversité ?

D'après l'Office français de la biodiversité (OFB), « la biodiversité désigne l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent. Ce terme comprend également les interactions des espèces entre elles et avec leurs milieux. La biodiversité répond directement aux besoins primaires de l'Homme en apportant oxygène, nourriture et eau potable. Elle contribue également au développement des activités humaines en fournissant matières premières et énergie ».

D'après Claudie Haigneré, ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles technologies (2002-2004), « La biodiversité ou diversité biologique constitue le tissu vivant de la planète. Elle recouvre l'ensemble des formes de vie sur Terre, les relations qui existent entre elles et avec leurs milieux depuis l'origine commune de la vie ». Ainsi à travers ces deux définitions, on peut voir clairement qu'il existe une corrélation entre la biodiversité et son milieu. Cela sous-entend que la détérioration du milieu naturel a une incidence négative sur la biodiversité. Les notions d'écosystème et d'interdépendance sont les clés pour comprendre que « la biodiversité est un équilibre dynamique et un système complexe, pas une collection de timbres » d'après Tatiana Giraud.

En effet, celle-ci définit la biodiversité comme un ensemble (faune, flore, bactéries, etc.) qui évolue selon un processus dynamique. C'est-à-dire qu'il est en interaction permanente avec son milieu naturel de façon à s'adapter aux mutations de celui-ci. Les mutations de ce milieu peuvent, soit favoriser la biodiversité, soit entraîner sa perte ou encore la maintenir l'état d'équilibre par un mécanisme de régulation.

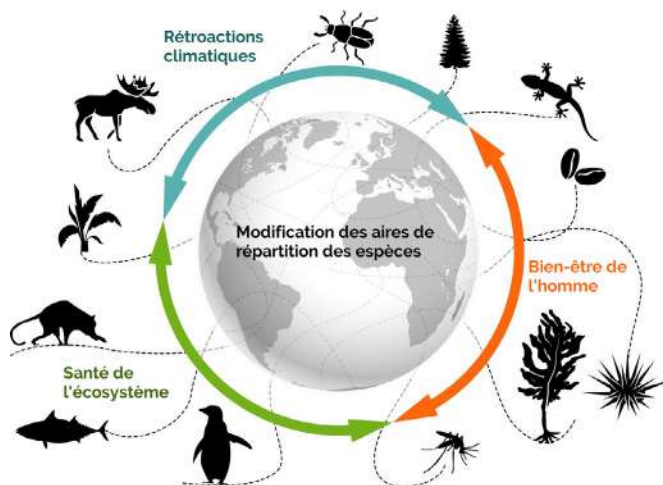


Figure 1. Interdépendance de la biodiversité par rapport au milieu naturel et au climat sous l'incidence de l'activité humaine (source : modifié d'après Pecl, Araújo, Bell et al.).

2. Quels sont les grands groupes de biodiversité ?

Nous appuyant sur l'exposé sur la biodiversité présenté par Tatiana Giraud, directrice de recherche, chercheuse principale au CNRS, nous pouvons dire qu'on distingue trois domaines de biodiversité, conformément à l'image ci-après :

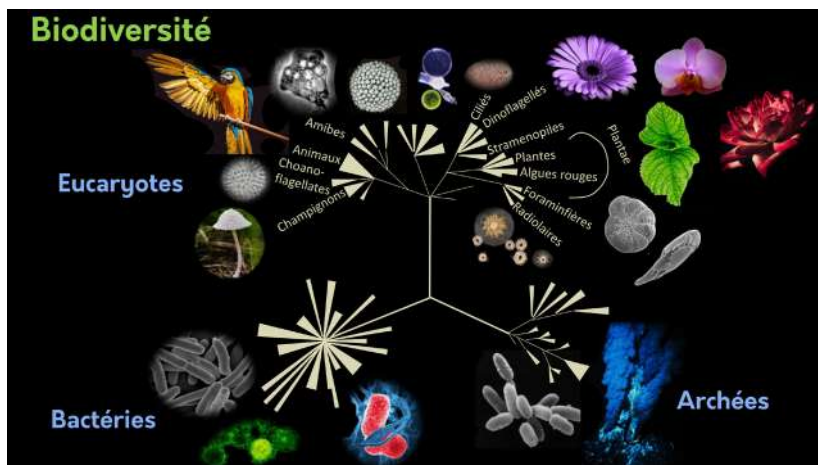


Figure 2. Domaines et sous-domaines de la biodiversité © Tatiana Giraud.

2.1. Les eucaryotes

C'est le domaine de la biodiversité auquel l'Homme appartient, domaine qui regroupe, à la fois, la faune et la flore. Il englobe tous les organismes unicellulaires ou multicellulaires, se distinguant par la présence d'un noyau et d'organites spécialisés dans la respiration. Sur le plan scientifique, on distingue quatre régimes d'eucaryotes : les procaryotes classiques, les *plantaes* (plantes et algues multicellulaires), les *mycotas* (champignons) et les *animalias*.

2.2. Les archées

Ce sont des microorganismes unicellulaires, une sorte de bactéries qui ne possèdent pas de noyau. Majoritairement présentes dans les océans, ces bactéries interviennent dans le cycle du carbone et le cycle de l'azote. On distingue les bactéries sphériques, les bacilles et les spirales.

2.3. Les bactéries

Les bactéries sont des microorganismes vivants qui ne possèdent pas de noyau, mais un ADN chromosomique circulaire situé dans le cytoplasme. Elles jouent un rôle important dans le cycle des nutriments des sols. À travers leur capacité à fixer l'azote, elles interviennent dans la fertilisation en agriculture. Elles sont présentes dans l'eau, le sol, l'air, mais aussi chez l'homme, sur la peau, dans la bouche et les intestins.

3. Quels sont les facteurs d'expansion et les stratégies d'adaptation de la biodiversité ?

3.1. Expansion de la biodiversité

Selon la théorie de l'évolution de l'espèce de Charles Darwin, toutes les espèces vivantes connues actuellement descendraient d'un même ancêtre commun qui s'est modifié, s'est diversifié et s'est maintenu à travers des générations par sélection naturelle fort de leur diversité génétique, maintenant de ce fait le fonctionnement stable des écosystèmes.

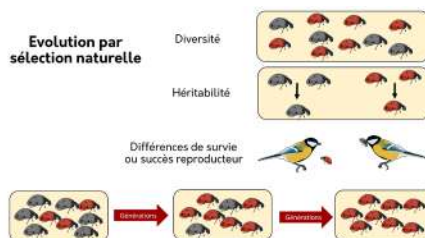


Figure 3. Expansion de la biodiversité par sélection naturelle (cas des coccinelles) © Tatiana Giraud.

3.2. Stratégie d'adaptation de la biodiversité

La biodiversité est un équilibre dynamique où les espèces sont en interaction les unes avec les autres. Celles-ci développent des stratégies de résilience face aux facteurs susceptibles de menacer leur survie. C'est ce qui explique leur maintien. Les espèces s'adaptent aux mutations de leur écosystème. On peut citer le cas des coccinelles rouges ou de certaines grenouilles qui développent de la toxicité pour échapper à leurs prédateurs ou encore de certains prédateurs qui miment leurs proies pour mieux s'en approcher et les manger.

Le pouvoir explicatif de la sélection naturelle



Figure 4. Stratégie d'adaptation de certaines espèces par sélection naturelle © Tatiana Giraud.

4. Quelles sont les causes de perte la biodiversité ?

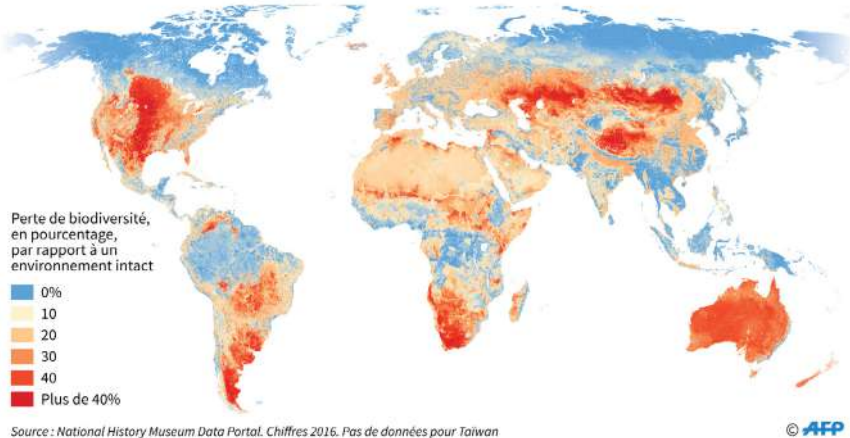
4.1. La dégradation des milieux naturels

La biodiversité est affectée négativement par l'artificialisation des sols, la pollution et la dégradation des milieux naturels, la surexploitation des ressources naturelles renouvelables. Cette dégradation du milieu naturel par la destruction des forêts induit l'extinction de la flore et de certaines espèces d'animaux. Cette destruction bouleverse l'équilibre naturel des chaînes alimentaires et de certains phénomènes tels que la polli-

nisation. Selon un rapport de l'ONU publié le 6 mai 2019, il a été démontré que la perte de la biodiversité était plus prononcée dans les parties du monde où le milieu naturel avait subi des altérations majeures. On voit donc qu'il existe une corrélation forte entre la biodiversité et le milieu naturel.

Figure 5. Perte de la biodiversité dans le monde

Perte de biodiversité dans le monde

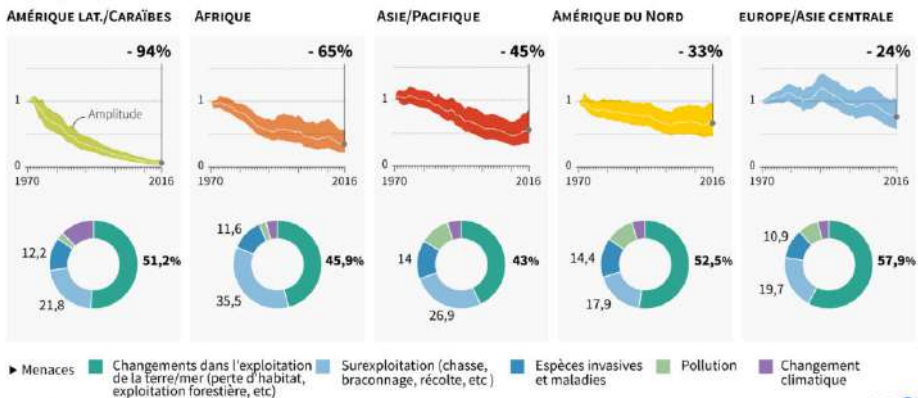


5.1 Par région par rapport à un environnement intact © Simon Malfatto, Sabrina Blanchard/AFP.

Le déclin de la biodiversité

Évolution moyenne de la taille des populations de vertébrés suivies avec l'Indice Planète Vivante (IPV) du WWF, 1970-2016

► Par région Valeur de l'indice, indicateur de l'état de la biodiversité (1970 = 1)



5.2 Évolution de l'Indice Planète Vivante établi par WWF entre 1970 et 2016 par région du monde © Sophie Ramis, Gal Roma/AFP (modifié d'après WWF, 2020).

4.2. Le changement climatique

Le changement climatique est un facteur non négligeable dans l'altération du milieu naturel et dans la perte de la biodiversité. Il est en partie dû à la forte consommation d'énergies fossiles (gaz, essence, pétrole, *etc.*), et aux activités humaines polluantes qui ont un impact sur le milieu naturel. On note ainsi l'accroissement de phénomènes climatiques extrêmes, du nombre de feux de forêt, d'inondations, mais aussi, de périodes de sécheresse, *etc.*

Le secteur de l'immobilier et du bâtiment contribue aussi au changement climatique. En effet, les bâtiments très mal ou pas isolés thermiquement, désignés par le terme de passoires thermiques, émettent un volume de gaz à effet de serre très important. En outre, la démolition des bâtiments anciens consomme également de l'énergie et produit des déchets. Ces déchets peuvent polluer les sols et les eaux souterraines, en cas de mauvais recyclage, entraînant une détérioration de la qualité de l'environnement.



Figure 6. Le réchauffement climatique et l'effet de serre © CEA/aquaportail.com.

Selon un rapport du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires paru le 11 mai 2021, ce secteur représente 44 % de l'énergie consommée en France. Ce rapport nous montre que chaque année le secteur du bâtiment émet plus de 123 millions de tonnes de CO_2 , soit 23 % de l'ensemble des gaz à effet de serre émis.



Figure 7. État des lieux du parc de logements existants en France © Guy Hoquet¹.

4.3. Les espèces envahissantes

Au regard des interactions qui existent entre les différentes espèces, l'invasion d'une espèce par rapport aux autres peut entraîner l'effondrement de la biodiversité. Car cette prépondérance entraîne l'accaparement d'une part importante de ressources, limitant la redondance dans les interactions.

4.4. Les catastrophes naturelles

Certaines catastrophes naturelles comme les inondations, les séismes, les éboulements, les grands feux de forêt, les ouragans, les tsunamis ont un impact sur de la biodiversité par les dégâts qu'ils génèrent.

5. Quelles sont les mesures actuelles de sauvegarde et de préservation de la biodiversité ?

La préservation de la biodiversité est indispensable au maintien de l'équilibre de la vie sur Terre. C'est pourquoi de nombreuses mesures ont été mises en place, allant dans le sens de la sauvegarde de la biodiversité. Nous pouvons citer :

1. Étude du réseau Guy Hoquet sur la valeur énergétique du parc immobilier existant en France.

5.1. La loi Énergie Climat

Entrée en vigueur le 8 novembre 2019, avec 69 articles, son objectif est de réduire de 40 % au minimum les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030.

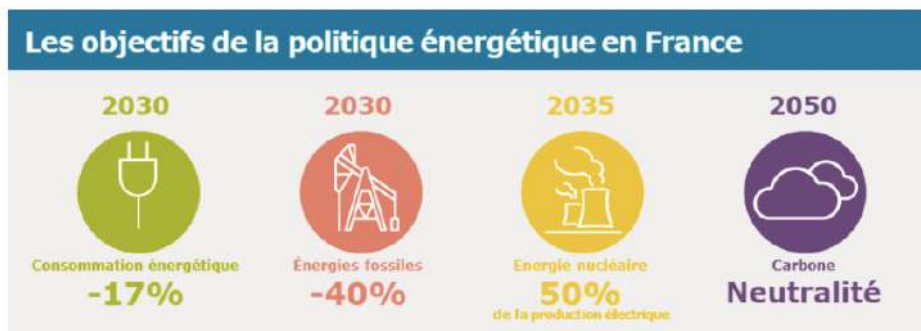


Figure 8. La politique de transition énergétique de la France à l'horizon 2050 © Énergies de la mer.

Elle va au-delà de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), en prenant en compte la biodiversité chez les acteurs financiers en son article 29. Cet article impose à l'acteur financier de publier les impacts de son portefeuille sur le changement climatique, et de l'érosion de la biodiversité d'une part et la vulnérabilité de ce portefeuille sur ces deux thématiques d'autre part. Ce qui peut l'obliger à réduire, voire, arrêter de financer des programmes qui se font au détriment de la biodiversité, à l'instar des énergies fossiles, l'agriculture intensive, certaines pêches intensives.

5.2. La taxonomie verte européenne

Entrée en vigueur en juin 2020, elle s'articule autour de 6 objectifs qui sont : l'atténuation du changement climatique, l'adaptation au changement climatique, l'utilisation durable et la protection des ressources aquatiques et maritimes, la transition vers une économie circulaire, la prévention et le contrôle de la pollution, la protection et la restauration de la biodiversité et des écosystèmes. Ces objectifs visent l'atténuation du changement climatique et la préservation de la biodiversité. De ce fait, la taxonomie verte européenne procède par la classification des activités économiques ayant un impact négatif sur l'environnement pour mieux orienter les fonds d'investissement vers les activités vertes.



Figure 9. Les six objectifs de la taxonomie verte européenne © GreenFlex.

5.3. La Stratégie nationale Biodiversité 2030 pré-COP15

S'appuyant sur la Convention sur la diversité biologique (CDB), elle a été adoptée à l'issue de la COP15 Biodiversité en décembre 2022. Elle a pour objectif de mettre un terme à l'érosion de la biodiversité d'ici 2030 à travers : la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable des espèces et des milieux naturels, le partage juste et équitable des bénéfices issus de l'utilisation des ressources génétiques en s'appuyant sur les principes suivants :

- la sobriété dans l'usage des ressources naturelles ;
- la cohérence des actions que ce soit au niveau des politiques publiques et des partenariats avec le secteur privé ou au niveau des échelles d'intervention, qui peuvent être locales, nationales ou internationales ;
- l'opérationnalité, pour entraîner par des actions concrètes, les changements nécessaires à la transition écologique.



Figure 10. Des acteurs mobilisés pour la biodiversité © Terre de liens.

5.4. Les solutions scientifiques et technologiques de maintien de la biodiversité

De nombreuses solutions scientifiques ont été proposées pour le maintien de la biodiversité.

5.4.1. Les ciseaux moléculaires

Encore appelé « la méthode CRISPR² - Cas9 », c'est un système simple, rapide et efficace pour couper un brin d'ADN³ à un endroit précis du génome dans n'importe quelle cellule. Il est constitué d'un ADN guide, qui cible une séquence d'ADN particulière, associé à l'enzyme Cas9, qui comme des ciseaux moléculaires, coupe l'ADN. Une fois découpée, cette cellule va engendrer des mécanismes de réparation.

2 • Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats

3 • Acide désoxyribonucléique

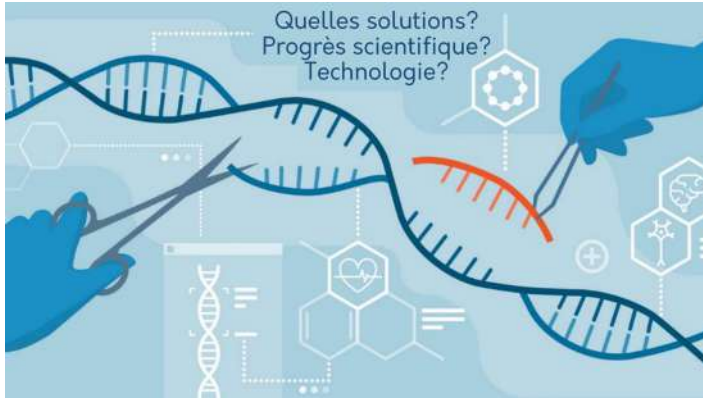


Figure 11. Mécanisme des ciseaux moléculaires © Tatiana Giraud.

5.4.2. La désextinction des espèces

Ce processus consiste à faire revivre des espèces disparues ou éteintes en s'appuyant sur une espèce apparentée grâce aux avancées en génétique et biologie synthétique en procédant par clonage.

5.4.3. L'introduction des OGM en agriculture

Les OGM⁴ sont des organismes (animaux, végétaux, bactéries) dont on améliore les capacités de rendement en modifiant leur matériel génétique de base par des techniques génétiques, ce qui leur confère de nouvelles caractéristiques d'ADN.

Toutefois, pour que ces solutions scientifiques soient efficaces et durables, il faut qu'il y ait de la diversité dans ces différents processus de séquençage et pas uniquement des sélections de super souches spécifiques.

Conclusion

L'interdépendance entre les espèces oblige à prendre en compte la biodiversité pour le maintien de la vie sur Terre. Comme nous l'avons vu au début de cet article (*cf. supra*), la biodiversité est à la fois un équilibre dynamique et une interaction entre les espèces. Dans le présent article, nous avons présenté les différentes définitions et aussi les grands domaines et sous-domaines de la biodiversité. Nous avons présenté les facteurs d'évolution ou au contraire d'érosion de la biodiversité. Parmi les facteurs

⁴ Organismes génétiquement modifiés

d'évolution, on note que celle-ci se fait par sélection naturelle forte de la diversité génétique des espèces.

Parmi les facteurs d'érosion ou d'effondrement, on note que l'activité humaine joue un rôle majeur, par la surexploitation des océans et des terres agricoles, par la pollution industrielle, par l'utilisation des pesticides, *etc.* Tatiana Giraud nous rappelle que le changement climatique est actuellement le troisième facteur d'érosion de la biodiversité et qu'il pourrait peut-être à l'avenir prendre un rang plus élevé dans l'ordre des causes. Donc nous pouvons dire que les dérèglements climatiques ont un impact négatif sur la biodiversité. Ces changements climatiques, à l'origine de certaines catastrophes naturelles, comme les feux de forêt dus aux fortes canicules, sont pour la plupart causés par les activités humaines (industrie, transport, constructions) qui augmentent les émissions de gaz à effet de serre. C'est pourquoi, l'Europe et les États membres, dont la France en particulier, ont adopté un ensemble important de directives, lois et règlements visant à encadrer l'activité humaine de façon à en atténuer les impacts négatifs sur la biodiversité. Parmi ces textes, on peut citer la taxonomie verte européenne, la loi Énergie Climat, ou encore la Stratégie nationale Biodiversité 2030.

Au-delà de ce corpus technico-réglementaire, l'Homme a la responsabilité d'assurer le processus de régulation naturel à travers la préservation des espèces en voie de disparition. Il peut le faire par la création de réserves naturelles et en finançant des projets valorisant la biodiversité. Il peut également agir pour limiter l'expansion des espèces invasives. Il assure ainsi une forme de régularisation des interactions naturelles dans les niches écologiques et il maintient un équilibre dynamique de la biodiversité sur terre.

Introduction

Biodiversity is extremely sensitive to the various forms of environmental degradation caused by human activity. As the human population grows, so does the pressure of human activity on the natural environment. This has prompted researchers to question whether the sixth mass extinction is underway. Human activity is leading to the artificialization of natural areas as cities grow, and to pollution from industry, transport, farming and livestock. Before exploring measures to stem this collapse, which has already begun, it is important to first answer the following question: what is biodiversity? We then need to understand what the main areas of biodiversity are. Next, we will look at the factors driving the development and collapse of biodiversity. And finally, we will explore biodiversity's natural adaptation strategies in the face of human activity. Throughout this article, we will refer to Tatiana Giraud's presentation on biodiversity given at the one-day conference on April 6, 2023.

1. What is Biodiversity?

According to the OFB, "biodiversity refers to all living beings and the ecosystems in which they live. It also includes the interactions of species with each other and with their environment. Biodiversity directly meets mankind's primary needs by providing oxygen, food and drinking water. It also contributes to the development of human activities by providing raw materials and energy".

According to Claudie Haigneré, former French Minister for Research (2002-2004), "Biodiversity or biological diversity is the living fabric of the planet. It covers all forms of life on Earth, and the relationships that have existed between them and with their environments since the common origin of life". These two definitions clearly show that there is a correlation between biodiversity and its environment. This implies that deterioration of the natural environment has a negative impact on biodiversity. The notion of ecosystem and interdependence are key to our understanding that "Biodiversity is a dynamic equilibrium and a complex system, not a collection of stamps", according to Tatiana Giraud.

Indeed, she defines biodiversity as a whole (fauna, flora, bacteria, *etc.*) that evolves according to a dynamic process. In other words, it is in constant interaction with its natural environment, adapting to changes in the latter. Mutations in this environment can either favor biodiversity or lead to its loss; alternatively, it can be maintained in a state of equilibrium through a regulatory mechanism.

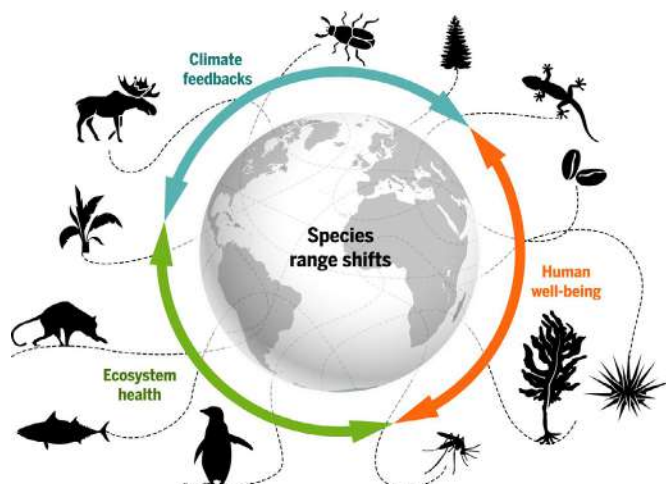


Figure 1. Interdependence between biodiversity and the natural environment and climate under the impact of human activity © Pecl, Araújo, Bell et al.

2. What are the major biodiversity groups?

Based on the presentation on biodiversity given by Tatiana Giraud, research director and senior researcher at the CNRS, we can say that there are three areas of biodiversity, as shown in the image below:

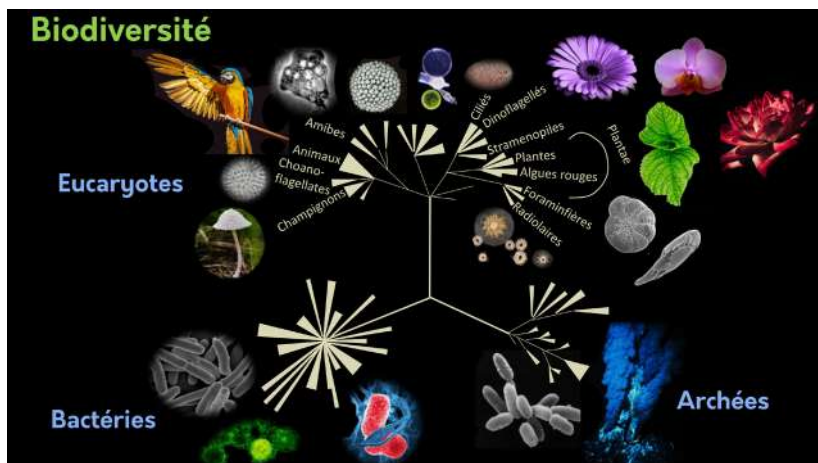


Figure 2. Main areas and sub-areas of biodiversity © Tatiana Giraud.

2.1. Eukaryotes

This is the domain of biodiversity to which man belongs, and includes both flora and fauna. It encompasses all unicellular or multicellular organisms, distinguished by the presence of a nucleus and specialized organelles involved in respiration. In scientific terms, there are four eukaryotic kingdoms: classical prokaryotes, plantae (multicellular plants and algae), mycotas (fungi) and animalia.

2.2. Archaea

These are unicellular microorganisms, a type of bacteria without a nucleus. Mainly found in the oceans, these bacteria are involved in the carbon and nitrogen cycles. A distinction is made between spherical, bacillus and spiral bacteria.

2.3. Bacteria

Bacteria are living microorganisms that lack a nucleus but have circular chromosomal DNA in the cytoplasm. They play an important role in the nutrient cycle of soils. Thanks to their ability to fix nitrogen, they are active in fertilization in agriculture. They are to be found in water, soil and the air, but also in human beings – on the skin, in the mouth and in the intestines.

3. What are the factors driving biodiversity expansion and adaptation strategies?

3.1. Biodiversity expansion

According to Charles Darwin's theory of evolution, all currently known living species have descended from a single common ancestor which modified, diversified and maintained its genetic diversity over generations through natural selection, thereby maintaining the stable functioning of ecosystems.

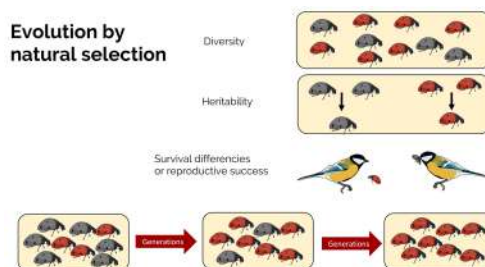


Figure 3. Expansion of biodiversity through natural selection (the case of ladybugs) (source: adapted from Tatiana Giraud).

3.2. Biodiversity adaptation strategy

Biodiversity is a dynamic equilibrium in which species interact with one another. They develop resilience strategies in the face of factors likely to threaten their survival. This explains their continued existence. Species adapt to changes in their ecosystem. Examples include red ladybugs or certain frogs, which develop toxicity to escape predators, or certain predators which mimic their prey to be able to approach and eat it.

The Power of Natural Selection



Figure 4. Adaptation strategies of certain species through natural selection (source: adapted from Tatiana Giraud).

4. What are the causes of biodiversity loss?

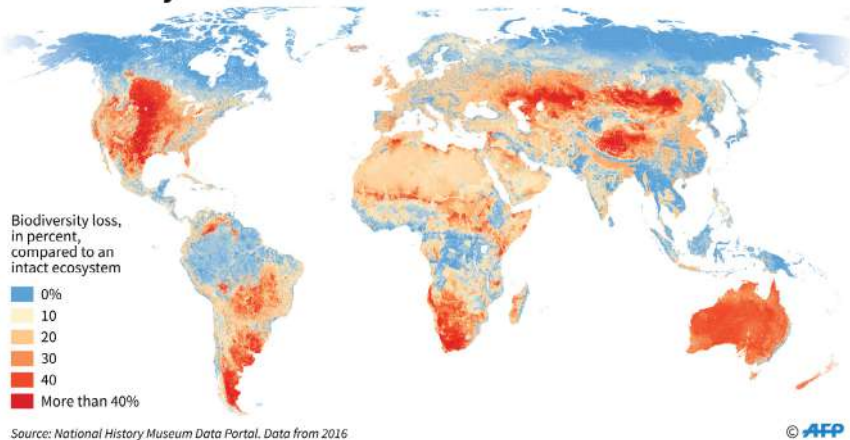
4.1. Degradation of natural environments

Biodiversity is negatively affected by the artificialization of land, the pollution and degradation of natural environments, and the over-exploitation of renewable natural resources. This degradation of the natural environment through the destruction of forests is leading to the extinction of flora and certain animal species. This destruction disrupts the natural balance of food chains and phenomena such as pollination. According to a

UN report published on May 6, 2019, it has been shown that the loss of biodiversity is more pronounced in parts of the world where the natural environment has undergone major alterations. There is therefore a strong correlation between biodiversity and the natural environment.

Figure 5. Biodiversity loss worldwide

Biodiversity loss

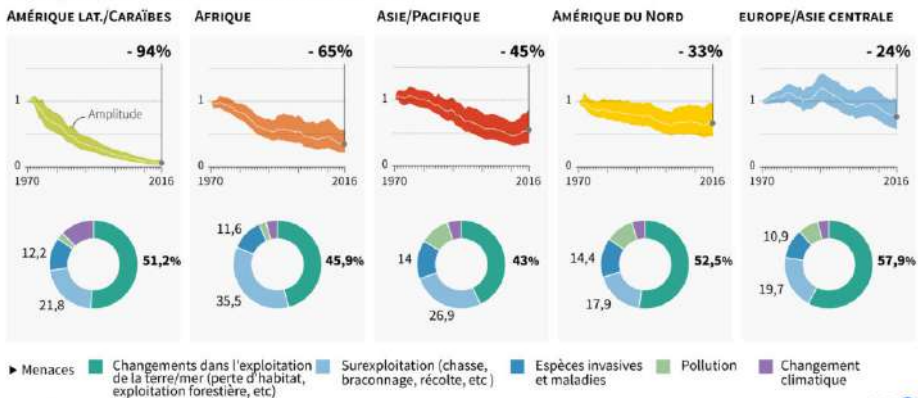


5.1. By region compared to an intact environment © Simon Malfatto, Sabrina Blanchard/AFP.

Le déclin de la biodiversité

Évolution moyenne de la taille des populations de vertébrés suivies avec l'Indice Planète Vivante (IPV) du WWF, 1970-2016

► Par région Valeur de l'indice, indicateur de l'état de la biodiversité (1970 = 1)



5.2. Evolution of the WWF Living Planet Index between 1970 and 2016 by world region © Sophie Ramis, Gal Roma/AFP (modified from WWF, 2020).

4.2. Climate change

Climate change is a non-negligible factor in the alteration of the natural environment and the loss of biodiversity. Climate change is due in part to the high consumption of fossil fuels (gas, oil, *etc.*), which, combined with polluting human activities, has an impact on the natural environment. Extreme climatic phenomena are on the increase, as are forest fires, floods and periods of drought.

The real estate and construction sectors also contribute to climate change. Poorly insulated or non-insulated buildings, known as “thermal bridges”, emit large volumes of greenhouse gases. The demolition of old buildings also consumes energy and produces waste. If improperly recycled, this waste can pollute soil and groundwater, leading to a deterioration in environmental quality.

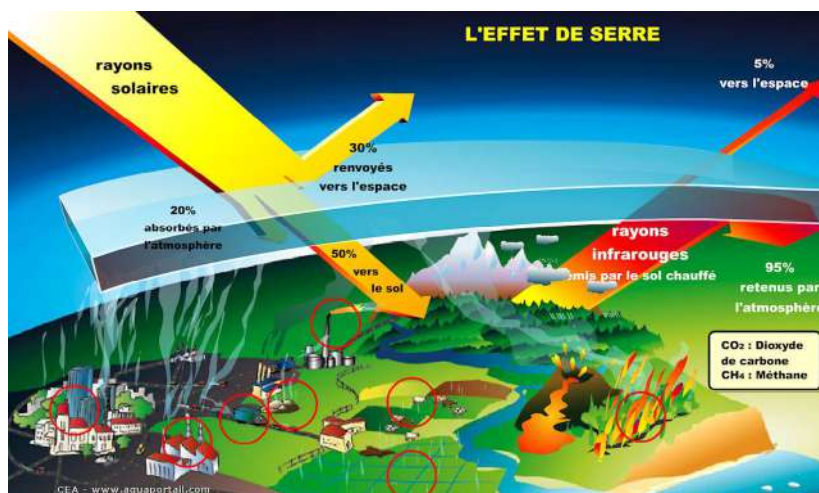


Figure 6. Global warming and the greenhouse effect © CEA/aquaportail.com.

According to a report by the French Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion published on May 11, 2021, the building sector accounts for 44% of the energy consumed in France. This report shows that every year, this sector emits more than 123 million tons of CO₂, or 23% of all greenhouse gas emissions.



Figure 7. Overview of existing housing stock in France © Guy Hoquet¹.

4.3. Invasive species

Given the interactions that exist between different species, the invasion of one species in relation to others can lead to the collapse of biodiversity. This is because the predominance of one species leads to the monopolization of a large proportion of resources, limiting the redundancy of interactions.

4.4. Natural disasters

Natural disasters such as floods, earthquakes, landslides, forest fires, hurricanes and tsunamis have an impact on biodiversity through the damage they cause.

5. What measures are currently in place to safeguard and preserve biodiversity?

Preserving biodiversity is essential to maintaining the balance of life on Earth. This is why numerous measures have been taken to safeguard biodiversity. These include:

5.1. The Climate and Energy Act

Coming into force on November 8, 2019, with 69 articles, its aim is to reduce greenhouse gas emissions by at least 40% by 2030.

¹ • Guy Hoquet network study on the energy value of existing properties in France.



Figure 8. France's energy transition policy to 2050 (source: adapted from Énergies de la mer).

This Act goes beyond the Energy transition for green growth Act by taking biodiversity into account for financial stakeholders in its article 29. This article requires financial stakeholders to publish the impacts of their portfolios on climate change and biodiversity erosion on the one hand, and the vulnerability of their portfolios to these two issues on the other. This may oblige them to reduce or even stop financing programs that are detrimental to biodiversity, such as fossil fuels, intensive agriculture and certain intensive fisheries.

5.2. The European Green Taxonomy

Coming into force in June 2020, it is structured around 6 objectives, namely: climate change mitigation, climate change adaptation, sustainable use and protection of aquatic and maritime resources, transition to a circular economy, pollution prevention and control, protection and restoration of biodiversity and ecosystems. These objectives are aimed at mitigating climate change and preserving biodiversity. This is why the European Green Taxonomy classifies economic activities that have a negative impact on the environment, in order to better direct investment funds towards green activities.



Figure 9. The 6 objectives of the European Green Taxonomy (source: adapted from GreenFlex).

5.3. Pre-COP15 National Biodiversity Strategy 2030

Based on the Convention on Biological Diversity, this strategy was adopted at the COP15 Biodiversity summit in December 2022. Its aim is to halt the erosion of biodiversity by 2030 through the conservation of biodiversity, the sustainable use of species and natural environments, and the fair and equitable sharing of the benefits arising from the use of genetic resources, based on the following principles:

- Sober use of natural resources;
- Coherence of actions, whether at the level of public policies and partnerships with the private sector or at the level of intervention scales, which can be local, national or international;
- Operationality, in order to bring about the changes required for ecological transition through concrete action.

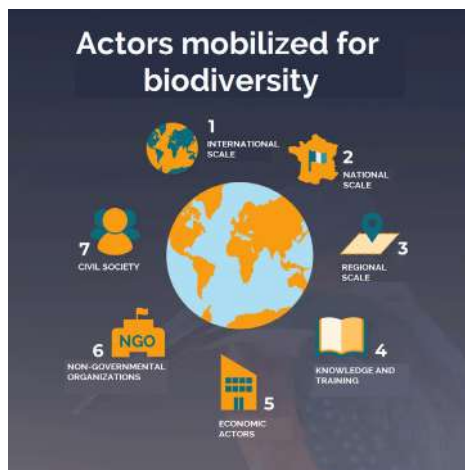


Figure 10. Stakeholders mobilized for biodiversity (source: adapted from Terre de liens).

5.4. Scientific and technological solutions for maintaining biodiversity

Numerous scientific solutions have been proposed to maintain biodiversity, including the following:

5.4.1. Molecular scissors

Also known as the CRISPR - Cas9 method, this is a simple, fast and effective system for cutting a DNA strand at a precise point in the genome of any cell. It consists of a guide DNA, which targets a particular DNA sequence, combined with the Cas9 enzyme, which cuts the DNA like molecular scissors. Once cut, this cell will generate repair mechanisms.

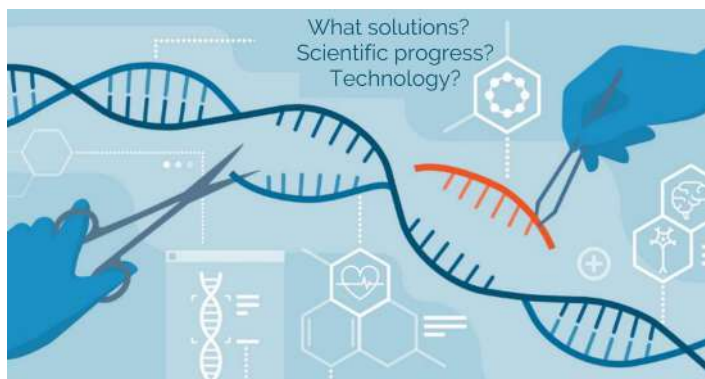


Figure 11. Molecular scissors mechanism (source: adapted from Tatiana Giraud).

5.4.2. The de-extinction of species

This process consists in reviving extinct or extinct species using a related species, thanks to advances in genetics and synthetic biology, through cloning.

5.4.3. The introduction of GMOs in agriculture

GMOs are organisms (animals, plants, bacteria) whose performance capacities are improved by modifying their basic genetic material using genetic techniques, thereby conferring on them new DNA characteristics.

However, for these scientific solutions to be effective and sustainable, there needs to be diversity in the various sequencing processes, and not just selections of specific super strains.

Conclusion

The interdependence between species means that biodiversity must be taken into account if life on earth is to be maintained. As noted at the start of this article (*cf. supra*), biodiversity is both a dynamic equilibrium and an interaction between species. In this

article, we have presented the different definitions and also the major domains and sub-domains of biodiversity. We have also presented the factors driving the evolution or, conversely, the erosion of biodiversity. As regards evolution, we note that this takes place through strong natural selection of the genetic diversity of species.

Among the factors of erosion or collapse, we note that human activity plays a major role, through the over-exploitation of oceans and agricultural land, industrial pollution, the use of pesticides, *etc.* Tatiana Giraud reminds us that climate change is currently the 3rd biggest factor in the erosion of biodiversity, and that it could perhaps rank higher in the order of causes in the future. So we can say that climate disruption is having a negative impact on biodiversity. These climate changes, which are at the root of certain natural disasters such as forest fires caused by intense heatwaves, are for the most part caused by human activities (industry, transport, construction) which increase greenhouse gas emissions. This is why Europe and its Member States, France in particular, have adopted a large number of directives, laws and regulations aimed at controlling human activity so as to mitigate its negative impact on biodiversity. These include the European Green Taxonomy, the French Climate and Energy Law, and the National Biodiversity Strategy 2030.

Over and above this body of technical regulations, mankind is responsible for ensuring that the natural regulatory process runs smoothly through the preservation of endangered species. We can do this by creating nature reserves and financing projects that enhance biodiversity. We can also act to limit the spread of invasive species. In this way, biodiversity regulates natural interactions in ecological niches and maintains a dynamic balance of biodiversity on earth.

Sources • Sources

Figure 1.

PECL, Gretta T., ARAÚJO, Miguel B., BELL, Johann D. *et al.*, 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* [en ligne], vol. 355, n° 6332, eaai9214. DOI: [10.1126/science.aai9214](https://doi.org/10.1126/science.aai9214).

Figure 2.

GIRAUD Tatiana, 2023. *Biodiversité : évolution, effondrement, solutions*. Cours du Mastère Spécialisé® IBD, 06 avril 2023, slide n° 4.

Figure 3.

ibid., slide n° 10.

Figure 4.

ibid., slide n° 11.

Figure 5.1.

Simon Malfatto, Sabrina Blanchard/AFP (source : www.afpforum.com).

Figure 5.2.

WWF, ALMOND, R.E.A., GROOTEN M., PETERSEN, T. (eds.), 2020. *Living Planet Report 2020. Bending the curve of biodiversity loss* [en ligne]. Gland : WWF, 164 p. Disponible sur : https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2020-09/20200910_Rapport_Living-Planet-Report-2020_ENGLISH_WWF-min.pdf (consulté le 10.08.2023).

Figure 6.

CEA/www.aquaportail.com

Figure 7.

DHIVER, Jonathan, 2018. Les logements du parc existant consomment encore trop d'énergie [en ligne], *meilleurescpi.com*, 25 mai 2018. Disponible sur : <https://www.meilleurescpi.com/actualites/75115-les-logements-du-parc-existant-consomment-encore-trop-denergie/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 8.

ÉNERGIES DE LA MER, 2019. Climat – Énergie. La première version de la « petite loi » [en ligne], *energiesdelamer.eu*, 05 mai 2019. Disponible sur : <https://www.energiesdelamer.eu/2019/05/05/climat-energie-la-premiere-version-de-la-petite-loi/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 9.

GREENFLEX, S. D. Entreprises : l'enjeu de la taxonomie verte en 5 points [en ligne]. *greenflex.com*. Disponible sur : <https://www.greenflex.com/actualites/articles/entreprises-enjeu-taxonomie-verte/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 10.

TERRE DE LIENS, 2021. Participez à la stratégie nationale pour la biodiversité [en ligne], *terredeliens.org*, 27 mai 2021. Disponible sur : <https://terredeliens.org/national/actu/participez-a-la-strategie-nationale-pour-la-biodiversite-27-05-2021/> (consulté le 10.08.2023).

Figure 11.

GIRAUD Tatiana, 2023, *op. cit.*, slide n° 44 (source : modifié d'après Enalabs/ISTock).

Bibliographie • References

BESTION, Elvire et CLERC, Catherine, 2021. Changement climatique et perte de biodiversité interagissent pour modifier le fonctionnement des écosystèmes [en ligne]. *inee.cnrs.fr*, 16 septembre 2021. Disponible sur : <https://www.insee.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/changement-climatique-et-perte-de-biodiversite> (consulté le 01.05.2023).

CERCLE PROMODUL INEF4, S. D. 6ème rapport du GIEC (volet 1) : quels impacts pour le secteur du bâtiment ? [en ligne]. *cercle-promodul.inef4.org*. Disponible sur : <https://www.cercle-promodul.inef4.org/publication/6eme-rapport-du-giec-quels-impacts-pour-le-secteur-du-batiment/> (consulté le 10.08.2023).

COMMISSION EUROPÉENNE, 2022. Taxonomie verte : mode d'emploi ! [en ligne], *europa.eu*, 13 janvier 2022. Disponible sur https://france.representation.ec.europa.eu/informations/taxonomie-verte-mode-demploi-2022-01-13_fr (consulté le 02.05.2023).

GAUQUELIN, Thierry, 2016. Le changement climatique : quelles conséquences sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes forestiers méditerranéens ? : L'apport des stations expérimentales in natura. *Forêt méditerranéenne*, vol. 37, n° 4, pp. 275-278.

GIRAUD Tatiana, 2023. *Biodiversité : évolution, effondrement, solutions*. Cours du Mastère Spécialisé® IBD, 06 avril 2023.

LEGER, Cécilia, 2020. Qu'est-ce que CRISPR, le « ciseau génétique » à ne pas mettre entre toutes les mains ? [en ligne]. *numerama.com*, 07 octobre 2020. Disponible sur : <https://www.numerama.com/sciences/394558-crispr-cas9-le-ciseau-genetique-a-ne-pas-mettre-entre-toutes-les-mains.html> (consulté le 28.05.2023).

MTE, 2023. Biodiversité : présentation et enjeux [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 09 août 2023. Disponible sur : <http://www.ecologie.gouv.fr/biodiversite-presenta-tion-et-informations-cles> (consulté le 27.04.2023).

MTE, 2023. Stratégie nationale biodiversité 2030 [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 31 juillet 2023. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bio-diversite> (consulté le 03.05.2023).

MTE, 2020. Loi Énergie-climat [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 16 janvier 2020. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-energie-climat> (consulté le 02.05.2023).

PROPARCO, 2023. Changement climatique et perte de la biodiversité : résumé des enjeux en chiffres-clés [en ligne]. *proparco.fr*, 05 janvier 2023. Disponible sur : <https://www.proparco.fr/fr/actualites/changement-climatique-et-perte-de-la-biodiversite-resume-des-enjeux-en-chiffres-cles> (consulté le 15.04.2023).

WWF, 2018. *La nature face au choc climatique. L'impact du changement climatique sur la biodiversité au cœur des Écorégions Prioritaires du WWF* [en ligne], S. L., 46 p. Disponible sur : https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-03/180314_Rapport_Especes_Climat.pdf (consulté le 10.08.2023).

Eau, déchets, énergie

Water, wastes, energy



Alain BOO
Wandrille LANGLOIS
d'ESTAINOT
Ramy SAID
Yasmine SIAH
Théo WYCKAERT



École des Ponts
ParisTech

Introduction

Alors que le monde est confronté aux effets du changement climatique, le système énergétique mondial semble attendre ses limites. Ceci est dû en partie à la raréfaction des sources d'énergies fossiles (voire des matériaux fissibles conventionnels) et/ou à la difficulté d'approvisionnement de ces sources d'énergie. Il est également confronté à une hausse toujours plus soutenue de la demande énergétique mondiale due, entre autres, à la croissance démographique de certains pays (Afrique, Inde, *etc.*), à l'augmentation de la production industrielle (Chine, Inde, *etc.*), à l'augmentation de la consommation des ménages, aux secteurs du transport et du BTP, *etc.* Cette augmentation de la consommation énergétique a de nombreux impacts négatifs sur l'environnement et génère des problèmes politiques, économiques et sociaux. Cela invite donc à s'interroger sur la pérennité du système économique mondial et, plus largement, sur la durabilité de nos modèles de développement. Mais ces interrogations ne datent pas d'hier. Le concept de transition énergétique (Duruissseau, 2014) remonte à plusieurs décennies et l'idée de la nécessité d'un changement de modèle de développement n'est pas récente non plus. Ainsi, il n'y a donc pas eu une transition unique, mais plusieurs transitions au gré des évolutions démographiques et des demandes énergétiques. Mais le terme de « transition énergétique » a été forgé dans les années 1980 et il a fallu attendre le début des années 2000 pour assister à une multiplication des travaux sur celle-ci pour arriver à la mise en place d'une véritable transition écologique.

Dans ce contexte, la notion de transition énergétique pour répondre aux enjeux climatiques émerge à la suite des COP (*Conferences of the Parties*) et de l'urgence climatique, pour se formaliser au niveau mondial par l'Accord de Paris en 2015. Plus de 194 pays se sont ainsi engagés à limiter leurs émissions de gaz à effet de serre en dessous du seuil de 1,5 et 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle. Au niveau de la France, cela se traduit par la promulgation, en 2015, de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte ou LTECV et de la loi Énergie Climat en 2019.

Aussi, les organisations supra-étatiques et les États s'organisent en adoptant des mesures réglementaires visant à protéger l'environnement, limiter la consommation d'énergie et encadrer la gestion des ressources. Plus localement, la France a légiféré notamment avec la Réglementation environnementale 2020 (RE2020), la loi Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV, 2015), la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC, 2020), la loi Anti-gaspillage pour une économie circulaire (AGEC, 2020) et la zéro artificialisation nette (ZAN, 2023).

Le présent article porte sur les présentations des conférenciers qui sont intervenus lors de la journée du 7 avril :

- Stéphane Bourg, sur les ressources naturelles, notamment, les minerais ;
- Philippe Bihouix, sur le métabolisme des villes ;
- Claude Imauven, sur l'industrie nucléaire ;

- et Hervé de Maistre, à propos de l'économie circulaire et du réemploi.

Ces présentations et l'analyse qui en sera faite nous aideront à comprendre comment se met en place la nouvelle transition énergétique que nous sommes en train de vivre, transition qui touche à la fois le bâtiment et la gestion des ressources naturelles et quelles sont les solutions pour que cette transition énergétique participe à l'immobilier et au bâtiment durables et bas-carbone ?

Pour cela, nous analyserons la gestion des ressources naturelles durant tout le cycle de vie du bâtiment, de l'extraction des ressources naturelles jusqu'à leur réemploi avec pour contour la gestion de l'énergie.

1. Gestion durable autour des ressources minérales

1.1. Transition énergétique et exploitation des minéraux

1.1.1. Constats

Il faut réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre rejetés dans l'atmosphère et remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables (ENR) et décarbonées. Les ENR (éolien, hydraulique, solaire, biomasse, géothermie, etc.) constituent un nouveau marché. Ces techniques visent à capter l'énergie dans les sources inépuisables comme le soleil, le vent, les marées, etc. Mais le marché des ENR qui représente aujourd'hui environ 20 % de la consommation d'énergie dans le monde constitue-t-il pour autant un signe de progrès et permet-il une réelle décarbonation du secteur de la construction ? Plus simplement dit la Green Tech est-elle toujours «verte» ?

Comme l'a précisé Stéphane Bourg, pour produire de l'énergie solaire, éolienne ou n'importe quelle autre énergie renouvelable, nous avons besoin de matériaux et les émissions de gaz à effet de serre liées à l'industrie des matières premières sont estimées à 16 % des émissions mondiales. Dans le cas des matériaux de base comme le cuivre, le fer, le nickel, le zinc et le plomb, dont la teneur à l'intérieur des minerais est très élevée, l'énergie liée à leur extraction est relativement faible. Mais la quantité d'énergie nécessaire pour extraire les terres rares indispensables à la fabrication des alliages à haute performance est multipliée par quatre ou plus, entraînant une augmentation des coûts. Cette augmentation est encore aggravée par l'explosion du prix de l'énergie due, notamment, au conflit entre la Russie et l'Ukraine. La question énergétique n'est pas la seule difficulté. Il faut noter également la production de volumes énormes de déchets solides se chiffrant en milliards de tonnes, ce qui présente des risques pour l'homme et l'environnement. Risques qui seront présents pendant des siècles encore après l'arrêt des activités de production.

La globalisation de la chaîne de valeur et la standardisation des produits commercialisés ont permis une production de plus en plus massive des biens de consommation et des services principalement depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. Nous avons donc de plus en plus besoin de matériaux pour produire ces biens comme les batteries des voitures électriques, les composants électroniques des smartphones ou des appareils de radiographie, *etc.* Stéphane Bourg précise que le besoin s'intensifie du fait de la compétition entre les différents secteurs industriels, technologiques et stratégiques sur plusieurs types de matériaux avec des modes de production différents. En plus d'être rares (exemple des terres rares) ces matériaux ne sont, la plupart du temps, pas renouvelables. Cette pénurie est encore aggravée par le déséquilibre entre l'offre et la demande.

Stéphane Bourg a mis en avant la corrélation entre l'augmentation de la population, le besoin d'énergie et de matières premières, ainsi que la quantité de gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère : toutes ces données suivent la même courbe dévolution.

Il a également mis en évidence l'énorme quantité d'énergie requise pour l'extraction des minerais et pour leur raffinage. Il précise que 10 % de l'énergie primaire mondiale consommée provient de ces procédés. À cela s'ajoute l'énergie utilisée pour expédier les matériaux vers les usines de fabrication (par exemple des éoliennes ou des cellules PV). Stéphane Bourg donne l'exemple du lithium pour les batteries qui est extrait dans les Salars (notamment, en Bolivie), raffiné en Chine, puis, transformé au Japon. Ainsi, il aura parcouru 50 000 kilomètres, soit plus que la distance que parcourra la voiture électrique avec ladite batterie au lithium ! Ces procédés sont certes moins carbonés que ceux qui fonctionnent avec des énergies fossiles, mais le bilan environnemental reste encore assez élevé si l'on prend en compte l'ensemble du cycle de vie.

Dans *La guerre des métaux rares* (2018), Guillaume Pitron note le risque suivant : « sous couvert de mutation écologique, de nouveaux monstres environnementaux indésirables sont enfantés et réactivent des tensions en créant une guerre de métaux rares ».

Stéphane Bourg évoque une consommation de matière première de 60 gigatonnes par an à l'échelle mondiale et un doublement est attendu d'ici 2060. Principalement sable, graviers, roches concassées, puis métaux, calcaire, bois, pétrole et agro-alimentaire. Il ajoute qu'il existe, suivant les matériaux, de fortes disparités de réserves et de ressources. Il met également l'accent sur la forte dépendance en matériaux qui existe sur un nombre limité de pays, comme le montre le graphique suivant.

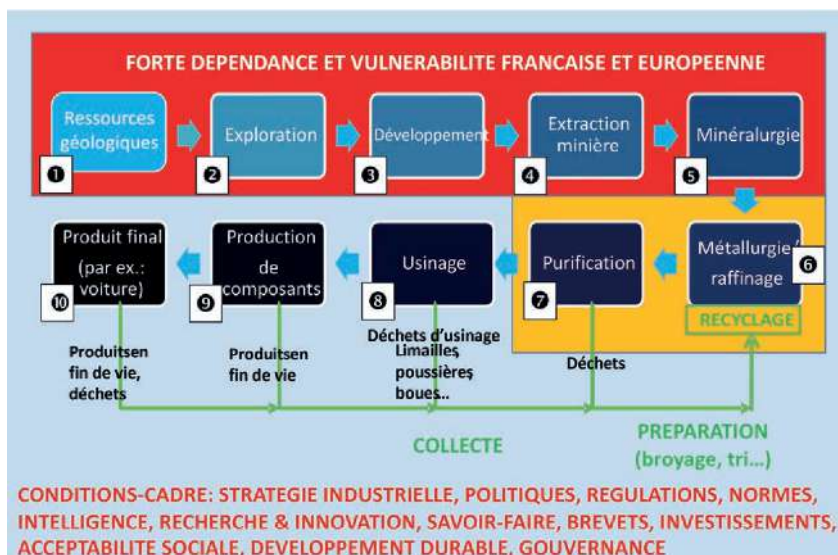


Figure 1. Dépendance et vulnérabilité française et européenne
 © Stéphane Bourg (source : modifié d'après Patrice Christmann et Yves Jégourel, 2020, p. 8).

Il précise que la France et l'Europe sont particulièrement impactées par ce phénomène, puisqu'elles produisent très peu des matières premières dont elles ont besoin. Par ailleurs, quand bien même elles voudraient les produire localement, les ressources sont rarement disponibles sur territoire européen.

Progresser dans le recyclage des déchets constitue un fort enjeu écologique dans un monde où le prélèvement des ressources naturelles s'accélère. C'est également un enjeu géostratégique pour la France et, plus largement, pour l'Europe comme nous avons pu le voir. C'est, de plus, un enjeu économique et social, car la production par recyclage de matières premières à partir des déchets est créatrice de valeur et d'emplois.

Stéphane Bourg explique que le recyclage des matériaux est très complexe, notamment, parce qu'ils peuvent être recyclés physiquement, mais pas forcément fonctionnellement. Il cite l'exemple du cuivre. Celui-ci atteint de bons niveaux de recyclage, entre 20 et 60 % suivant les modes de calcul. Mais le cuivre ainsi obtenu n'est pas pur. C'est un mélange de métaux, refondus donc dégradés qui n'ont pas les propriétés et caractéristiques nécessaires pour une fonction particulière et ne répondent pas aux exigences de qualité de la réglementation.

À ce sujet, Stéphane Bourg a présenté le contexte législatif dans ces domaines : lois, stratégies et réglementations françaises, avec pour exemple la Stratégie Nationale Bas-Carbone, la stratégie française énergie-climat, la programmation pluriann-

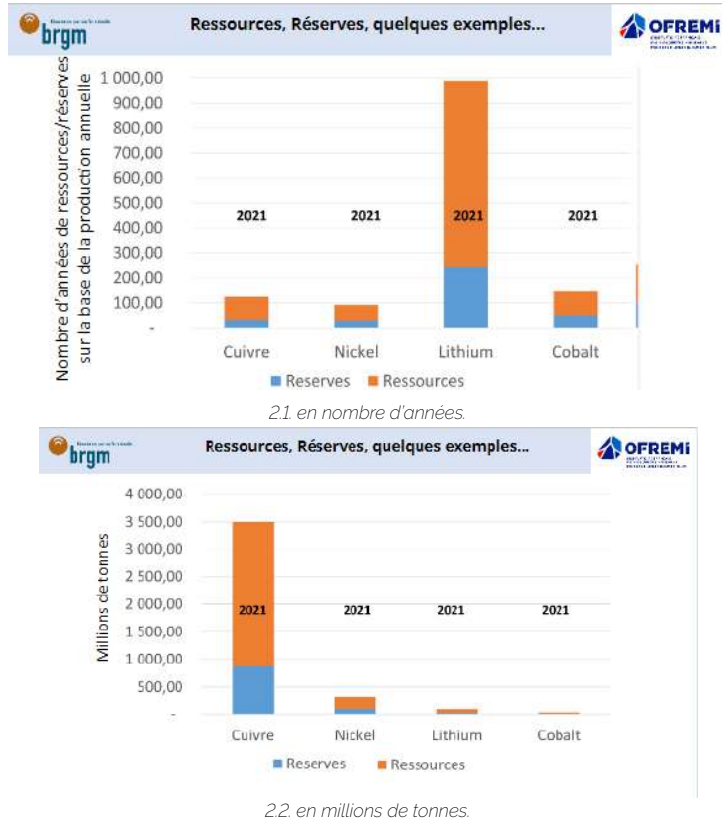
nuelle de l'énergie, la feuille de route d'économie circulaire et la disparition des voitures thermiques en 2035, etc.

1.1.2. Solutions

L'anticipation de l'offre et la demande en matériaux

Les dirigeants d'entreprises du bâtiment subissent de plein fouet la pénurie des ressources et des matériaux ainsi que la hausse des prix dans un contexte sanitaire et de géopolitique compliqué, évoqué précédemment. Beaucoup ne peuvent pas répercuter cette hausse sur leurs prix de vente. Des compromis ont pu être trouvés avec leurs donneurs d'ordre mais il a fallu qu'ils baissent leur marge brute, avec perte de rentabilité et de certains projets. Encore plus difficile à accepter quand les clients sont là...

Figure 2. Disparités entre ressources et réserves © Stéphane Bourg/BRGM, OFREMI, 2023.



Afin de faire face autant que possible à la pénurie de matériaux, Stéphane Bourg explique qu'il est nécessaire de quantifier les risques, notamment, en analysant l'offre et la demande et en instaurant un suivi des filières d'approvisionnement des mines vers les minéraux et ainsi donner des alertes si nécessaire.

Sa démonstration se base sur les exemples du cuivre, du nickel, du lithium et du cobalt par des graphiques qui mettent en évidence de grandes disparités de réserves et de ressources suivant les matériaux. Il a également démontré qu'il est encore plus important de s'intéresser aux réserves plutôt qu'aux ressources et de croiser ces projections avec celles de la demande future pour mieux anticiper les pénuries et réagir de façon adaptée. Ainsi c'est le croisement entre les projections des réserves et de la demande qui permettra d'estimer les besoins. De cette manière, le nombre d'années de réserve des minerais pourra être déterminé de façon plus pertinente ce qui permettra d'anticiper d'éventuelles ouvertures de mines et de préparer des scénarios de transition.

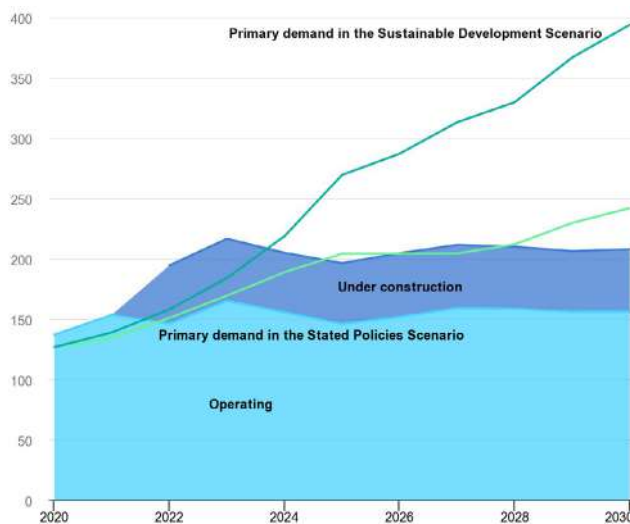


Figure 3. Production minière engagée et demande primaire de cobalt, 2020-2030 © IEA, 2021, CC BY-SA 4.0.

Cette méthode est d'autant plus pertinente que les ouvertures de mines sont longues à mettre en place, environ 16 ans en moyenne (5 ans pour les Salars). Les conséquences peuvent être lourdes lorsque les perspectives de demande dépassent les estimations de réserves et de production futures. Et c'est justement le cas pour l'ensemble des matériaux cités. Donc, si l'on n'intensifie pas les projets miniers, il y aura une pénurie de matériaux.

Stéphane Bourg se montre cependant rassurant, en précisant que « lorsque l'on a besoin de quelque chose on le cherche, quand on le cherche on le trouve et lorsque l'on y met les moyens on arrive à le produire ». Sous réserve évidemment d'en avoir la capacité financière et de posséder les technologies innovantes adaptées. Il ajoute que la production secondaire à partir de déchets n'a de sens que si elle répond à un besoin, avec une valeur ajoutée pour les industries existantes.

La gestion de la chaîne de valeur

La quantité massive d'énergie nécessaire à l'extraction et au raffinage des matériaux, la dépendance des matériaux sur un nombre limité de pays, les compétitions entre secteurs industriels, technologiques et stratégiques et la complexité de la chaîne de valeur contribuent massivement aux émissions de carbone. Cette complexité est mise en évidence par Stéphane Bourg qui précise qu'il peut y avoir 15 à 20 intermédiaires entre la mine et le vendeur (de voitures par exemple). Cela incite à mieux comprendre, analyser et gérer l'organisation de la chaîne d'approvisionnement et de valeur.

Ainsi, il faut chercher à produire localement et non à faire assembler des produits à l'autre bout du monde. Prenons l'exemple de la Chine qui en 40 ans a su passer d'un pays minier à un pays vendeur de technologies de pointe et de produits finis. Or, même si demain nous arrivions à produire du lithium, nous n'aurions pas la capacité industrielle de le transformer. Cela est d'autant plus préjudiciable que « la vraie valeur est dans la fonction, elle n'est pas dans la mine, mais dans le produit fini ». En passant de la matière aux composants, le chiffre d'affaires peut être multiplié par dix, ainsi la valeur ajoutée est-elle souvent dans la fonction ultime. Une réindustrialisation de la France et de l'Europe est donc nécessaire.

Aujourd'hui l'urgence est également dans la sécurisation de la chaîne d'approvisionnement. Dans le but de rassurer les investisseurs, les industriels doivent comprendre et connaître les critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG). La crise russo-ukrainienne a mis en avant cette nécessité. Dans ce contexte, les constructeurs se sont rendu compte qu'au rang N-3 et N-4 des approvisionnements les matières venaient de Russie et que même en passant par un autre fournisseur, les rangs N-5 et N-6 pouvaient également provenir de Russie. Cela met en évidence le manque de traçabilité de la chaîne d'approvisionnement entre les produits intermédiaires semi-finis et les produits finis.

Ainsi, pour les entreprises, l'heure est à l'anticipation, la diversification des approvisionnements, la fluidité de l'organisation des achats, la constitution de stocks, la recherche d'alternatives, en privilégiant les filières les plus locales et responsables lorsque c'est possible. Des outils numériques sont aujourd'hui disponibles pour mieux

planifier les chantiers et planifier les délais d'approvisionnements en matériaux pour limiter les retards.

Stéphane Bourg précise qu'il faut également utiliser les matières stratégiques à leur juste besoin avec une consommation responsable, une économie de fonctionnalité et penser au recyclage.

Le recyclage des matériaux

Le recyclage des matériaux peut répondre à une perspective de long terme et aux enjeux écologiques incontournables, aussi bien au niveau international que local. Le recyclage participe à l'économie des matières premières naturelles et peut sécuriser l'approvisionnement et diminuer les impacts environnementaux.

Ainsi, selon le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, une stratégie d'accélération de la recyclabilité, du recyclage, de la réincorporation des matériaux recyclés a été lancée dans le cadre de France 2030. Cette stratégie vise à améliorer la performance des marchés des matières premières de recyclage en identifiant les freins et les leviers d'action à mettre en place aux différentes étapes de la chaîne de valeur du recyclage.

Mais comme l'a précisé Stéphane Bourg dans sa conférence, le recyclage des métaux est très complexe du fait des difficultés à les recycler, pas uniquement, du point de vue physique, mais aussi, fonctionnel.

Ainsi, la demande reste-t-elle très difficile à prévoir et la capacité à répondre aux besoins futurs reste limitée. Stéphane Bourg a démontré un taux de réponse au besoin futur théorique de 12,5 % sur le recyclage des batteries de voiture même si nous réussissions à les recycler à 100 % aujourd'hui. Le reste des matériaux nécessaires devra donc provenir des mines. Et rien ne garantit que les batteries du futur fonctionneront avec les mêmes technologies et les mêmes matériaux. De cette manière, il en a conclu que « le recyclage des matières premières peut aider à réduire la dépendance mais pas à gagner l'indépendance ».

Ainsi, il faut tendre vers un *business model* pertinent en s'assurant du bon niveau de transformation des matériaux et de la concordance du temps et des flux.

Un recyclage où les industriels feraient abstraction du coût des matières premières en les remettant directement dans leur circuit et en restant propriétaires de celles-ci peut être une solution efficace. Par exemple, Renault reste propriétaire de ses pots catalytiques de la casse de la voiture jusqu'à sa re-fabrication.

Selon le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, il est nécessaire de renforcer la filière française du recyclage en développant une offre de matières premières de recyclage et en augmentant leur réincorporation dans les produits en substitution des matières premières vierges.

Il faut réindustrialiser et ainsi disposer des capacités industrielles capables de transformer l'ensemble des déchets que nous produisons en matières premières de recyclage faute de disposer de débouchés pérennes. Ainsi, le développement et le renforcement de filières de recyclage performantes et compétitives constituent une opportunité pour répondre aux enjeux évoqués.

L'importance de la réglementation pour atteindre les objectifs

La réglementation peut donner un cadre sécurisant et limiter les impacts environnementaux liés à l'extraction et au raffinage des matériaux. Mais la législation peut également prévoir des programmes d'investissement conséquents en favorisant la levée des fonds nécessaires pour atteindre ces objectifs.

Ainsi comme le précise le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, des soutiens financiers massifs pour la recherche, développement et innovation permettent de mettre au point des solutions de recyclage plus performantes. Des soutiens portent également sur la formation et le développement des compétences et sur le déploiement industriel. Ces aides pourront soutenir la conception de produits plus facilement recyclables pour arriver à un résultat d'avantage fonctionnel. Elles aideront également pour la collecte, le tri des déchets et leur démantèlement qui réduiront le coût de mise à disposition de la matière aux acteurs industriels situés plus en aval dans la chaîne de transformation des déchets en nouvelles matières premières.

1.2. Le cas particulier de l'eau

Le thème de l'eau n'ayant été traité de manière spécifique et détaillée par aucun des conférenciers durant cette journée du 7 avril 2023, il nous a semblé nécessaire de faire une brève incursion sur ce sujet que nous considérons comme très important.

1.2.1. Constats

L'eau une denrée rare

La Terre est composée de presque 2/3 d'eau et est appelée la Planète Bleue. Cela peut paraître rassurant au premier abord quant à sa capacité à nous fournir de l'eau à l'infini. Mais il n'est rien.

En effet, seule une très petite partie de l'eau douce à la surface et souterraine est utilisable pour les activités humaines. Cette fraction ne représente que 0,1 % de la totalité de l'eau se trouvant sur Terre selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), et aujourd'hui le constat est dramatique ! Toujours selon l'OMS, 30 % de la population mondiale, soit 2,1 milliards de personnes, n'ont pas accès à des services d'alimenta-

tion domestique en eau potable. 4,2 milliards sont privés de systèmes d'assainissement gérés de manière sécurisée.

Le réchauffement climatique, l'agriculture intensive, la surexploitation des nappes par pompage, l'artificialisation des sols provoquant l'imperméabilisation des sols, la déforestation entraînent une désertification et provoquent des épisodes de sécheresse de plus en plus violents, ainsi qu'un stress hydrique de plus en plus fort, ce qui dégrade durablement les réserves d'eau. Avec une prévision d'augmentation de plus de 2 °C en moyenne à l'horizon 2050 à la surface de la Terre, le Forum économique mondial a classé ce phénomène comme l'un des risques mondiaux les plus importants dans les années à venir.

Plus localement, la France reçoit 440 milliards de m³ d'eau par les précipitations, 61 % s'évaporent, 16 % alimentent les cours d'eau et 23 % s'infiltrent dans le sol. Les ressources en eau disponibles s'élèvent à environ 170 milliards de m³. Si cela peut paraître rassurant. Cependant, les situations diffèrent suivant les régions et les saisons. *In fine*, seule une fraction minoritaire de cette eau douce est destinée à l'activité humaine, soit 34 milliards de m³ selon l'Agence de l'eau.

Par ailleurs, le secteur du bâtiment étant un fort consommateur d'énergie avec 43 % des consommations énergétiques en France, il contribue à une consommation d'eau très élevée. En effet, selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), 400 milliards de m³ d'eau sont prélevés par les industries de l'énergie. Cela représente 10 % de la quantité totale utilisée par l'homme soit 3 % de la consommation mondiale après restitution au milieu naturel.

L'eau et l'exploitation minière

L'exploitation minière pour la production des matériaux génère une forte pollution de l'eau (pollution par les métaux), ainsi que l'augmentation des niveaux de sédiments dans les cours d'eau et le drainage minier acide. Les mines souterraines, les bassins de décantation, les zones de dépôt de déchets, les usines de traitement, les routes actives ou abandonnées génèrent également une pollution de l'eau.

Consommation d'eau

Aujourd'hui encore de nombreux acteurs agissent comme si cette ressource naturelle vitale était inépuisable ! Il est donc urgent de mettre la gestion de la consommation d'eau au cœur des réflexions.

Durant toute sa durée de vie, un bâtiment est un très gros consommateur d'eau : en phase amont, pour produire l'énergie dont il a besoin, pour la production des matériaux qu'il utilise, durant la construction sur site et pendant sa phase d'exploitation. À chaque étape, les pertes et les surconsommations sont énormes. Des procédés doivent être mis en place pour limiter le gaspillage.

Qualité de l'eau

Mais au-delà de la quantité d'eau consommée ou gaspillée, la qualité de l'eau est également un facteur à prendre en compte. Les eaux polluées, en ruisselant, contaminent les cours d'eau et les nappes phréatiques et dégradent les milieux naturels et la biodiversité. La gestion des eaux polluées doit donc être repensée de manière à limiter la consommation d'eau et à préserver l'environnement.

1.2.2. Solutions

Limiter la consommation d'eau dans le bâtiment

Consommation d'eau et énergie. Pour limiter la consommation d'eau, il est important de favoriser les processus les moins consommateurs d'eau dans le mix énergétique. La mise en place de dispositifs de récupération d'énergie fatale et le réemploi peuvent également être une manière de limiter considérablement la consommation d'eau.

Construction et bâtiment. C'est en produisant mieux que nous pourrions plus facilement limiter les pénuries. La conception des matériaux, la fabrication de béton, l'usage de l'eau sur les chantiers sont autant de processus contribuant à une forte utilisation de l'eau qui nécessite une sobriété hydrique au niveau de la conception et des usages.

De ce fait, des solutions voient le jour notamment par le biais de filières « sèches ». Les matériaux de construction peuvent être améliorés en se distinguant par leur « sobriété hydrique ». L'écoconception doit prendre en compte l'empreinte environnementale et l'éco-efficience permettra également de choisir des dispositifs et technologies qui rationalisent les consommations de ressources eau, énergie et autres consommables.

Le gaspillage d'eau sur les chantiers (42 % selon le guide du bâtiment durable) peut être considérablement limité grâce à des équipements de chantier, des outils adaptés et la sensibilisation des ouvriers. Il faut définir des objectifs de consommation d'eau dans les programmes d'exigences en assurant le bon suivi par un coordinateur environnemental.

Sensibilisation des citoyens. Un diagnostic des usages ainsi que des guides pour maîtriser la consommation peuvent permettre de réaliser des économies d'eau et limiter le gaspillage. L'utilisation de nouveaux outils numériques comme des capteurs intelligents, le *smart building* ou les jumeaux numériques pourraient permettre une meilleure gestion des consommations d'eau dans les bâtiments.

Quelques pistes pour la gestion de l'eau dans l'exploitation minière. Les méthodes d'élimination des résidus par les avancées technologiques qui permettent d'éviter les dépôts traditionnels de résidus de boue non épaissie au profit de l'empilage à sec sont une avancée sur la gestion et la conservation de l'eau et la limitation des risques

de rupture de barrage. Des solutions numériques permettent d'élaborer des systèmes de surveillance en temps réel sur site pour surveiller la charge de contaminants et pour évaluer les rendements des systèmes de gestion des eaux. Pour soutenir les efforts de l'industrie, le Conseil international des mines et métaux (ICMM) a élaboré un « cadre de gouvernance de l'eau » qui fournit des conseils de haut niveau sur la gestion responsable de la ressource.

Comment réemployer et valoriser l'eau

Pour accompagner un changement de modèle vers une économie circulaire appliquée à l'eau, des dispositifs peuvent être mis en place afin de récupérer la chaleur fatale des eaux usées traitées ou non et le réemploi des eaux utilisées au sein de procédés industriels. L'accent pourra être également mis sur la récupération des ressources ajoutées à l'eau pendant son usage avant qu'elle ne soit rejetée dans la nature.

Les stations d'épurations écoresponsables. L'ONU ayant classé l'eau potable et l'assainissement comme le 6^e objectif de la crise mondiale de l'eau, nous avons trouvé intéressant de nous rendre le 15 avril 2023 à l'inauguration d'une station d'épuration¹ dite « éco-step ». Il s'agit d'une station d'épuration à haute performance et peu énergivore contrairement à celle utilisant des procédés chimiques. Cette station se situant dans une zone classée, elle nécessite l'utilisation de procédés biologiques assurant le rejet d'une eau dans la nature de qualité suffisante pour ne pas perturber l'écosystème.

Dans un schéma d'économie circulaire, ses bassins de roseaux avec leur filière boue utilisent un procédé biologique qui permet de réutiliser les flocs en épandage fertile pour l'agriculture locale. De plus, un bassin d'orage pour la gestion des eaux par fort temps de pluie évite le débordement de collecteurs d'eau polluée vers les rivières.

L'eau et la réglementation

Il pourrait être exigé des normes sur les teneurs en polluants des eaux rejetées, notamment par les industriels qui pourraient traiter une partie de l'eau sur site de production.

Il faut également concilier eau et urbanisme dans les réglementations afin de lutter contre la disparition des milieux naturels liés à l'imperméabilisation et l'expansion massive des surfaces issues de l'étalement urbain qui contribuent à une forte consommation d'eau. La ZAN va bien évidemment dans ce sens. Les documents d'urbanisme pourront identifier et protéger les trames vertes et bleues, classant les zones humides en zones naturelles inconstructibles, ainsi que le bon dimensionnement

1• Inauguration de station d'épuration « éco-step » le 15 avril 2023 à Dammarville-sur-Tigeaux, en présence de Sandrine Rocard, directrice de l'Agence de l'eau Seine-Normandie et Philippe Fourmy Reux, vice-président en charge de l'assainissement et de l'eau potable.

des stations d'épuration existantes et/ou à créer avant de permettre de nouvelles constructions est nécessaire.

Il est important de faciliter la conciliation des politiques d'aménagement du territoire avec celles de l'eau et tisser un lien entre les acteurs de l'eau et ceux de l'urbanisme. En particulier entre le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) et le schéma de cohérence territoriale (SCOT), ou encore, les plans locaux d'urbanisme (PLU) intercommunaux pour sensibiliser les acteurs aux thématiques de l'eau dans l'élaboration des documents.

Ainsi, les autorités légifèrent, par exemple, pour limiter l'étalement urbain qui contribue à l'artificialisation des sols en se dirigeant vers une densification urbaine. Cela aura pour conséquence de limiter le déploiement des réseaux, donc la consommation d'eau, que ce soit pour la construction ou la maintenance des réseaux. Mais la densification urbaine est-elle toujours pertinente ?

2. Les enjeux de la limitation de la sobriété foncière et ses limites

Pour comprendre la croissance urbaine, cette dernière doit être analysée sous le prisme de l'évolution démographique, des multiples recompositions sociales et économiques qui ont influencé notre manière de concevoir la ville. L'immobilier et l'étalement urbain ont un impact considérable sur l'environnement dû à l'artificialisation des sols, la consommation de matières premières, l'énergie grise et les émissions de CO₂.

La croissance urbaine a aussi un impact sur les flux d'énergie, de matières, de déchets et les besoins de transport des personnes et des marchandises. Aussi, le secteur de la construction est le principal consommateur foncier si l'on prend en compte les surfaces bâties, mais aussi, toutes les surfaces nécessaires à l'approvisionnement des ressources, comme les carrières, les sablières *etc.*

Selon l'ONU (2018), nous sommes arrivés à un point de bascule. D'ici 2050, nous passerons de 55 % d'urbanisation à 68 %. Bien que la population actuelle ne soit qu'en légère croissance avec une augmentation de la population française de seulement 0,3 %, nous continuerons de construire car nous avons encore besoin de logements, d'équipements et de surfaces commerciales. Dans les cinq dernières années, Philippe Bihoux rappelle que 350 000 logements en moyenne ont été créés alors que la population française n'a augmenté « que » de 165 000 personnes. Anomalie ou paradoxe ?

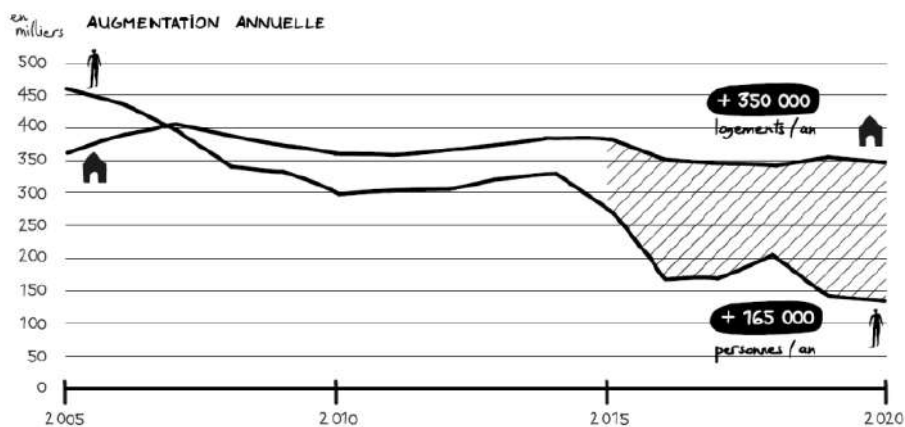


Figure 4. Évolution de la population vs évolution du parc de logement
© Philippe Bihouix, Sophie Jeantet et Clémence de Selva, 2022, p. 11).

Ce paradoxe s'explique par plusieurs causes, notamment, par l'effet de décohabitation et de métropolisation, des recompositions sociales et économiques, ainsi que des évolutions sociologiques qui tendent à la réduction de la taille des ménages. Ainsi, selon Philippe Bihouix, nous sommes passés de 3,1 personnes par foyer en 1960 à 2,2 personnes aujourd'hui. Ce constat a pour effet l'augmentation du besoin en logement. De plus, il met en avant une évolution du parc de logements vacants français, avec une augmentation de 30 % sur les quinze dernières années pour atteindre aujourd'hui un taux de vacance de 8,3 % en moyenne. Les résidences secondaires (3,6 millions) et les logements en sous occupation (8 millions) expliquent en partie cet écart entre augmentation de la construction neuve et faible croissance démographique.

L'étalement urbain découle de la périurbanisation pavillonnaire qui a favorisé, entre autres, la consommation de terres agricoles et le développement de la voiture individuelle. La densification urbaine concerne surtout les grandes villes qui ont une forte attractivité. Il y a un effet de métropolisation et, dans le même temps, les villes petites et moyennes ont vu leurs centres désertés et leur population décroître.

2.1. La densité multiple

Les réflexions autour de la question de l'étalement urbain apparaissent aux États-Unis dans les années 1950 et sont introduites en France dans les années 1960. Elles faisaient référence à la motorisation des ménages, à l'éloignement des commerces et à la maison individuelle, pavillonnaire. Dans les années 1970, on constate une prise de conscience des effets néfastes de la motorisation, avec une dépendance aux éner-

gies fossiles accentuée par les deux chocs pétroliers. La prise de conscience des préoccupations environnementales et du développement durable aboutit à l'intégration de ces notions dans les politiques publiques. Les travaux de Newman et Kenworthy (1989) sur les villes et la dépendance automobile prennent en compte pour la première fois les formes urbaines et son étalement, ainsi que l'utilisation de la voiture. Moins les villes sont denses, plus leur dépendance aux véhicules automobile est forte, avec pour conséquence des difficultés sur l'organisation des transports en commun.

Ainsi, la ville dense et compacte devient un des nouveaux objectifs des politiques environnementales et d'urbanisme, même si de nombreuses limites méthodologiques et d'interprétation de la « courbe de Newman et Kenworthy » sont évoquées dans divers travaux (Desjardins, 2010).

Toutefois, la densification reste une solution pour diminuer l'usage intensif de la voiture individuelle en encourageant le développement et l'usage des transports en commun. Aussi, la densification permet également de maîtriser l'étalement urbain et de réduire l'artificialisation des sols, ce qui par voie de conséquence, réduit la consommation d'espaces agricoles ou naturels.

D'autres bénéfices peuvent être également cités dans le cadre d'une politique de densification à l'échelle intercommunale. En effet, cela permettrait de développer l'efficacité des différents services nécessaires à la ville, rationaliser l'usage des ressources, tout en offrant des opportunités économiques, sociales et culturelles.

Par ailleurs, il existe différents types de densité à prendre en compte :

- la densité de population : nb d'habitants / km² ;
- la densité d'activité humaine : nb d'habitants + emplois / km² ;
- la densité résidentielle : nb de logements / km² ;
- le coefficient d'emprise au sol : % de sol bâti ;
- la densité bâtie : rapport surface construite / parcelle.

L'objectif de la densité était, avant tout, de favoriser la compétitivité économique entre les métropoles, afin de favoriser l'innovation et attirer de nouvelles populations. Cependant, la course à l'attractivité territoriale peut avoir des effets négatifs. Analyser les différents types de densité permet de prendre du recul sur le concept général de densité et tendre finalement vers un équilibre et vers un concept de ville durable ou ville désirable (Chartier, 2023).

Le discours sur la ville durable et désirable est complexe et rempli d'injonctions contradictoires. En effet, selon Philippe Bihouix, il y a des seuils de contre-productivité à prendre en compte, comme, notamment, les besoins déportés hors des villes, la mobilité accrue avec « l'effet barbecue », les vulnérabilités, le problème des ressources importées et, par conséquent, les énergies grises. Le métabolisme des

viles denses du XXI^e siècle génère des externalités négatives, une dépendance énergétique et alimentaire forte et ne favorise ni la sobriété ni le recyclage des déchets autant qu'on aurait plus l'espérer. Ce modèle poussé à l'extrême conduit inévitablement à la dégradation de l'environnement et à l'épuisement des ressources. Prenons l'exemple de Paris en analysant ses flux entrants et sortants. On observe alors que sa consommation de matière annuelle visible, c'est-à-dire, à l'intérieur du territoire, est de 6,5 tonnes par habitant selon l'Agence parisienne du climat. Si l'on ajoute à cela les consommations non visibles qui viennent de l'extérieur du territoire nécessaires à la production finale, nous passons à 20 tonnes par habitant. Un Francilien consomme donc trois fois plus à l'extérieur de la ville qu'à l'intérieur ! Paris dépend donc aujourd'hui entièrement des importations pour son fonctionnement. Le modèle de ville-monde attractive et dynamique qui attire les populations atteint ainsi ses limites.

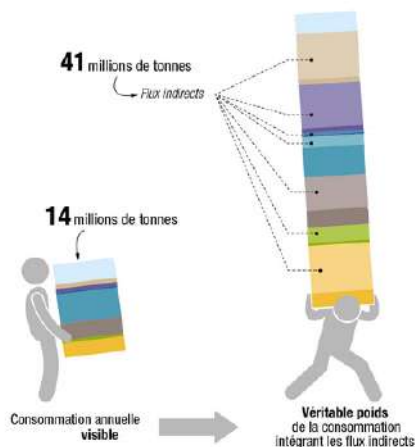


Figure 5. Consommation de combustibles fossiles et dérivés en Île-de-France en 2015 en flux directs et flux indirects
© Institut Paris Région/Agence régionale énergie-climat, 2019 (données : Vincent Augiseau et Sabine Barles, 2018).

2.2. De la ZAN à ZAB : vers la ville stationnaire

La zéro artificialisation nette (ZAN) est un marqueur d'un volontarisme politique de l'État central, mais sa mise en œuvre est complexe. La trajectoire d'une réduction forte de terres consommées par l'urbanisation puis de la compensation résiduelle sans toucher au volume de la construction est un pari complexe selon Philippe Bihoux. La réduction est au centre des objectifs, en densifiant suffisamment par l'expansion d'espaces existants et par la rénovation urbaine. Cependant des aspirations contradictoires existent

entre la densification et la renaturation des villes. Pour réaliser la compensation exigée par la ZAN il faudra trouver suffisamment de foncier à renaturer et faire fonctionner les mécanismes de restauration des points de vue écologique, physique, économique et réglementaire.

Toujours selon Philippe Bihoux, il pourrait être intéressant de mettre en avant la notion de zéro artificialisation brute (ZAB) pour permettre la protection de tous les sols agricoles comme urbains. Le concept de «ville stationnaire» peut être pertinent selon lui car il permet de conceptualiser la fin du grignotage des terrains en se concentrant sur le renouvellement et la densification. Cela permet *in fine* de mesurer l'embellissement, la réparation sur les entrées des villes, les zones commerciales, les zones d'activités et le quartier. Un adage est mis en avant pour expliciter cette idée : «La bonne taille, c'est celle dont on hérite», ainsi nous devons apprendre à prendre soin et à transmettre notre héritage urbain.

La ville stationnaire n'est pas figée. Cependant, il faut être proactif et utiliser diverses opportunités comme le gisement de densification, les friches urbaines, industrielles et ferroviaires et les futures friches provoquées par les mutations en cours ou à venir comme les parkings, ou encore, les centres commerciaux. Ces opportunités doivent aussi répondre à la pression immobilière par plusieurs moyens comme l'intensification d'usage des bâtiments existants et des espaces publics.

Permettre la ville stationnaire, c'est aussi libérer la ville de l'injonction de croissance et de pression de la métropolisation, en réfléchissant aux potentiels de redistribution des populations urbaines. Il est important que les métropoles s'essaient, portées par les puissances publiques qui devront favoriser et accompagner le changement par une nouvelle décentralisation, une redistribution progressive de la population vers les villes moyennes, les bourgs, les villages et les campagnes.

2.3. Contribuer à la ville vertueuse

Pour contribuer à la ville vertueuse, il est nécessaire de construire moins, de rénover davantage et d'investir dans plus de moyens humains et financiers pour mener à bien un programme de rénovation thermique. En effet, dans le secteur du bâtiment, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) prévoit une baisse de la consommation d'énergie de 40 % entre 2015 et 2050. Plusieurs scénarii ont été mis en avant autour de la transition énergétique. RTE prévoit un parc entièrement au niveau Bâtiment bas-carbone (BBC) en 2050. L'ADEME (2021), quant à elle, envisage des scénarii «génération frugale» et «coopération territoriale» visant 80 % de BBC en 2050.

Cependant, cette croissance rapide est à relativiser. En effet, on a pu observer que le budget carbone de la SNBC a été dépassé. Il est compliqué de mobiliser les propriétaires et les copropriétés à s'engager dans diverses démarches de rénovation.

De plus, il existe un cruel manque d'artisans dans ce secteur. Il est primordial d'inciter à redéployer les moyens de tout le secteur de la construction neuve sur la transformation, la réhabilitation et l'entretien pour entrer dans un nouvel âge, celui de la maintenance.

Par ailleurs, il est nécessaire d'embellir et de réparer les villes. En effet, selon Christine Leconte et Sylvain Grisot (2022), des démarches systémiques et holistiques doivent se croiser pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Ces améliorations passent par diverses actions telles que la végétalisation, la renaturation, la désimperméabilisation des sols, la réduction des zones bitumées de parking et incitent, *in fine*, à la démobilisation. Elles visent une densification légère, contribuent à rendre aux habitants les espaces publics plus attractifs et traiter les qualités de façades des habitants en post-rénovation thermique. Enfin, apaiser c'est aussi adapter la ville à son métabolisme urbain. Citons à nouveau la présentation Hélène Chartier (*op. cit.*) sur ces sujets.

2.4. Les limites de la ville intelligente

L'utilisation du numérique au niveau des équipements présente certains avantages, notamment en ce qui concerne la limitation des quantités d'énergie consommées lors de l'utilisation du bâtiment par ses utilisateurs. Toutefois, il est important de bien considérer le rapport coût/bénéfice et l'effet rebond. Attention également à la quantité d'énergie externalisée et les impacts indésirables sur l'environnement. On cite souvent l'exemple des *data centers* qui sont externalisés et consomment des quantités gigantesques d'énergie.

3. Transition énergétique et nucléaire

3.1. Le secteur énergétique français

3.1.1. Importance du volet énergétique dans les émissions de gaz à effet de serre

Si la consommation d'énergie est, de loin, la principale cause d'émission de gaz à effet de serre en France (70 % des émissions en 2020), la production et le traitement de l'énergie représentent à elles seules 9 % de ces émissions, et tiennent ainsi la 4^e place des secteurs les plus émissifs.

Principalement composées de CO₂, ces émissions sont liées aux procédés pour l'extraction et la transformation de produits énergétiques. Elles sont principalement réparties entre l'industrie pétrolière et gazière (raffinage et transport), du charbon, de l'incinération des déchets, du nucléaire (traitement et transport), de l'hydraulique,

de l'éolien, du photovoltaïque. Ainsi, au même titre que l'industrie manufacturière et celle de la construction (qui représente 12 % des émissions de gaz à effet de serre), la production et le traitement de l'énergie constituent un levier potentiel de réduction d'émission de gaz à effet de serre.

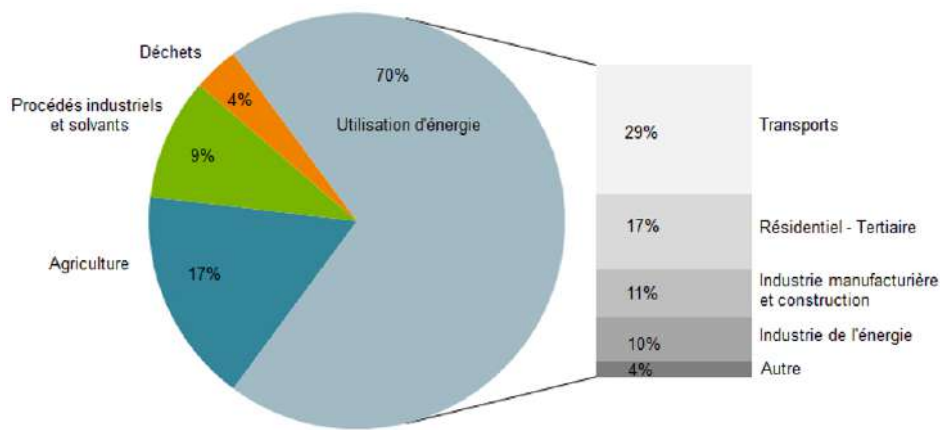


Figure 6. Répartition des GES par sources d'émissions, hors UTCATF, en France métropolitaine et outre-mer
© Commissariat général au développement durable, 2021 (données : Citepa, 2023).

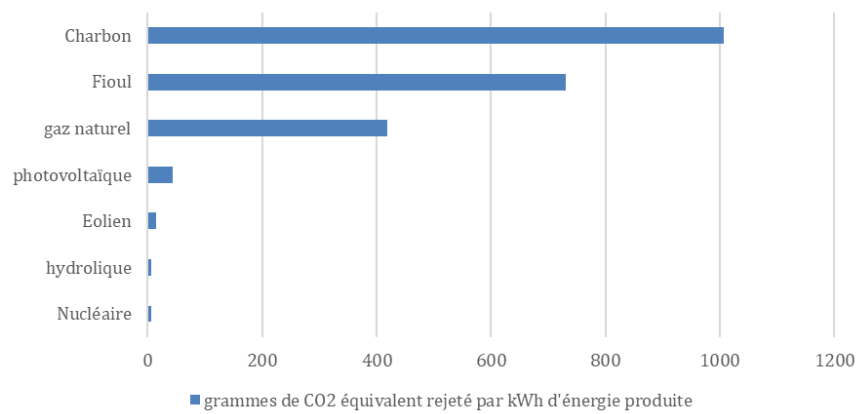


Figure 7. Émission de CO₂ par type de production d'énergie (source : ADEME, Base carbone, 2022).

Le choix du type de production d'énergie est donc déterminant sur la quantité de gaz à effet de serre émis. Ainsi, d'après la base carbone de l'ADEME², la quantité

2. ADEME, Base Carbone. Voir : <https://data.ademe.fr/datasets/base-carboner>.

de CO₂ équivalent (CO₂eq) rejetée par kWh produit va de 0,006 kg/kWh (énergie hydraulique et nucléaire) à 0,73 kg/kWh pour le fioul ou 1,06 kg/kWh pour le charbon (notons 0,418 kg/kWh pour le gaz naturel, expliquant en partie l'engouement des années 2010 pour cette ressource ; 0,015 kg/kWh pour l'éolien et 0,0439 kg/kWh pour le photovoltaïque).

3.1.2. Production d'énergie et enjeux de la transition énergétique

La nécessité de maintenir une production énergétique électrique sur le sol national, pour assurer et maintenir le modèle social et économique dans lequel nous vivons, rend ce secteur central dans les politiques publiques de transition énergétique.

Toutefois, bien avant l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, l'augmentation du prix des énergies fossiles dans la continuité des chocs pétroliers des années 1970, a rendu nécessaires des réflexions globales sur le secteur de la production de l'énergie. Encouragé par des impératifs économiques, puis rendu nécessaire par la loi (la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, le développement à grande échelle de solutions de production d'électricité à faible émissivité de gaz à effet de serre s'est accéléré ces 20 dernières années. Soit en améliorant l'efficacité de modèles connus (nucléaire), soit en déployant des projets locaux adaptés (géothermie, pompe à chaleur, etc.).

L'avènement des énergies renouvelables, pour pallier la diminution des stocks exploitables d'énergies fossiles, est l'une des premières réponses économiques et environnementales aux objectifs de transition énergétique.

3.1.3. Le mix énergétique français

En France, la production d'énergie électrique est réalisée actuellement *via* de nombreuses filières, exploitant plusieurs types de ressources naturelles. Cette diversité, appelée « mix énergétique », répond à différentes contraintes (géographique, économique, productiviste, sociale, environnementale, politique, etc.) et permet d'assurer une production stable et maîtrisée. En 2021, le mix énergétique français est composé tel qu'indiqué ci-dessous (sur la base des ressources primaires) (MTE, 2022) :

- Production à partir d'énergie nucléaire : 1150 TWh, soit 83% ;
- Production à partir d'énergies hydraulique, éolienne et photovoltaïque : 111 TWh, soit 8,1% ;
- Production à partir de gaz naturel : 52 TWh, soit 3,9% ;
- Production à partir d'énergie renouvelable thermique et déchets : 37 TWh, soit 2,4% ;

- Production à partir de charbon : 23 TWh, soit 1,7% ;
- Production à partir de pétrole : 13 TWh, soit 0,9% ;

La prédominance de la part du nucléaire est propre au mix énergétique français et découle de choix stratégiques de l'après-guerre. La part des énergies renouvelables, en constante évolution depuis les années 2010, est portée par des objectifs européens. Ainsi la loi relative à l'énergie et au climat de 2019 (la loi Énergie Climat n° 2019-1147 du 8 novembre 2019) fixe l'objectif de 33 % d'énergie renouvelable dans le mix énergétique à l'horizon 2030.

3.1.4. Le parc nucléaire

La France bénéficie de l'expertise de grands groupes et d'instituts de recherche nationaux comme le Commissariat à l'énergie atomique (CEA). L'utilisation majoritaire de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité est la conséquence d'une volonté politique d'indépendance datant de la Guerre Froide. La France est alors une puissance militaire nucléaire en dehors de l'OTAN. Dans son exposé, Claude Imauven, président d'ORANO, précise ainsi que la France dispose aujourd'hui du second parc nucléaire le plus important de la planète, derrière les États-Unis, avec 56 réacteurs en activité pour une puissance de 412,9 TWh (en 2018).

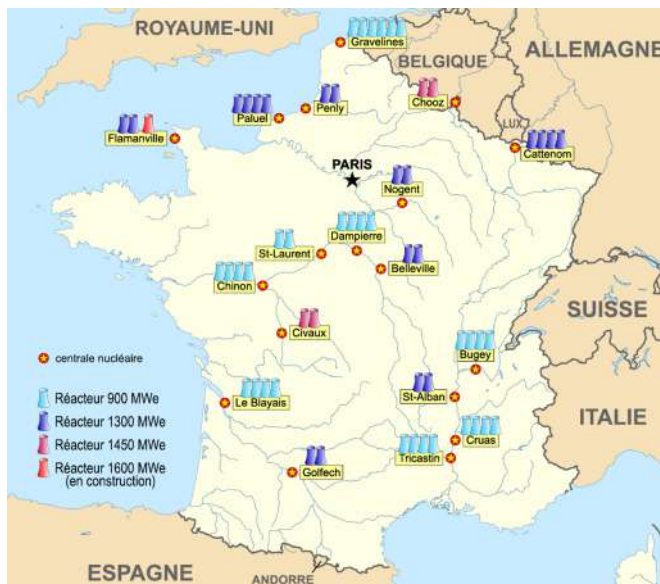


Figure 8. Localisation, nombre et puissance des réacteurs nucléaires français
© Roulex, Domainia, CC BY-SA 3.0 (source : Wikimedia Commons ; fond de carte : Sting).

Réparti sur trois paliers de puissance (900 MW, 1300 MW et 1450 MW), l'ensemble du parc répond à une standardisation technologique (eau sous pression), permettant une exploitation et une maintenance facilitées.

3.2. Le choix de l'énergie nucléaire

3.2.1. Développement d'énergies renouvelables et durables

Des enjeux économiques et stratégiques incitent le secteur de l'énergie à progressivement remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables. Au-delà de ces enjeux, le GIEC, dans ses rapports successifs, met en avant les enjeux environnementaux liés au changement climatique et la décarbonation des énergies. La transition énergétique devient dès lors un enjeu social de premier plan et s'intègre aux politiques publiques, COP au niveau mondial, directives au niveau de l'Union Européenne, loi et réglementation au niveau national.

Les solutions de production d'énergies décarbonées sont développées suivant les ressources et les technologies à disposition des pays. L'électricité hydraulique se voit confortée alors même qu'une grande partie des ressources est déjà exploitée. L'éolien et le solaire, considérés comme énergies renouvelables, sont fortement subventionnés aux niveaux national et européen, pour atteindre les objectifs de la loi relative à l'énergie et au climat, renforcée en France par la récente politique pluriannuelle énergétique PPE (MTECT, MTE, 2023). Le développement et la subvention de solutions locales, à l'intention des particuliers, visent principalement les pompes à chaleur et le photovoltaïque.

3.2.2. Le sujet de la souveraineté énergétique

La raréfaction des ressources naturelles, associée au contexte géopolitique actuel, invite les États à sécuriser leur approvisionnement en ressources naturelles pour la production d'énergie. La volonté de limiter sa dépendance vis-à-vis des pays membres de l'OPEP n'est pas récente. Elle a orienté une partie de l'industrie de l'énergie européenne vers le gaz naturel. Le conflit russo-ukrainien modifie à nouveau la donne depuis le début de l'année 2022. Ce conflit rend la souveraineté énergétique européenne plus nécessaire que jamais.

La France n'affronte pas les mêmes enjeux que ses voisins européens, en raison de la place majoritaire de l'industrie nucléaire dans la production d'énergie électrique. Claude Imauven rappelle que le nucléaire apporte à la France une indépendance par sa maîtrise de la technologie nécessaire pour concevoir, maintenir et faire fonctionner les centrales nucléaires. Le maintien sur le sol national de sites de traitement, d'enri-

chissement et de recyclage de la matière première, l'uranium, garantit une souveraineté énergétique importante. La sécurisation de l'extraction du combustible depuis plusieurs pays – comme le Canada, le Niger, l'Ouzbékistan ou le Kazakhstan pour l'uranium français extrait par ORANO – permet une maîtrise de la continuité de l'approvisionnement.

Claude Imauven développe le rôle d'ORANO, pionnier français de l'industrie de l'énergie nucléaire, qui dispose d'infrastructures et de compétences pour garantir un contrôle sur l'ensemble du parcours du combustible nucléaire de l'extraction au recyclage et accompagne EDF dans l'utilisation de l'uranium et la gestion de ses déchets.

Au-delà de la sécurisation de l'approvisionnement en ressources naturelles nécessaires à la production énergétique (pétrole, gaz, uranium, *etc.*), il convient aussi de sécuriser l'approvisionnement des autres matières premières (sable, métaux, terres rares, *etc.*) nécessaires à la construction des sites de production, qu'il s'agisse d'éoliennes, de centrales PV ou nucléaires. Or, l'approvisionnement de certaines de ces matières risque de devenir critique dans les prochaines décennies. Il faut certainement déjà réfléchir aux méthodes de recyclage et de réemploi dans ces domaines.

3.2.3. Le débat autour du nucléaire

Si la solution du nucléaire s'impose comme réponse justifiée sur un certain nombre de critères, tant par son caractère décarboné, que par la capitalisation française sur ce modèle depuis l'après-guerre, le choix de cette énergie fait régulièrement débat au sein de la classe politique.

La question de la sûreté des centrales nucléaires françaises fait l'objet de nombreuses interrogations ces dernières années vis-à-vis du risque nucléaire. En France, le démantèlement des centrales a fait l'objet de tractations politiques et a mené à la fermeture, en 2020, de la centrale de Fessenheim, la plus âgée du parc français.

Ces éléments font désormais partie du paysage médiatique français et alimentent le débat sur le choix de l'énergie nucléaire, sans pour autant remettre en cause les capacités et les compétences des entreprises françaises dans ce domaine.

3.2.4. Le pari français

Le 10 février 2023 à Belfort, le chef de l'État (Macron, 2022) a présenté les prochaines directives énergétiques pour faire sortir définitivement la France de la dépendance aux énergies fossiles en 30 ans, en lançant, en complément du développement d'ENR (solaire, éolien, hydrogène), le chantier de 6 ERP de seconde génération, avec une

option pour 8 EPR supplémentaires. Le président aborde également le financement du développement de petits réacteurs modulaires (*Small Modular Reactor* – SMR).

Cette vision conforte la place du nucléaire dans le mix énergétique français jusqu'à l'horizon 2100 et assure une compétitivité pour les acteurs du nucléaire français pour les prochaines décennies. Claude Imauven précise ainsi que les projets de conception d'EPR de seconde génération vont amener l'ensemble de la chaîne industrielle du nucléaire à capitaliser sur ses compétences, à investir en recherche et développement et à prospecter et sécuriser de nouvelles sources d'approvisionnement.

La maîtrise actuelle du cycle du combustible par les industriels français (enrichissement, consommation, recyclage et stockage) est une garantie essentielle au maintien d'une production d'électricité d'origine nucléaire. L'adaptation des réacteurs au combustible recyclé (MOX) et l'amélioration des techniques de recyclage de la matière usée devraient également permettre de limiter le besoin d'extraction de nouvelles ressources naturelles, précise Claude Imauven.

4. L'évolution du secteur du btp face aux exigences environnementales

4.1. L'impact du BTP sur l'environnement, un constat alarmant

L'impact du secteur du BTP est aujourd'hui incontestable sur l'environnement. Il se mesure par une consommation excessive des ressources naturelles, mais aussi, l'émission de polluants. Nous en détaillerons ci-dessous les différents impacts sur la nature.

4.1.1. Impact sur la consommation de ressources naturelles

Le secteur du bâtiment est très consommateur en ressources minérales, mais aussi, en métaux (acier, aluminium). Selon la Fédération française du bâtiment (FFB)³, le secteur du bâtiment utilise 43 % de l'acier consommé en France, soit 4,3 millions de tonnes.

Le secteur du BTP est également très consommateur de sable. C'est avec les graviers une matière essentielle dans la fabrication du béton. À titre d'exemple, 200 tonnes de sable sont nécessaires pour fabriquer une maison standard. Selon la Fédération de l'industrie du béton (FIB), 21 millions de tonnes par an sont produits en France. Selon l'Union sociale pour l'habitat (USH), 82 % des logements collectifs et 74 % des logements tertiaires français sont construits en béton et représentent 30 % de l'empreinte carbone d'un bâtiment collectif classique (R+4). Par ailleurs, l'extraction massive de cette matière peu coûteuse se fait actuellement dans des carrières.

3 • Voir Sénat, 2019.

Cependant, l'épuisement progressif de cette ressource pousse les entreprises à extraire le sable près des littoraux. Les conséquences de l'extraction de sable marin sont multiples, telles que la détérioration de la faune et de la flore, un recul des plages, ainsi qu'une salinisation des terres agricoles.

Stéphane Bourg évoque « une consommation de matières premières d'environ 60 gigatonnes dont $\frac{1}{4}$ est lié aux matières hors construction », essentiellement des matières telles que le sable, les graviers, les métaux, *etc.*

4.1.2. Impact sur les émissions de gaz à effet de serre

Le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (MTECT, MTE, 2022) indique que le secteur du bâtiment représente 43 % des consommations énergétiques en France, mais également 23 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau national, principalement dues à la production de ciment. Selon l'Agence internationale de l'énergie, il est, par ailleurs, responsable d'environ 8 % des émissions de CO₂ dans le monde (cité par Louvet, 2023).

Dans son rapport édité en 2020 (cité par ONU, 2020), l'Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction (Global ABC) indique que le secteur du bâtiment serait responsable de 38 % des émissions de CO₂ liées à l'énergie dans le monde.

4.1.3. Pollution par les déchets

Selon l'ADEME (Optigede, ADEME, S. D.), le secteur du bâtiment génère en France plus de 42 millions de tonnes de déchets, dont la majorité est inerte à 75 %. L'ADEME dénombre 12 impacts environnementaux imputables aux déchets dont les principaux sont ceux qui affectent la qualité de l'air, la qualité de l'eau, les ressources et la santé humaine.

Le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires détaille la nature de ces déchets : les déchets inertes sont essentiellement des déchets minéraux comme la brique, le béton, la céramique, le verre, *etc.* Les déchets non dangereux, quant à eux, sont surtout les bois, plastiques et métaux.

Enfin, les déchets dangereux sont l'amiante, les solvants, la peinture, *etc.*

4.1.4. Impact sur la consommation d'énergie

Enfin, le secteur du bâtiment est très consommateur d'énergie par son utilisation en phase d'exploitation, notamment, pour le chauffage, la ventilation et la climatisation.

Selon la Commission européenne (2020), les bâtiments en Europe représentent 40 % de la consommation énergétique européenne. Le ministère de la Transition

écologique et de la Cohésion des territoires précise, quant à lui, que le secteur du bâtiment représente 44 % de l'énergie nationale, chiffre supérieur au secteur des transports qui est de 31,3 %.

Le secteur du bâtiment présente également un impact indirect sur la consommation d'énergie, notamment par une importante demande énergétique pour extraire les matières premières nécessaires à cette industrie, comme l'acier, le sable, le bois, les graviers, etc. Comme l'a indiqué Stéphane Bourg « 10 % de l'énergie primaire mondiale sert à extraire et à raffiner les métaux ».

4.2. L'économie circulaire, un avenir pour l'industrie du bâtiment ?

Un cadre réglementaire a été mis en place pour diminuer l'impact environnemental du bâtiment. Hervé de Maistre, président de VALOBAT a présenté les différents dispositifs qui sont issus de l'économie circulaire.

4.2.1. Le recyclage, une solution d'avenir ?

Plusieurs réglementations ont été mises en place afin de favoriser le recyclage. En premier lieu, la responsabilité élargie des producteurs (REP) qui s'inspire directement du principe du pollueur-payeur.

La responsabilité élargie du producteur est un concept important en matière de gestion des déchets et de protection de l'environnement. En substance, il s'agit de faire en sorte que les producteurs soient responsables de la gestion de leurs produits tout au long de leur cycle de vie, y compris en fin de vie.

Selon Hervé de Maistre, la responsabilité élargie des producteurs est une approche nécessaire pour faire face aux problèmes environnementaux et sociaux liés à la production de biens de consommation. En imposant aux producteurs la responsabilité de collecter et de traiter les déchets générés par leurs produits, cette approche encourage les entreprises à concevoir des produits plus durables et à réduire les déchets. Il indique également l'importance « d'accroître la collecte de bonne qualité, notamment, la collecte triée à la source par la gratuité ».

Cependant, pour que la responsabilité élargie des producteurs soit efficace, il est important que les politiques et les réglementations appropriées soient mises en place pour inciter les entreprises à prendre leurs responsabilités environnementales et sociales au sérieux. En effet, la REP présente aujourd'hui quelques limites dans les faits.

La REP, un coût financier important pour les constructeurs

Les coûts associés à la REP peuvent être considérables. Les producteurs doivent supporter les coûts de la collecte, du transport, de la réutilisation, du recyclage et de l'élimination des produits. Ces coûts peuvent affecter la rentabilité de l'entreprise, en particulier pour les petites et moyennes entreprises.

C'est d'ailleurs pour cette raison que des éco-organismes, comme VALOBAT, sont créés, afin de mutualiser les forces en intégrant plusieurs acteurs du marché. Ces derniers vont financer l'éco-organisme par une écocontribution qui va permettre à l'organisme de prendre en charge pour eux la collecte et le recyclage des matériaux. Ces matériaux peuvent être issus de différentes filières : bois, métaux, plastiques, etc.

Un éco-organisme représentatif des produits, des métiers et des tailles des metteurs sur le marché



Figure 9. © Hervé de Maistre, 2023, ibid.

Une mise en place complexe

La REP peut être complexe et difficile à mettre en œuvre. Les producteurs doivent identifier et suivre les réglementations en constante évolution concernant les produits, les matériaux et les technologies de recyclage. Ils doivent également coopérer avec les parties prenantes, y compris les gouvernements, les organismes de réglementation et les organismes de recyclage.

Comme l'a également indiqué Hervé de Maistre, des problématiques restent encore en suspens comme la mise en place d'une collecte plus efficace. En effet, certains matériaux sont mal collectés, comme le verre et le plâtre, alors qu'il est possible de les recycler.

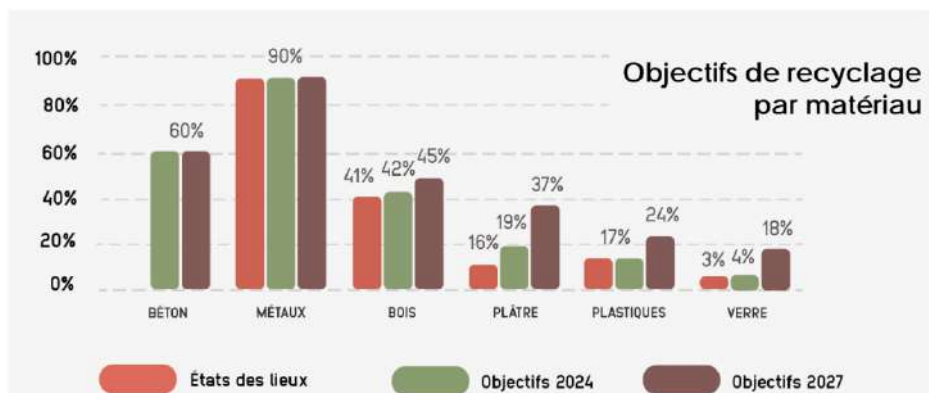


Figure 10. Objectifs de recyclage par matériau © Hervé de Maistre, 2023, ibid.

Il évoque aussi une problématique de traçabilité des matériaux dans le bâtiment. En effet, il est aujourd'hui difficile de calculer les quantités en poids pour chaque matériau. Or, ce critère est un des objectifs de la REP qui demande une traçabilité précise flux par flux afin de gérer les filières.

Un impact encore limité sur l'environnement

Bien que la REP soit destinée à réduire les impacts environnementaux des produits, elle peut parfois être insuffisante pour atteindre cet objectif. Les producteurs peuvent ne pas avoir de contrôle sur les pratiques de recyclage ou de traitement des déchets de leurs produits, ce qui peut entraîner des dommages environnementaux.

Aussi, Hervé de Maistre indique que « 70 % en tonnage de la production annuelle de déchets est valorisé ou recyclé ». Cependant, ce pourcentage s'applique aux 42 millions de tonnes de déchets générés par le bâtiment et non aux 242 millions de tonnes générés par an par le BTP en France.

En conclusion, bien que la REP soit une approche importante pour encourager les entreprises à être responsables de leurs produits, elle présente également des limites et des défis qu'il convient de prendre en compte.

4.2.2. Le réemploi, une niche à développer ?

Le réemploi des matériaux de construction a vocation à leur redonner une seconde vie en les réutilisant dans la construction de nouveaux bâtiments ou dans d'autres projets de construction. Représentant aujourd'hui un pourcentage marginal, le réemploi était très utilisé par le passé, comme la gare de Lille Flandres qui en 1867, utilisa une façade de la gare du Nord datant de 1846.

Aussi, « le réemploi c'est l'histoire du bâtiment » selon Hervé de Maistre, qui évoque une époque où le réemploi était utilisé comme une « mine de matériaux » avec « un prix à payer » *via* un appel d'offres.

Le réemploi dans le bâtiment est prometteur car il permet de réduire les déchets de construction et de minimiser l'impact environnemental associé à la production de nouveaux matériaux de construction. Il peut également permettre de réduire les coûts de construction en évitant l'achat de nouveaux matériaux, tout en préservant le patrimoine bâti.

Cependant, le réemploi se heurte à de multiples limites.

Le réemploi peut réduire la qualité du produit

La qualité des produits réutilisés peut être variable. Les produits qui ont été utilisés pendant une longue période peuvent être endommagés, usés ou obsolètes, ce qui peut rendre leur réutilisation difficile. Par conséquent, il est essentiel de vérifier la qualité des produits réutilisés avant de les remettre sur le marché. Pour cela il faut mettre en place un système particulier d'évaluation des performances comme on l'a fait pour les produits neufs.

Des produits de réemploi parfois peu disponibles

Les produits réutilisables peuvent ne pas être disponibles en quantité suffisante pour répondre à la demande. En effet, certaines catégories de produits ne sont pas facilement accessibles et nécessitent une collecte et une logistique spécifiques pour être réutilisées. De plus, la disponibilité des produits peut varier en fonction de la saison, de la localisation et des tendances du marché.

Un coût supérieur au neuf

Hervé de Maistre rappelle que la fabrication de produits neufs est devenue une tendance qui s'est généralisée depuis « environ 2 ou 3 générations sous l'impulsion de réglementations du bâtiment qui nous ont orientés vers une politique plus horizontale que circulaire, où un industriel va fabriquer à partir de matières premières des produits dans des conditions de qualité et d'économie qui sont supérieures à notre capacité de faire en termes de réemploi aujourd'hui ».

Le coût du réemploi peut donc être élevé en raison des coûts associés à la collecte, au tri, à la réparation et au reconditionnement des produits. Les produits réutilisés doivent souvent être nettoyés, désinfectés et réparés, ce qui peut être coûteux. Les entreprises qui se lancent dans le réemploi doivent donc investir dans les équipements et les ressources nécessaires pour offrir des produits de qualité. De manière assez paradoxale, fabriquer un produit neuf coûte moins cher que de reconditionner un produit ancien car les filières du neuf sont mieux structurées.

Un manque de durabilité dû à l'obsolescence

Bien que le réemploi réduise les déchets et les émissions de gaz à effet de serre, il ne garantit pas toujours une durabilité suffisante. Les produits réutilisés peuvent devenir obsolètes ou inutiles à mesure que de nouveaux produits sont développés. Par conséquent, le réemploi doit être accompagné d'autres pratiques durables, telles que la réduction de la consommation de matières premières et l'utilisation de matériaux recyclables.

Un blocage social encore tenace

Enfin, le réemploi peut rencontrer une résistance de la part des consommateurs qui préfèrent acheter des produits neufs. Le réemploi peut être perçu comme peu hygiénique ou de qualité inférieure, même s'il a été soigneusement nettoyé et réparé. Il est donc important de sensibiliser les consommateurs aux avantages environnementaux et économiques du réemploi. Pour conclure, malgré le fait que le réemploi offre de nombreux avantages, il présente également des limites en termes de qualité, de disponibilité, de coût, de durabilité et d'acceptation sociale. Ces limites doivent être prises en compte lors de la mise en place de programmes de réemploi.

Conclusion

Cette semaine internationale a été particulièrement riche en montrant de nombreux aspects de la transition énergétique. La mutation écologique est en marche avec de nombreuses avancées positives, mais nous avons également pu noter certaines limites ou effets indésirables des nouvelles solutions et technologies. Transformer le secteur de la construction pour répondre aux enjeux environnementaux et aux objectifs du développement durable sans créer d'effets négatifs qui compromettraient la performance des solutions est un défi majeur auquel nous devons faire face.

Les conférenciers ont clairement montré la complexité de la chaîne de valeur et d'approvisionnement et ont présenté de nombreuses pistes de réflexion et des solutions concrètes pour construire autrement.

Stéphane Bourg a montré l'importance – tant du point de vue quantitatif que stratégique – des ressources minières dans l'industrie et le secteur de la construction. Il nous alerte sur la forte dépendance et la vulnérabilité de la France et de l'Europe. Le recyclage des métaux et minéraux peut constituer un fort enjeu de la transition écologique dans un monde où le prélèvement de ressources naturelles s'accélère. Mais le recyclage des métaux par exemple reste une opération complexe et ne peut suffire pour satisfaire la demande croissante. Il serait plus important de s'intéresser aux réserves qu'aux ressources et de croiser ces projections avec celles de la demande future pour mieux anticiper les risques de pénurie et réagir de façon adaptée.

Philippe Bihoux a mis en évidence la nécessité de construire moins de bâtiments neufs et de réhabiliter davantage le parc existant. La densification des centres urbains reste une solution possible pour limiter l'étalement urbain, réduire l'artificialisation des sols et lutter contre l'usage de l'automobile. Toutefois, les modèles de ville dense et de ville intelligente ont leurs limites propres et ne sont pas nécessairement généralisables. Il existe des seuils de contre-productivité de la densification urbaine. En effet, le métabolisme des villes denses du XXI^e siècle génère des externalités négatives, différents types de vulnérabilités, une dépendance énergétique et alimentaire forte et ne favorise ni la sobriété ni le recyclage des déchets autant qu'on aurait plus l'espérer. Ce modèle, poussé à l'extrême, conduit inévitablement à la dégradation de l'environnement et à l'épuisement des ressources.

Claude Imauven rappelle que le nucléaire apporte à la France une indépendance par sa maîtrise de la technologie nécessaire pour concevoir, maintenir et faire fonctionner les centrales nucléaires. Les nouvelles directives énergétiques devraient permettre de sortir la France de sa dépendance aux énergies fossiles en 30 ans, en lançant, en complément du développement des ENR (solaire, éolien, hydrogène), le chantier de 6 ERP de seconde génération, avec une option pour 8 EPR supplémentaires. Cette stratégie conforte la place du nucléaire dans le mix énergétique français jusqu'à l'horizon 2100 et assure une compétitivité pour les acteurs du nucléaire français pour les prochaines décennies. Les projets de conception d'EPR de seconde génération vont amener l'ensemble de la chaîne industrielle du nucléaire à capitaliser sur leurs compétences, à investir en recherche et développement et à prospecter et sécuriser de nouvelles sources d'approvisionnement.

Hervé de Maistre a présenté les différents dispositifs qui sont issus de l'économie circulaire. Il confirme la nécessité de développer le recyclage et le réemploi des produits de construction. Le réemploi dans le bâtiment est prometteur car il permet de réduire les déchets de construction et de minimiser l'impact environnemental associé à la production de nouveaux matériaux de construction. Il reste néanmoins des problèmes à résoudre, notamment en ce qui concerne l'assurance de qualité, la durabilité et la disponibilité de ces produits. Cela pousse au développement d'une filière forte du réemploi. La responsabilité élargie du producteur est également un concept important en matière de gestion des déchets et de protection de l'environnement. En effet, il s'agit de faire en sorte que les producteurs soient responsables de la gestion de leurs produits tout au long de leur cycle de vie. La REP présente toutefois certaines limites ou difficultés de mise en œuvre à prendre en compte, comme la traçabilité des produits.

La conférence d'avril 2023 a mis en évidence la prise de conscience d'une certaine vulnérabilité de l'Europe et de la France en matière de ressources naturelles et de la nécessité d'indépendance énergétique et d'indépendance vis-à-vis des ressources

nécessaires à la réalisation de la transition environnementale. Dans le même temps, les besoins augmentent et certaines ressources (minéraux, métaux, énergies fossiles) se raréfient. Les avancées technologiques dans les secteurs de l'industrie et de la construction sont nombreuses comme l'ont montré tous les conférenciers. Mais ont-elles toutes l'efficacité attendue ? Sont-elles mises en place suffisamment rapidement et avec l'envergure nécessaire ? Ne présentent-elles pas des contre-performances ou des effets indésirables ? Autant de questions que les conférenciers ont traitées avec franchise, montrant les avantages, mais aussi, les limites de chaque solution, de chaque technologie. Une des conclusions importantes de cette conférence est qu'il faut continuer à investir massivement dans la recherche et le développement et mettre en place des mécanismes de financement simples et efficaces pour accompagner la mise en œuvre de la transition environnementale dans le secteur de la construction.

Introduction

As the world grapples with the effects of climate change, the global energy system seems to be reaching its limits. This is partly due to the increasing scarcity of fossil fuels (and even conventional fissile materials) and/or the difficulty of supplying these energy sources. The world is also faced with ever-increasing global demand for energy, due, among other things, to demographic growth in certain countries (Africa, India), increased industrial production (China, India), rising household consumption, and consumption by the transport and construction sectors. This increase in energy consumption has many negative impacts on the environment, and generates political, economic and social problems. This raises questions about the sustainability of the global economic system and, more broadly, the sustainability of our development models. But these questions are not new. The concept of energy transition (Duruissseau, 2014) dates back several decades, and the idea of the need to change our development model is not new either. There has not been just one transition, but several, as demographics and energy demand have evolved. But the term "energy transition" was coined in the 1980s, and it was not until the early 2000s that work on the subject increased substantially, leading to the establishment of a genuine ecological transition.

In this context, the notion of energy transition to meet climate challenges emerged in the wake of the COP (Conferences of the Parties) and the climate emergency, and was formalized at global level by the Paris Agreement in 2015, where more than 194 countries committed to limiting their greenhouse gas emissions to below the threshold of 1.5 and 2°C compared to the pre-industrial era. In France, this was formalized with the 2015 enactment of the Law on Energy Transition for Green Growth (LTECV) and the 2019 Energy-Climate Law (EC).

As a result, supra-state organizations and governments are adopting regulatory measures to protect the environment, limit energy consumption and control resource management. On a more local level, France has legislated, notably with the 2020 Environmental Regulation (RE2020), the French Law on Energy Transition for Green Growth (LTECV), the National Low Carbon Strategy (*Stratégie Nationale Bas-Carbone* – SNBC), the Anti-Waste for a Circular Economy Act (AGEC) and the Zero Artificialization Act (ZAN).

This article focuses on the presentations given by the speakers at the April 7 event:

- Stéphane Bourg on natural resources, particularly minerals,
- Philippe Bihouix, on city metabolism,
- Claude Imauven, on the nuclear industry,
- and Hervé de Maistre, on the circular economy and reuse.

These presentations and the analysis they provide will help us to understand how the new energy transition we are undergoing is taking shape, a transition that affects both building and the management of natural resources. And what solutions are available to ensure that this energy transition contributes to sustainable, low-carbon real estate and construction?

With this in mind, we will analyze the management of natural resources throughout the building's life cycle, from extraction of natural resources to their reuse, with energy management as an outline.

1. Sustainable management of mineral resources

1.1. Energy transition and mineral exploitation

1.1.1. Findings

We need to drastically reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere, and replace fossil fuels with low-carbon renewable energies. Renewable energies (wind, hydro, solar, biomass, geothermal, *etc.*) represent a new market. These techniques aim to capture energy from inexhaustible sources such as the sun, the wind, the tides, *etc.* But does the RE market, which today represents around 20% of the world's energy consumption, constitute a sign of progress and enable a real decarbonization of the construction sector? Simply put, is Green Tech always "green"?

As Stéphane Bourg pointed out, to produce solar, wind or any other renewable energy, we need materials, and greenhouse gas emissions from the raw materials industry are estimated to account for 16% of global emissions. In the case of basic materials such as copper, iron, nickel, zinc and lead, which have a very high ore content, the energy required to extract them is relatively low. However, the amount of energy required to extract the rare earths essential for the manufacture of high-performance alloys is multiplied by four or more, driving up costs. This increase is further exacerbated by the explosion in energy prices, due in particular to the conflict between Russia and Ukraine. Energy is not the only problem. There is also the production of huge volumes of solid waste, amounting to billions of tons, which presents risks for people and the environment. And these risks will be with us for centuries to come once production ceases.

The globalization of the value chain and the standardization of marketed products have led to increasingly massive production of consumer goods and services, especially since the end of the Second World War. As a result, we need more and more materials to produce these goods, such as batteries for electric cars, electronic components for smartphones or X-ray equipment, and so on. Stéphane Bourg points

out that this need is intensifying due to competition between different industrial, technological and strategic sectors for several types of materials with different production methods. In addition to being rare (e.g., rare earths), these materials are often non-renewable. This shortage is further exacerbated by the imbalance between supply and demand.

Stéphane Bourg highlighted the correlation between population growth, the need for energy and raw materials, and the quantity of greenhouse gases emitted into the atmosphere, all following the same devolution curve.

He also highlighted the enormous amount of energy required to extract ores and refine them. He pointed out that 10% of the world's primary energy consumption stems from these processes. Added to this is the energy used to ship materials to manufacturing plants (e.g., wind turbines or PV cells). Stéphane Bourg gave the example of lithium for batteries, which is mined in the Salars (notably in Bolivia), refined in China and then processed in Japan. It will therefore have travelled 50,000 km - more than the distance an electric car will cover with a lithium battery! Admittedly, these processes are less carbon-intensive than those using fossil fuels, but the environmental impact is still quite high when the entire life cycle is taken into account.

In the article "The war for rare metals" (2018), the following risk is noted: "Under the guise of ecological mutation, undesirable new environmental monsters are being spawned, reactivating tensions by creating a war for rare metals".

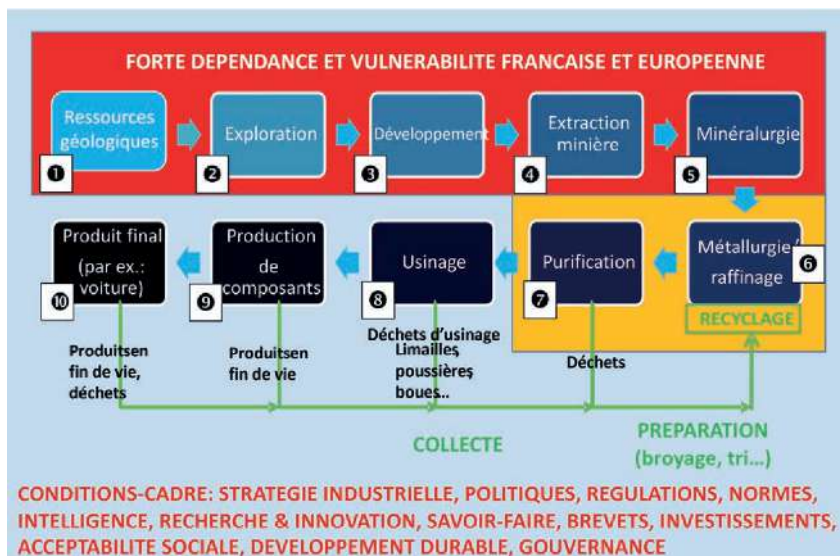


Figure 1. Dependency and vulnerability in France and Europe

© Stéphane Bourg (source: adapted from Patrice Christmann et Yves Jégourel, 2020, p. 8).

Stéphane Bourg reports worldwide raw material consumption of 60 Gigatons per year, which is expected to double by 2060. This is mainly sand, gravel and crushed rock, followed by metals, limestone, wood, oil and food processing. He adds that, depending on the material, major disparities exist in terms of reserves and resources. He also emphasizes the high dependence on materials that exist only in a limited number of countries, as shown in the graph below.

He points out that France and Europe are particularly affected by this phenomenon, since they produce very few of the raw materials they need. Moreover, even if they wanted to produce them locally, resources are rarely available on the European territory.

Progress in waste recycling represents a major ecological challenge in a world where the extraction of natural resources is accelerating. It is also a geostrategic challenge for France, and more broadly for Europe, as we have seen. It is an economic and social issue, as the production of raw materials from waste through to recycling creates value and jobs.

Stéphane Bourg explains that recycling materials is very complex, not least because they can be recycled physically, but not necessarily functionally. He gives the example of copper. Copper achieves good levels of recycling, between 20 and 60% depending on the calculation method. But the copper obtained is not pure. It is a mixture of metals, re-melted and therefore degraded, which do not have the properties and characteristics needed for a particular function, and do not meet regulatory quality requirements.

On this subject, Stéphane Bourg presented the legislative context: French laws, strategies and regulations, with examples such as the national low-carbon strategy, the French energy-climate strategy, the multi-annual energy program, the circular economy roadmap and the disappearance of combustion-powered cars in 2035.

11.2. Solutions

Anticipating supply and demand for materials

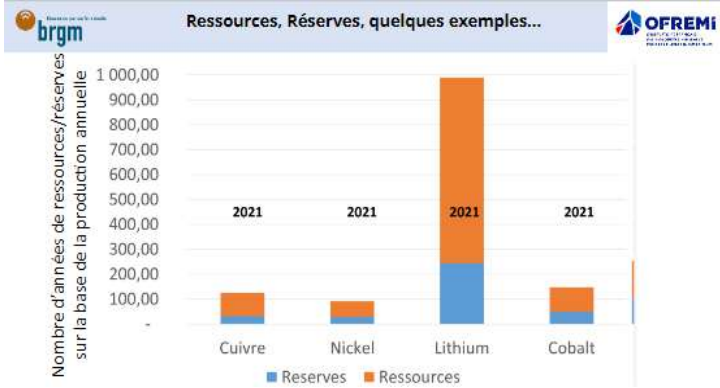
Managers of construction companies are hard hit by the scarcity of resources and materials, and by rising prices in the context of the complicated health and war situation mentioned above. Many are unable to pass on this increase in their sales prices. Compromises have been found with their customers, but they have had to lower their gross margins, with the loss of profitability and of certain projects, which is all the more difficult to accept as the customers are out there...

Stéphane Bourg explains that, in order to cope with the shortage of materials as effectively as possible, it is necessary to quantify the risks, in particular by analyzing

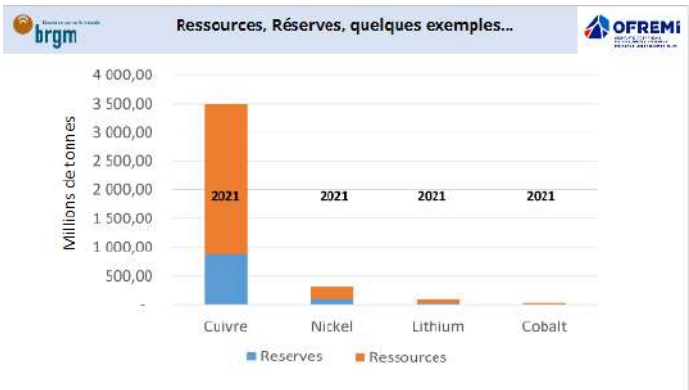
supply and demand, and by monitoring the supply chain from mines to minerals, so as to be able to issue alerts if necessary.

His demonstration took the examples of copper, nickel, lithium and cobalt, with graphs highlighting major disparities in reserves and resources depending on the material. He also demonstrated that it is even more important to look at reserves rather than at resources, and to cross-reference these projections with those of future demand to better anticipate shortages and react accordingly. This cross-referencing of reserve and demand projections enables us to estimate needs. In this way, the number of years of ore reserves can be determined more accurately, enabling us to anticipate possible mine openings and prepare transition scenarios.

Figure 2. Disparities between resources and reserves © Stéphane Bourg/BRGM, OFREMI, 2023.



2.1. in number of years.



2.2. in millions of tons.

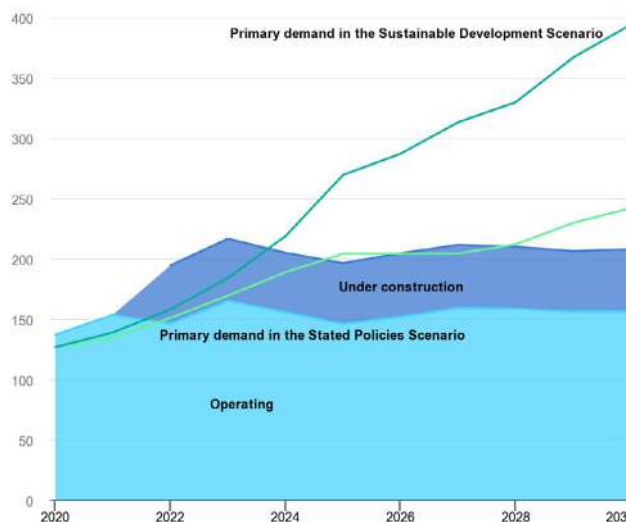


Figure 3. Committed mine production and primary demand for cobalt, 2020-2024 © IEA, 2021, CC BY-SA 4.0.

This method is all the more relevant in that mine openings take a long time to set up, around 16 years on average (5 years for the Salars). The consequences can be severe when demand prospects exceed estimates of future reserves and production. And this is precisely the case for all the materials mentioned! So if mining projects are not stepped up, there will be a shortage of materials.

Stéphane Bourg is reassuring on this point, however, explaining that "when you need something, you look for it, when you look for it, you find it, and when you put in the effort, you can produce it". He adds that secondary production from waste only makes sense if it meets a need, bringing added value for existing industries.

Managing the value chain

The massive amount of energy required to extract and refine materials, the dependence of materials on a limited number of countries, competition between industrial, technological and strategic sectors, and the complexity of the value chain all contribute massively to carbon emissions. This complexity is highlighted by Stéphane Bourg, who points out that there can be 15 to 20 intermediaries between the mine and the seller (of cars, for example). This calls for a better understanding, analysis and management of the supply and value chains.

Going forward, this means seeking to produce locally rather than sending products to the other side of the world for assembly. Take the example of China, which in the space of 40 years has gone from being a mining country to a seller of cutting-edge

technologies and finished products. But even if we were able to produce lithium tomorrow, we would not have the industrial capacity to process it. This is all the more detrimental given that "the real value is in the function, not in the mine but in the finished product". By moving from materials to components, sales can be multiplied by ten, so the added value is often in the ultimate function. We therefore need to reindustrialize France and Europe.

Today, securing the supply chain is also a matter of urgency. To reassure investors, manufacturers need to understand ESG criteria. The Russo-Ukrainian crisis has highlighted this need. Against the backdrop of this conflict, manufacturers realized that N-3 and N-4 materials were coming from Russia, and that even if they went through another supplier, N-5 and N-6 materials may also have come from Russia. This highlights the lack of traceability in the supply chain between intermediate semi-finished products and finished products.

So, for companies, the time has come to anticipate, diversify supplies, organize purchasing more fluidly, build up stocks and look for alternatives, giving priority to the most local and responsible supply chains whenever possible. Digital tools are now available for better planning of worksites and scheduling of material supplies to limit delays.

Stéphane Bourg shows that we also need to use strategic materials to the best of our ability, with responsible consumption, an economy of functionality and recycling in mind.

Materials recycling

Recycling materials can help meet long-term environmental challenges at both international and local level. Recycling contributes to saving natural raw materials, securing supplies and reducing environmental impacts.

According to the French Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion, a strategy to accelerate the recyclability, recycling and reincorporation of recycled materials has been launched as part of France 2030. This strategy aims to improve the performance of raw material recycling markets by identifying the obstacles and action levers to be put in place at the various stages of the recycling value chain.

However, as Stéphane Bourg pointed out in his lecture, metal recycling is highly complex due to the difficulties involved, not only from a physical point of view, but also from a functional one.

As a result, demand remains very difficult to forecast, and the ability to meet future needs remains limited. Stéphane Bourg indicated a 12.5% response rate to the theoretical future need for recycling car batteries, even if we were to succeed in recycling them to 100% today. The rest of the materials needed will have to come from mines. And there is no guarantee that the batteries of the future will work with the same tech-

nologies and materials. He concluded that "recycling raw materials can help reduce dependence, but not gain independence".

So we need to shift towards a relevant business model ensuring that materials are processed at the right level, and that time and flows match.

Recycling whereby manufacturers disregard the cost of raw materials, putting them directly back into their circuit and retaining ownership of them, could be an effective solution. Renault, for example, retains ownership of its catalytic converters from the time the car is scrapped until it is remanufactured.

According to the French Ministry of Energy Transition, the French recycling industry should be strengthened by developing a supply of recycled raw materials and increasing their reincorporation into products as a substitute for virgin raw materials.

We need to reindustrialize and thus build up industrial capacities capable of transforming all the waste we produce into raw materials for recycling, in the absence of long-term outlets. The development and reinforcement of high-performance, competitive recycling industries is therefore an opportunity to meet the challenges outlined above.

The importance of regulation in achieving objectives

Regulations can provide a reassuring framework and limit the environmental impact of extracting and refining materials. But legislation can also provide for substantial investment programs by promoting the fundraising needed to achieve these objectives.

As the French Ministry of Ecological Transition points out, massive financial support for research and development innovation enables the development of more efficient recycling solutions. Support is also being provided for training and skills development, and for industrial deployment. These subsidies can help design products that are easier to recycle, and are thus more functional. They will also help with waste collection, sorting and dismantling, which will reduce the cost of making materials available to industrial players further down the waste-to-new-raw-materials chain.

1.2. The special case of water

As the theme of water was not dealt with specifically and in detail by any of the speakers during this day on April 7, 2023, we felt it necessary to produce a short chapter on this subject, which we consider to be highly important in anticipation of a future conference.

1.2.1. Findings

Water, a rare commodity

The Earth is almost 2/3 water and is known as the Blue Planet. At first glance, this may seem reassuring in terms of its capacity to supply us with water ad infinitum... But it is nothing of the sort.

In fact, only a very small fraction of the freshwater on the surface and underground is usable for human activities. According to the World Health Organization (WHO), this fraction represents only 0.1% of all the water on earth. Again according to the WHO, 30% of the world's population, or 2.1 billion people, have no access to a domestic drinking water supply. 4.2 billion are deprived of securely managed sanitation systems.

Global warming, intensive agriculture, overexploitation of groundwater by pumping, soil artificialization leading to waterproofing and deforestation are all leading to desertification, increasingly violent droughts and growing water stress, all of which have a lasting impact on our water reserves. The World Economic Forum has ranked this phenomenon as one of the greatest global risks in the years to come, with a predicted rise in the average global temperature of over 2°C by 2050.

More locally, France receives 440 billion m³ of water through precipitation, of which 61% evaporates, 16% feeds rivers and 23% infiltrates the soil. Available water resources amount to around 170 billion m³. This may sound reassuring. But situations vary from region to region and season to season. Ultimately, only a minor proportion of this freshwater is used for human activity – 34 billion m³, according to the French Water Agency.

In addition, the building sector is a major energy consumer, accounting for 43% of energy consumption in France, and thus contributes to our very high water consumption. Indeed, according to the International Energy Agency (IEA), 400 billion m³ of water are withdrawn by the energy industries. It represents 10% of the total quantity used by mankind, or 3% of global consumption after return to the natural environment.

Water and mining

Mining for the production of materials generates a high level of water pollution: metal pollution as well as increased sediment levels in watercourses and acid mine drainage facilities. Underground mines, tailings ponds, waste disposal areas, processing plants and active or abandoned roads also generate water pollution.

Water consumption

Even today, many people act as if this vital natural resource were inexhaustible! It is therefore urgent to put water consumption management at the heart of our thinking.

Throughout its lifetime, a building is a major consumer of water: To produce the energy it needs, to manufacture the materials it uses, during on-site construction and during its operational phase. At every stage, losses and overconsumption are enormous. Procedures must be put in place to limit waste.

Water quality

But beyond the quantity of water consumed or wasted, water quality is also a factor to be taken into account. Polluted water runoff contaminates rivers and water tables, and degrades natural environments and biodiversity. The management of polluted water must therefore be rethought to limit water consumption and preserve the environment.

12.2. Solutions

Limiting water consumption in buildings

Water consumption and energy. To limit water consumption, it is important to favor processes that consume the least water in the energy mix. Implementing waste energy recovery and reuse systems can also be a way of considerably limiting water consumption.

Construction and building. By producing better, we can more easily limit shortages. The design of materials, the manufacture of concrete and the use of water on building sites are all processes that contribute to a high level of water consumption, requiring water sobriety in both design and use.

As a result, solutions are emerging, notably through "dry" processes. Building materials can be improved by making them more "water-efficient". Eco-design must take into account the environmental footprint, and eco-efficiency also means choosing devices and technologies that rationalize consumption of water, energy and other consumables.

Water wastage on building sites (42%, according to the sustainable building guide) can be considerably reduced thanks to site equipment, adapted tools and worker awareness-raising. Water consumption targets need to be defined in programs of requirements, and monitored by an environmental coordinator.

Raising public awareness. A diagnosis of usage and guides to controlling consumption can help save water and limit wastage. The use of new digital tools, such as intelligent sensors, smart buildings and digital twins, could enable better management of water consumption in buildings.

Some ideas for water management in mining. Technological advances in tailings disposal methods, which avoid traditional deposits of unthickened slurry tailings in favor of dry stacking, are a step forward in water management and conservation,

and in limiting the risks of dam failure. Digital solutions enable the development of real-time on-site monitoring systems to monitor contaminant loading and evaluate the performance of water management systems. To support the industry's efforts, the International Council on Mining and Metals (ICMM) has developed a "Water Governance Framework" that provides high-level guidance on responsible resource management.

How to reuse and valorize water

Towards a change of model. The circular economy applied to water. Systems can be put in place to recover waste heat from treated or untreated wastewater, and to reuse water used in industrial processes. The emphasis can also be placed on recovering the resources added to water during its use, before it is discharged back into nature.

Eco-responsible wastewater treatment plants. As the UN has identified drinking water and sanitation as the 6th goal of the global water crisis, we thought it would be interesting to attend the inauguration of an "eco-step" wastewater treatment plant⁴ on April 15, 2023. This is a high-performance, low-energy wastewater treatment plant, unlike those using chemical processes. Located in a classified area, the plant requires the use of biological processes to ensure that the water discharged into the environment is of sufficient quality not to disturb the ecosystem.

As part of a circular economy approach, the reed beds with their sludge channel use a biological process that enables the flocs to be reused as fertile fertilizer for local agriculture. What is more, a storm water management basin prevents polluted water from overflowing into rivers.

Water and regulations

Standards could be set for the pollutant content of discharged water, particularly for industrial companies that could treat some of the water on their production sites.

Regulations also need to reconcile water and urban planning, in order to combat the disappearance of natural environments linked to waterproofing and the massive expansion of surfaces resulting from urban sprawl, which contribute to high water consumption. ZAN is obviously a step in this direction. Urban planning documents will be able to identify and protect green and blue belts, classifying wetlands as natural zones that cannot be built on. Existing and/or future wastewater treatment plants need to be properly sized before they can be used for new construction.

It is important to facilitate the reconciliation of land-use planning and water policies, and to forge a link between those involved in water and urban planning, in parti-

⁴• Inauguration of the "eco-step" wastewater treatment plant on April 15, 2023 at Dammartin-sur-Tigeaux, in the presence of Sandrine Rocard, Director of the Agence de l'eau Seine-Normandie and Philippe Fourmy Reux, Vice-President in charge of wastewater and drinking water.

cular between the water development and management scheme (*schéma d'aménagement et de gestion de l'eau* – SAGE) and the territorial coherence scheme (*schéma de cohérence territoriale* – SCOT) or inter-municipal local urban planning schemes (*plans locaux d'urbanisme* – PLU), in order to raise awareness of water-related issues in the preparation of these documents.

For example, the authorities are legislating to limit urban sprawl, which contributes to soil artificialization, by moving towards urban densification. This, in turn, will limit the deployment of networks and hence water consumption, whether for network construction or maintenance. But is urban densification always relevant?

2. The challenges of limiting land use and its limits

To understand urban growth, we need to look at it through the prism of demographic trends and the many social and economic changes that have influenced the way we design our cities. Real estate and urban sprawl have a considerable impact on the environment through the artificialization of land, the consumption of raw materials, gray energy and CO₂ emissions.

Urban growth also has an impact on the flow of energy, materials and waste, and on the need to transport people and goods. The construction sector is also the main consumer of land, not only in terms of built-up areas, but also all the sites required to supply resources such as quarries, sand pits, *etc.*

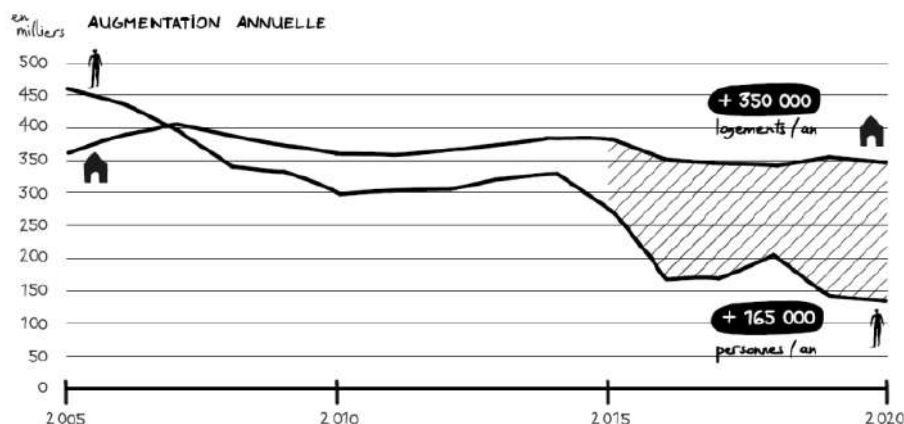


Figure 4. Population vs. housing stock trends

© Philippe Bihouix, Sophie Jeantet and Clémence de Selva, 2022, p. 11).

According to the UN (2018), we have reached a tipping point. By 2050, urbanization will have risen from 55% to 68%. Although the current population is only growing slightly, with an increase in the French population of just 0.3%, we will continue to build because we still need housing, facilities and commercial space. Philippe Bihouix points out that over the last five years, an average of 350,000 new homes have been created, while the French population has grown by "only" 165,000. Anomaly or paradox?

There are a number of reasons for this paradox, including the effects of decohabitation and metropolitanization, social and economic restructuring, and sociological trends tending toward reduced household sizes. According to Philippe Bihouix, the number of people per household has shrunk from 3.1 in 1960 to 2.2 today. As a result, the need for housing is increasing. In addition, he points to a trend in the number of vacant French homes, with a 30% increase over the last fifteen years to an average vacancy rate of 8.3% today. Second homes (3.6 million) and under-occupied dwellings (8 million) partly explain this discrepancy between increased new construction and low population growth.

Urban sprawl is the result of suburbanization, which has led to the consumption of farmland and the development of private cars. Urban densification mainly concerns large, attractive cities. There is a metropolization effect, but at the same time, small and medium-sized towns have seen their centers deserted and their populations decline.

2.1. Multiple density

Reflections on the issue of urban sprawl emerged in the USA in the 1950s and were introduced in France in the 1960s. They referred to the motorization of households, distance from shops, and the single-family home. The 1970s saw a growing awareness of the harmful effects of motorization, with a dependence on fossil fuels accentuated by the two oil crises. Awareness of environmental concerns and sustainable development led to the integration of these notions into public policy. Newman and Kenworthy's (1989) work on cities and car dependency took into account urban form and sprawl, as well as car use, for the first time. The less dense cities are, the greater their dependence on motor vehicles, with consequent difficulties in organizing public transport.

The dense, compact city is thus becoming one of the new objectives of environmental and urban planning policies, although numerous methodological and interpretation limitations of the "Newman and Kenworthy curve" have been evoked in various works (Desjardins, 2010).

However, densification remains a solution for reducing the intensive use of private cars by encouraging the development and use of public transport. Densification also

makes it possible to control urban sprawl and reduce the artificialization of land, which in turn reduces the consumption of agricultural and natural areas.

Other benefits can also be cited in the context of a densification policy on an inter-municipal scale. Indeed, this would help to develop the efficiency of the various services required by the city and rationalize the use of resources, while offering economic, social and cultural opportunities.

In addition, there are different types of density to consider:

- Population density: no. of inhabitants / km²
- Human activity density: no. of inhabitants + jobs / km²
- Residential density: no. of dwellings / km²
- Land use coefficient: % of built-up area
- Built density: ratio of built area to plot of land

The aim of density was essentially to promote economic competitiveness between metropolises, in order to encourage innovation and attract new populations. However, the race for territorial attractiveness can have negative effects. Analyzing the different types of density enables us to take a step back from the general concept of density, and ultimately move towards a balance and towards a concept of sustainable city or desirable city. See, for example, Hélène Chartier's presentation on the quarter-hour city (Chartier, 2023).

The discourse on the sustainable and desirable city is complex and full of contradictory injunctions. According to Philippe Bihouix, there are thresholds of counter-productivity to be taken into account, such as needs that are deported outside cities, increased mobility with the "barbecue effect", vulnerabilities, the problem of imported resources and, consequently, gray energies. The metabolism of the dense cities of the 21st century generates negative externalities, high energy and food dependency, and does not encourage sobriety or waste recycling as much as we might have hoped. Taken to extremes, this model inevitably leads to environmental degradation and resource depletion. Let us take Paris as an example, and analyze its incoming and outgoing flows. According to the Agence Parisienne du Climat (Paris Climate Agency), its annual visible material consumption, *i.e.*, within the territory, is 6.5 tons per inhabitant. If we add to this the non-visible consumption from outside the territory required for final production, the figure rises to 20 tons per inhabitant. A Parisian therefore consumes three times more outside the city than inside! Today, Paris is entirely dependent on imports for its operations. The model of an attractive, dynamic world-city that attracts people is reaching its limits.

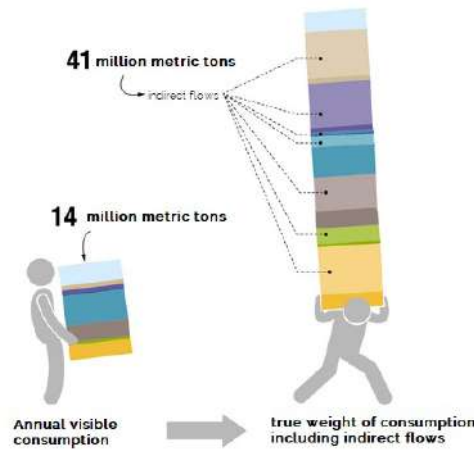


Figure 5: Consumption of fossil fuels and derivatives in Île-de-France in 2015 in direct and indirect flows
(source: adapted from Institut Paris Région/Agence régionale énergie-climat, 2019).

2.2. From ZAN to Zero Gross Artificialization (ZAB) to the stationary city

Zero Net Artificialization (ZAN) is a sign of political will on the part of central government, but its implementation is complex. According to Philippe Bihouix, the trajectory of a sharp reduction in the amount of land consumed by urbanization, followed by residual compensation without affecting the volume of construction, is a complex gamble. Reduction is at the heart of the objectives, with sufficient densification through the expansion of existing spaces and urban renewal. However, there are contradictory aspirations between densification and urban renaturation. To achieve the compensation required by ZAN, it will be necessary to find sufficient land to re-naturalize and to make restoration mechanisms work from an ecological, physical, economic and regulatory point of view.

Again according to Philippe Bihouix, it could be interesting to put forward the notion of Zero Gross Artificialization (ZAB) to enable the protection of all agricultural and urban soils. In his view, the concept of the "stationary city" could be relevant, as it would enable us to conceptualize the end of land nibbling by concentrating the city on itself through its renewal and densification. Ultimately, this makes it possible to measure the beautification and repair of city entrances, shopping areas, business parks and neighborhoods. There is a saying that goes: "The right size is the one you inherit", so we need to learn to care for and pass on our urban heritage.

The stationary city is not set in stone, but we need to be proactive and make the most of various opportunities, such as the potential for densification, urban, industrial and rail wastelands, and future wastelands created by current or future transformations, such as parking lots and shopping centers. These opportunities must also respond to real estate pressure in a number of ways, such as intensifying the use of existing buildings and public spaces.

Enabling the stationary city also means freeing the city from the injunction of growth and the pressure of metropolization, by reflecting on the potential for redistributing urban populations. It is important for metropolises to spread, supported by the public authorities, who must encourage and accompany change through a new decentralization, a gradual redistribution of the population towards medium-sized towns, villages and rural areas.

2.3. Contributing to a virtuous city

To contribute to a virtuous city, we need to build less and renovate more. Build less and invest in more human and financial resources to carry out a thermal renovation program. In fact, in the building sector, the SNBC calls for a 40% reduction in energy consumption between 2015 and 2050. A number of energy transition scenarios have been put forward, for example by RTE, which predicts that the building stock will be entirely low-energy by 2050, and ADEME (2021) with its "frugal generation" and "territorial cooperation" scenarios aiming for 80% low-energy by 2050.

However, this rapid growth needs to be put into perspective. The SNBC's carbon budget has been exceeded. It is not easy to get homeowners and co-ownerships to commit to various renovation projects. What is more, there is a desperate lack of craftspeople in this sector. It is vital to encourage the redeployment of resources from the entire new-build sector to conversion, renovation and maintenance, to usher in a new age of maintenance.

We also need to beautify and repair our cities. According to C. Leconte and S. Grisot (2022), systemic and holistic approaches must intersect to improve the living environment of citizens. These improvements involve a range of issues, such as revegetation, renaturation, removing waterproofing from soils, reducing asphalt-covered areas for parking which ultimately encourages demobilization, enabling light densification, helping to make public spaces more attractive to residents, and treating the qualities of residents' façades in post-thermal renovation. Finally, calming also means adapting the city to its urban metabolism. Let us quote again from Hélène Chartier's (*op. cit.*) presentation on these subjects.

2.4. The limits of the intelligent city

The use of digital technology for equipment certainly has its advantages, notably in limiting the amount of energy consumed by building users. However, it is important to consider the cost/benefit ratio and the rebound effect. The amount of energy outsourced and the undesirable impact on the environment must also be taken into account. We often cite the example of data centers, which are outsourced and consume gigantic amounts of energy.

3. Energy transition and nuclear power

3.1. The French energy sector

3.1.1. Importance of energy in greenhouse gas emissions

While energy consumption is by far the main cause of greenhouse gas emissions in France (70% of emissions in 2020), energy production and processing alone account for 9% of these emissions, making it the 4th most emissive sector.

Mainly composed of CO₂, these emissions are linked to the extraction and transformation of energy products. They are mainly divided between the oil and gas industry (refining and transport), coal, waste incineration, nuclear power (processing and transport), hydroelectricity, wind power and photovoltaics. In the same way as the manufacturing and construction industries (which account for 12% of greenhouse gas emissions), energy production and processing represent a potential lever for reducing greenhouse gas emissions.

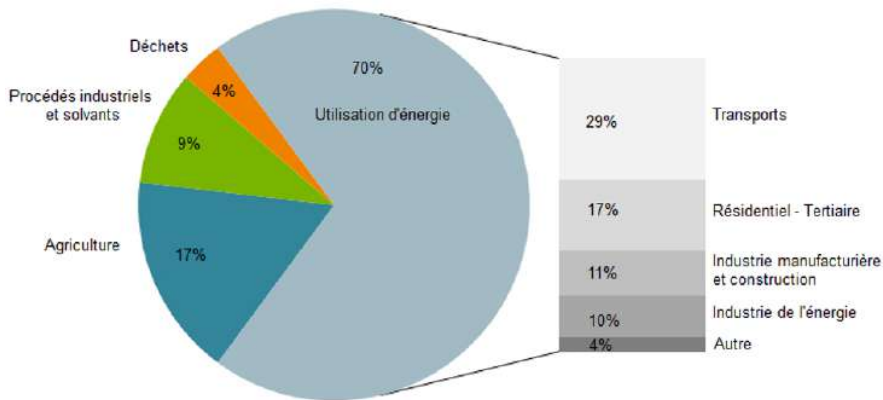


Figure 6. Breakdown of GHG emissions by source, excluding LULUCF. Scope: mainland France and overseas territories © Commissariat général au développement durable, 2021 (data: Citepa, 2023).

The choice of type of energy production therefore has a decisive impact on the quantity of greenhouse gases emitted. According to ADEME's carbon base⁵, the quantity of CO₂ equivalent (CO₂e) released per kWh produced ranges from 0.006kg/kWh (hydro and nuclear power) to 0.73kg/kWh for fuel oil or 1.06 kg/kWh for coal (Note 0.418 kg/kWh for natural gas, which partly explains the 2010 craze for this resource, 0.015 kg/kWh for wind power and 0.0439 kg/kWh for photovoltaics).

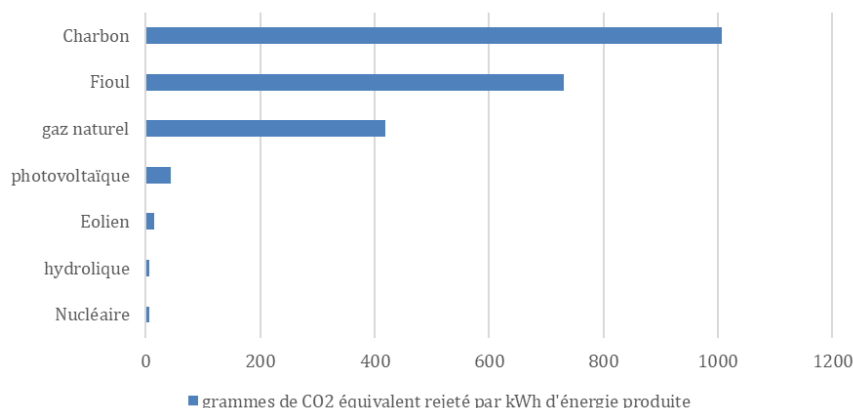


Figure 7. CO₂ emissions by type of energy production (source: ADEME, Base carbone, 2022).

3.1.2. Energy production and the challenges of the energy transition

The need to maintain electrical energy production on national soil in order to ensure and maintain the social and economic model in which we live, makes this sector central to public energy transition policies.

However, long before the goal of carbon neutrality by 2050, the rise in fossil fuel prices in the wake of the oil shocks of the 1970s made it necessary to think globally about the energy production sector. Encouraged by economic imperatives, and then made necessary by law (law no. 2023-175 of March 10, 2023 on accelerating the production of renewable energies), the large-scale development of low greenhouse gas-emitting electricity generation solutions has accelerated over the past 20 years. This has been achieved either by improving the efficiency of known models (nuclear power) or by deploying locally adapted projects (geothermal energy, heat pumps, etc.).

⁵ ADEME, Base Carbone. See: <https://data.ademe.fr/datasets/base-carboner>.

The advent of renewable energies to compensate for diminishing exploitable stocks of fossil fuels is one of the first economic and environmental responses to energy transition objectives.

3.1.3. The French energy mix

In France, electrical power is currently generated by a wide variety of sources, using different types of natural resources. This diversity, known as the “energy mix”, responds to different constraints (geographical, economic, productionist, social, environmental, political, *etc.*) and ensures stable, controlled production. As of 2021, the French energy mix is as follows (based on primary resources) (MTE, 2022):

- Nuclear power generation: 1150 TWh, or 83%;
- Production from hydro, wind and photovoltaic power: 111 TWh, or 8.1%;
- Generation from natural gas: 52 TWh, or 3.9%;
- Generation from renewable thermal energy and waste: 37 TWh, or 2.4%;
- Coal-fired generation: 23 TWh, or 1.7%;
- Oil-fired generation: 13 TWh, or 0.9%.

The predominance of nuclear power is specific to the French energy mix and stems from strategic choices made in the post-war era. The share of renewable energies, which has been growing steadily since the 2010s, is driven by European objectives. The 2019 Energy and Climate Act (“EC” law no. 2019-1147 of November 8, 2019) sets a target of 33% renewable energy in the energy mix by 2030.

3.1.4. Nuclear power plants

France benefits from the expertise of major groups and national research institutes such as the French Atomic Energy Commission (*Commissariat à l'énergie atomique* – CEA). The majority use of nuclear power in electricity generation is the result of a political desire for independence dating back to the Cold War. At the time, France was a nuclear military power outside NATO. In his presentation, Claude Imauven, Chairman of ORANO, states that France today has the second largest nuclear fleet in the world, behind the USA, with 56 reactors in operation, generating 412.9 TWh (in 2018).

Divided into three power levels (900 MW, 1300 MW and 1450 MW), the entire fleet is technologically standardized (pressurized water), making it easy to operate and maintain.

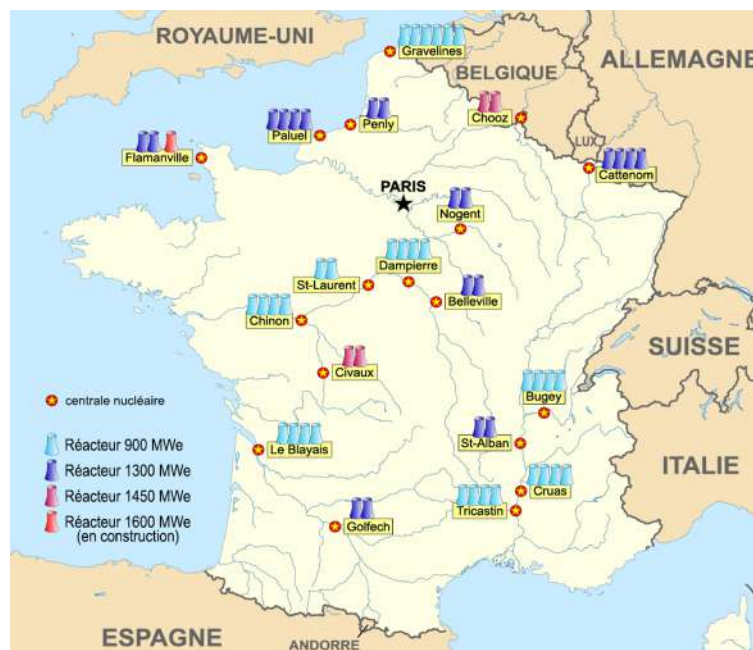


Figure 8. Location, number and power of French nuclear reactors

© Roulex, Domina, CC BY-SA 3.0 (source : Wikimedia Commons ; fond de carte : Sting).

3.2. The choice of nuclear energy

3.2.1. Development of renewable and sustainable energies

Economic and strategic issues are driving the energy sector to progressively replace fossil fuels with renewable energies. In addition, successive IPCC reports have highlighted the environmental challenges of climate change and energy decarbonization. As a result, the energy transition has become a key social issue, and an integral part of public policy: COP at global level, directives at European Union level, laws and regulations at national level.

Decarbonized energy production solutions are developed according to the resources and technologies available in each country. Hydropower is being strengthened, even though a large proportion of its resources have already been exploited. Wind and solar power, considered as renewable energies, are heavily subsidized at national and European level to meet the objectives of the French Energy and Climate Act, reinforced in France by the recent multiannual energy policy (*politique pluri-*

nuelle énergétique – PPE) (MTECT, MTE, 2023). The development and subsidization of local solutions for private customers is mainly focused on heat pumps and photovoltaics.

3.2.2. The subject of energy sovereignty

The scarcity of natural resources, combined with the current geopolitical context, is prompting governments to secure their supplies of natural resources for energy production. The desire to limit dependence on OPEC member countries is not new. It has steered part of the European energy industry towards natural gas. Since the beginning of 2022, the Russian-Ukrainian conflict has once again altered the situation. This conflict makes European energy sovereignty more necessary than ever.

France does not face the same challenges as its European neighbors, due to the nuclear industry's predominant role in power generation. Claude Imauven points out that nuclear power gives France independence through its mastery of the technology needed to design, maintain and operate nuclear power plants. Maintaining processing, enrichment and recycling sites for the raw material, uranium, on French soil guarantees significant energy sovereignty. Secure fuel extraction from several countries – such as Canada, Niger, Uzbekistan or Kazakhstan for French uranium extracted by ORANO – ensures continuity of supply.

Claude Imauven elaborates on the role of ORANO, a French pioneer in the nuclear energy industry, which has the infrastructure and skills to guarantee control over the entire nuclear fuel cycle, from extraction to recycling, and supports EDF in the use of uranium and its waste.

In addition to securing the supply of natural resources needed for energy production (oil, gas, uranium, *etc.*), we also need to secure the supply of other raw materials (sand, metals, rare earths, *etc.*) required for the construction of production sites, be they wind turbines, PV or nuclear power plants. The supply of some of these materials is likely to become critical in the coming decades. We certainly need to think about recycling and reuse methods in these areas.

3.2.3. The nuclear debate

While the nuclear solution is justified on a number of grounds, both by its low-carbon nature and by the French capitalization on this model since the post-war period, the choice of this energy source is regularly up for debate within the political class.

In recent years, the safety of French nuclear power plants has been much debated. In France, the dismantling of nuclear power plants has been the subject of political

negotiations, leading to the closure in 2020 of the Fessenheim plant, the oldest in the French fleet.

These issues have become part of the French media landscape, fuelling debate on the choice of nuclear power, without calling into question the capabilities and skills of French companies in this field.

3.2.4. The French gamble

On February 10, 2023, in Belfort (Macron, 2022), France, the Head of State presented the new energy guidelines for moving France definitively away from dependence on fossil fuels within 30 years, by launching the construction of 6 second-generation EPRs to complement the development of renewable energies (solar, wind, hydrogen), with an option for 8 additional EPRs. The President also talked about financing the development of small modular reactors (SMR).

This vision consolidates the place of nuclear power in the French energy mix up to 2100, and ensures the competitiveness of French nuclear players over the coming decades. Claude Imauven points out that the second-generation EPR design projects will require the entire nuclear industry chain to capitalize on their skills, invest in research and development, and prospect for and secure new sources of supply.

French industry's current mastery of the fuel cycle (enrichment, consumption, recycling and storage) is an essential guarantee of continued nuclear power generation. Adapting reactors to recycled fuel (MOX) and improving techniques for recycling spent fuel should also limit the need to extract new natural resources, explains Claude Imauven.

4. Changes in the construction sector to meet environmental requirements

4.1. *The impact of construction on the environment: an alarming reality*

The impact of the construction industry on the environment is indisputable. It can be measured in terms of excessive consumption of natural resources, as well as pollutant emissions. Below, we detail its various impacts on nature.

4.1.1. Impact on consumption of natural resources

The building sector is a major consumer of mineral resources, as well as metals (steel, aluminum). According to the French construction federation (FFB)⁶, the building sector uses 43% of the steel consumed in France, *i.e.*, 4.3 million tons.

The construction industry is also a major consumer of sand. Along with gravel, sand is an essential ingredient in the manufacture of concrete. For example, 200 tons of sand are needed to build a standard house. According to the French concrete industry federation (*Fédération de l'industrie du béton* – FIB), 21 million tons of sand are produced every year in France. According to the Union Sociale pour l'Habitat (USH), 82% of French multi-family housing and 74% of tertiary housing are built in concrete, representing 30% of the carbon footprint of a standard multi-family building (R+4). Moreover, this inexpensive material is currently extracted en masse from quarries. However, the gradual depletion of this resource is driving companies to extract sand near the coast. The consequences of sea sand extraction are manifold, including the deterioration of flora and fauna, the retreat of beaches, and the salinization of farmland.

Stéphane Bourg mentions "raw materials consumption of around 60 gigatons, ¼ of which is linked to non-construction materials", essentially centered on materials such as sand, gravel, metals, *etc.*

4.1.2. Impact on greenhouse gas emissions

The French Ministry of Ecological Transition (MTECT, MTE, 2022) says that the building sector accounts for 43% of energy consumption in France, but also 23% of national greenhouse gas emissions, mainly due to cement production. According to the International Energy Agency, it is also responsible for around 8% of CO₂ emissions worldwide (cited by Louvet, 2023).

In its 2020 report (cited by ONU, 2020), the Global Alliance for Buildings and Construction (Global ABC) indicates that the building sector is responsible for 38% of energy-related CO₂ emissions worldwide.

4.1.3. Pollution of the planet by waste

According to ADEME (Optigede, ADEME, S. D.), the building sector in France generates over 42 million tons of waste, 75% of which is inert. ADEME lists 12 environmental impacts attributable to waste, the main ones being those affecting air quality, water quality, resources and human health.

6 • See: Sénat, 2019.

The Ministry of Ecological Transition details the nature of this waste: inert waste is essentially mineral waste such as bricks, concrete, ceramics, glass, *etc.* Non-hazardous waste consists mainly of wood, plastics and metals.

Finally, hazardous waste includes asbestos, solvents, paint, *etc.*

4.1.4. Impact on energy consumption

Last but not least, the building sector consumes a great deal of energy during the operating phase, particularly for heating, ventilation and air conditioning.

According to the European Commission (2020), buildings account for 40% of Europe's energy consumption. The French Ministry of Ecological Transition states that the building sector accounts for 44% of national energy consumption, higher than the transport sector's 31.3%.

The building sector also has an indirect impact on energy consumption, most notably through the high energy demand required to extract the raw materials needed for this industry, such as steel, sand, wood, gravel, *etc.* As Stéphane Bourg shows, 10% of the world's primary energy is used to extract and refine metals.

4.2. *The circular economy: a future for the construction industry?*

A regulatory framework has been put in place to reduce the environmental impact of construction. Hervé de Maistre, President of VALOBAT, presented the various schemes that have emerged from the circular economy.

4.2.1. Recycling: a solution for the future?

Several regulations have been put in place to encourage recycling. The first is EPR, or extended producer responsibility, which is directly inspired by the "polluter pays" principle.

Extended producer responsibility is an important concept in waste management and environmental protection. In essence, it means making producers responsible for managing their products throughout their life cycle, including end-of-life.

According to Hervé de Maistre, extended producer responsibility is a necessary approach to tackling the environmental and social problems associated with the production of consumer goods. By making producers responsible for collecting and treating the waste generated by their products, this approach encourages companies to design more sustainable products and reduce waste. It also shows the importance

of "increasing good quality collection, including source-separated collection through free-of-charge".

However, for extended producer responsibility to be effective, it is important that the right policies and regulations are in place to encourage companies to take their environmental and social responsibilities seriously. Indeed, EPR currently has a number of practical limitations.

EPR, a major financial cost for manufacturers

The costs associated with EPR can be considerable. Producers must bear the costs of collecting, transporting, reusing, recycling and disposing of products. These costs can affect company profitability, particularly for small and medium-sized businesses.

That is why eco-organizations like VALOBAT have been set up, to pool forces by integrating several market players. The latter finance the eco-organization through an eco-contribution, which enables the organization to collect and recycle materials on their behalf. These materials may come from a variety of sources, such as wood, metals, plastics, etc.

Un éco-organisme représentatif des produits, des métiers et des tailles des metteurs sur le marché



Figure 9. © Hervé de Maistre, 2023, ibid.

Complex implementation

EPR can be complex and difficult to implement. Producers have to identify and keep up with ever-changing regulations on products, materials and recycling technologies. They must also cooperate with stakeholders, including governments, regulators and recycling organizations.

As Hervé de Maistre also pointed out, there are still a number of unresolved issues, such as more efficient collection. Some materials, such as glass and gypsum, are poorly collected, even though they can be recycled.

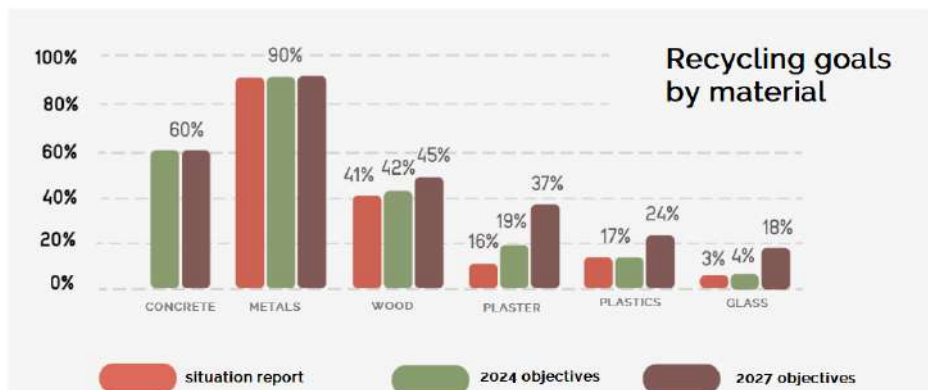


Figure 10. Recycling goals by material (source: adapted from Hervé de Maistre).

EPR also raises the issue of the traceability of building materials. Today, it is difficult to calculate quantities by weight for each material. However, this criterion is one of the objectives of EPR, which requires precise traceability, flow by flow, in order to manage waste streams.

Limited impact on the environment

Although EPR is designed to reduce the environmental impact of products, it can sometimes fall short of this objective. Producers may have no control over the recycling or waste treatment practices of their products, which can lead to environmental damage.

Hervé de Maistre states that "70% of annual waste production is recovered or recycled". However, this percentage applies to the 42 million tons of waste generated by the construction industry, and not to the 242 million tons generated by the construction industry in France every year.

In conclusion, while EPR is an important approach to encouraging companies to take responsibility for their products, it also presents limitations and challenges that need to be taken into account.

4.2.2. Reuse: a niche to be developed?

The aim of reusing building materials is to give them a second life, either in the construction of new buildings or in other building projects. Although it represents a marginal percentage today, reuse has been widely used in the past, as in the case of Lille Flandres station, which in 1867 used a façade from Gare du Nord dating from 1846.

Also, "reuse is the history of building" according to Hervé de Maistre, who recalls a time when reuse was used as a "mine of materials" with "a price to pay" *via* a call for tenders.

Reuse in the building industry is promising, as it reduces construction waste and minimizes the environmental impact associated with the production of new building materials. It can also reduce construction costs by avoiding the purchase of new materials, while preserving the built heritage.

However, reuse comes up against a number of limitations.

Reuse can reduce product quality

The quality of reused products can vary. Products that have been in use for a long time may be damaged, worn or obsolete, which can make them difficult to reuse. It is therefore essential to check the quality of reused products before putting them back on the market. To achieve this, a special performance evaluation system must be put in place, as has been done for new products.

Reused products may not be readily available

Reusable products may not be available in sufficient quantities to meet demand. Indeed, some product categories are not easily accessible and require specific collection and logistics to be reused. In addition, product availability can vary according to season, location and market trends.

A higher cost than new

As Hervé de Maistre points out, the manufacture of new products has become a widespread trend over the past "2 or 3 generations or so, under the impetus of building regulations which have steered us towards a policy that is more horizontal than circular, where an industrialist will manufacture products from raw materials under conditions of quality and economy that are superior to our capacity to do so in terms of re-use today".

The cost of reuse can therefore be high, due to the costs associated with collecting, sorting, repairing and reconditioning products. Reused products often need to be cleaned, disinfected and repaired, which can be costly. Companies involved in reuse must therefore invest in the equipment and resources needed to offer quality

products. Paradoxically, manufacturing a new product costs less than reconditioning an old one, because the new-product channels are better structured.

Lack of durability due to obsolescence

Although reuse reduces waste and greenhouse gas emissions, it does not always guarantee sufficient durability. Reused products may become obsolete or useless as new products are developed. Consequently, reuse must be accompanied by other sustainable practices, such as the reduction of raw material consumption and the use of recyclable materials.

A stubborn social blockage

Last but not least, reuse can meet with resistance from consumers who prefer to buy new products. Reused products can be perceived as unhygienic or of inferior quality, even if they have been carefully cleaned and repaired. It is therefore important to make consumers aware of the environmental and economic benefits of reuse. In conclusion, despite the fact that reuse offers many advantages, it also presents limitations in terms of quality, availability, cost, sustainability and social acceptance. These limitations need to be taken into account when setting up reuse programs.

Conclusion

This international week was particularly rich in its demonstration of many aspects of the energy transition. The ecological mutation is underway, with many positive advances, but we were also able to note certain limits or undesirable effects of new solutions and technologies. Transforming the construction sector to meet environmental challenges and sustainable development objectives without creating negative effects that compromise the performance of solutions: this is the major challenge we face.

The speakers clearly demonstrated the complexity of the value and supply chains, and presented numerous avenues for reflection and concrete solutions for building differently.

Stéphane Bourg showed the importance - both quantitative and strategic - of mining resources in industry and construction. He alerted us to the strong dependence and vulnerability of France and Europe. Recycling metals and minerals can play a key role in the ecological transition in a world where the extraction of natural resources is accelerating. But recycling metals, for example, remains a complex operation, and is not sufficient to satisfy growing demand. It would be more important to look at reserves rather than resources, and to cross-reference these projections with those of future demand to better anticipate the risks of shortages and react accordingly.

Philippe Bihouix emphasized the need to build fewer new buildings and renovate more of the existing stock. The densification of urban centers remains a possible solution for limiting urban sprawl, reducing the artificialization of land and combating car use. However, the dense city and smart city models have their own limitations and cannot necessarily be generalized. The metabolism of the dense city of the 21st century generates negative externalities, various types of vulnerability, high energy and food dependency, and does not promote sobriety or waste recycling as much as we might have hoped. Taken to extremes, this model inevitably leads to environmental degradation and resource depletion.

Claude Imauven points out that nuclear power provides France with independence through its mastery of the technology required to design, maintain and operate nuclear power plants. The new energy directives should enable France to end its dependence on fossil fuels within 30 years, by launching the construction of 6 second-generation EPRs to complement the development of renewable energies (solar, wind, hydrogen), with an option for 8 additional EPRs. This strategy consolidates the place of nuclear power in the French energy mix up to 2100, and ensures the competitiveness of French nuclear players over the coming decades. The second-generation EPR design projects will require the entire nuclear industry chain to capitalize on their skills, invest in research and development, and prospect for and secure new sources of supply.

Hervé de Maistre presented a number of circular economy initiatives. He confirmed the need to develop the recycling and reuse of construction products. Reuse in the building sector is promising, as it reduces construction waste and minimizes the environmental impact associated with the production of new building materials. However, there are still problems to be solved, particularly in terms of quality assurance, durability and availability of these products. This argues for the development of a strong reuse sector. Extended producer responsibility is another important concept in waste management and environmental protection. The aim is to ensure that producers are responsible for managing their products throughout their life cycle. EPR does, however, present certain limitations and implementation difficulties, such as product traceability.

The April 2023 conference highlighted the growing awareness of Europe's and France's vulnerability when it comes to natural resources. At the same time, needs are growing and certain resources (minerals, metals, fossil fuels) are becoming increasingly scarce. There is a real awareness of the need for energy independence and independence from the resources required to achieve the environmental transition. Technological advances in the industrial and construction sectors are numerous, as all the speakers demonstrated. But are they all as effective as expected? Are they being implemented quickly enough and on the right scale? Do they not present coun-

ter-performances or undesirable effects? These are just some of the questions that the speakers addressed frankly, demonstrating both the advantages and limitations of each solution and technology. One of the key conclusions to emerge from the conference was that we must continue to invest massively in research and development, and put in place simple, effective funding mechanisms to support the implementation of the environmental transition in the construction sector.

Sources • Sources

Figure 1.

CHRISTMANN, Patrice et JÉGOUREL, Yves, 2020. De la structuration des chaînes de valeur aux mécanismes de formation des prix : une analyse englobante des marchés des métaux de bases. *In* : WALLARD, Isabelle (dir.). *Matières premières et nouvelles dépendances. Responsabilité et environnement* [en ligne], n° 99, pp. 6-18. Les Annales des Mines. Disponible sur : <https://www.annales.org/re/2020/re-99-juillet-2020.pdf> (consulté le 10.08.2023).

Figure 2.1.

BOURG, Stéphane, 2023. Transitions énergétique, numérique et écologique. Des ressources fossiles vers les ressources minérales. *In* : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distantiel.

Figure 2.2.

BOURG, Stéphane, 2023, *ibid.*

Figure 3.

IEA, 2021. *Committed mine production and primary demand for cobalt, 2020-2040*. Paris : IEA. Disponible sur : <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/committed-mine-production-and-primary-demand-for-cobalt-2020-2040> (consulté le 10.08.2023).

Figure 4.

BIHOUIX, Philippe, JEANTET, Sophie et DE SELVA, Clémence, 2022. *La ville stationnaire : comment mettre fin à l'étalement urbain?*. Actes Sud, 352 p.

Figure 5.

HEMMERDINGER, Thomas, 2020. La sortie des énergies fossiles, un sevrage difficile [en ligne]. *Institut Paris Région/Agence régionale énergie-climat*, 19 mai 2020. Disponible sur : <https://www.arec-idf.fr/la-sortie-des-energies-fossiles-un-sevrage-difficile/> (consulté le 10.08.2023).

Données : AUGISEAU, Vincent et BARLES, Sabine, 2018. *Bilan de Flux de Matières de la Région Ile-de-France en 2015*. Rapport de recherche pour le Conseil régional d'Île-de-France [en ligne]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/346604865_Bilan_de_flux_de_matiieres_de_la_region_Ile-de-France_en_2015.

Figure 6.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2021. Panorama des émissions françaises de gaz à effet de serre [en ligne]. *notre-environnement.gouv.fr*, 26 janvier 2021. Disponible sur : <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone-ressources/article/panorama-des-emissions-francaises-de-gaz-a-effet-de-serre> (consulté le 10.08.2023).

Données : CITEPA, BONGRAND, Grégoire et JUILLARD, Mélanie (dir.) 2023. *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France de 1990 à 2021. Rapport national d'inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)* [en ligne]. Rapport n° 2230CRF/2023. MTE, Caisse des Dépôts, CITEPA, 984 p. Disponible sur : https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/ccnucc/ccnucc_france_2023.pdf Citepa, Inventaire format CCNUCC KP, 2020

Figure 7.

ADEME. *Base carbone* [en ligne]. Disponible sur : <https://data.ademe.fr/datasets/base-carboner>.

Figure 8.

Roulex, Domainia, CC BY-SA 3.0 (source : Wikimedia Commons ; fond de carte : Sting)

Figure 9.

DE MAISTRE, Hervé, 2023. Développer l'économie circulaire dans le bâtiment. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

Figure 10.

DE MAISTRE, Hervé, 2023, *ibid.*

Bibliographie • References

ADEME, 2021. *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat. Synthèse* [en ligne]. S. L. : ADEME, 23 p. Disponible sur : <https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/6529/transitions2050-synthese.pdf> (consulté le 10.08.2023). Collection « Horizons ».

BIHOUIX, Philippe, 2023. Vers des métropoles « vertes » ou des villes « stationnaires » ? In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

BOURG, Stéphane, 2023. Transitions énergétique, numérique et écologique. Des ressources fossiles vers les ressources minérales. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

CHARTIER, Hélène, 2023. L'accélération des bâtiments et villes bas-carbone. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

COMMISSION EUROPÉENNE, 2020. À la une : l'efficacité énergétique des bâtiments [en ligne]. *europa.eu*, 17 février 2020. Disponible sur : https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_fr (consulté le 10.08.2023).

DE MAISTRE, Hervé, 2023. Développer l'économie circulaire dans le bâtiment. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

DESJARDINS, Xavier, 2010. Que retenir de la courbe de Newman et Kenworthy. In : CHARMRES, Éric (dir.). *La densification en débat. Études foncières*, n° 145.

DURUISSEAU, Kévin, 2014. L'émergence du concept de transition énergétique. Quels apports de la géographie. *Bulletin de la Société géographique de Liège. Varia* [en ligne], vol. 63, n° 2. halshs-01412895.

LECONTE, Christine et GRISOT, Sylvain, 2022. *Réparons la ville ! Propositions pour nos villes et nos territoires*, Éditions Apogée, 90 p.

LOUVET, Brice, 2023. Des chercheurs développent un béton qui absorbe plus de CO2 qu'il n'en émet [en ligne]. *Science Post*, 19 avril 2023. Disponible sur : <https://science-post.fr/ce-beton-absorbe-plus-de-co2-quil-nen-emet/> (consulté le 10.08.2023).

IMAUVEN, Claude, 2023. Le nucléaire, un atout français pour aujourd'hui et demain. In : MS® IBD. *Net Zero Carbon Strategy, in Real Estate and Building Sector, in the world by 2050*. 3-7 avril 2023. Distanciel.

MACRON, Emmanuel, 2022. *Reprendre en main notre destin énergétique !*. Discours prononcé à Belfort, 10 février 2022. Elysée. Disponible sur : https://www.gouvernement.fr/upload/media/default/0001/01/2022_02_nucleaire_belfort.pdf (consulté le 10.08.2023).

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES MTECT), MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE (MTE), 2023. Programmation pluriannuelles de l'énergie (PPE) [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 15 mai 2023. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe> (consulté le 10.08.2023).

MTECT, MTE, 2022. Construction et performance environnementale du bâtiment [en ligne]. *ecologie.gouv.fr*, 14 octobre 2022. Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/construction-et-performance-environnementale-du-batiment> (consulté le 10.08.2023).

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2022. *Data Lab. Chiffres clés de l'énergie. Édition 2022* [en ligne]. Paris : SDES, 88 p. Disponible sur : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2022/> (consulté le 10.08.2023).

NEWMAN, Peter G. et KENWORTHY, Jeffrey R., 1989. *Cities and automobile dependence: An international sourcebook*. Gower Publishing.

ONU INFOS, 2018. 2,5 milliards de personnes de plus habiterons dans les villes d'ici 2050 [en ligne]. *news.un.org*, 16 mai 2018. Disponible sur : <https://news.un.org/fr/story/2018/05/1014202> (consulté le 10.08.2023).

ONU, PROGRAMME POUR L'ENVIRONNEMENT, 2020. Les émissions du secteur du bâtiment ont atteint un niveau record [en ligne]. *unep.org*, 16 décembre 2020. Disponible sur : <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/communiquede-presse/les-emissions-du-secteur-du-batiment-ont-atteint-un> (consulté le 10.08.2023).

OPTIGEDE, ADEME, S. D., Déchets du bâtiment [en ligne]. *optigede.ademe.fr*. Disponible sur : <https://optigede.ademe.fr/outils-multi-acteurs/batiments-et-travaux-publics/dechets-du-batiment/cadre-reglementaire> (consulté le 10.08.2023).

PITRON, Guillaume, 2018. *La guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique*. Paris : Les liens qui libèrent, 296 p.

SÉNAT, 2019. La sidérurgie reste compétitive et est la fondation stratégique de nombreuses filières aval de l'industrie française. In : *Donner des armes à l'acier français : accompagner la mutation d'une filière stratégique*. Rapport d'information n° 649 (2018-2019). Disponible sur : <https://www.senat.fr/rap/r18-649-1/r18-649-14.html> (consulté le 10.08.2023).

L'équipe organisatrice *The management team*



Dominique Naert

Directeur du MS[®] IBD
*Director of the Advanced
Master[®] Sustainable
Real Estate and Building,
Energy and Digital
Transitions*



Bruno Mesureur

Coordinateur
et président de
la conférence
internationale
*Coordinator and Chair
of the International
Conference*



Karen Peyronnin

Modératrice de la
semaine internationale
*Moderator of the
International Conference*



Nivalath Nearith

Inspectrice des études
Academic Advisor

Les conférenciers

The speakers

L'équipe tient à remercier chaleureusement les experts et les intervenants de la semaine internationale :

Philippe Bihouix

Stéphane Bourg

Anthony Briant

Hélène Chartier

Grégoire Chauvière

Le Drian

Charles Édouard
Delpierre

Doudou Deme

Fabrice Denis

Philippe Estingoy

Cristina Garcez

Tatiana Giraud

Thomas Granier

Marjolaine Grisard

Claude Imauven

Abha Narain Lambah

Pierre Larrouturou

Thomas Le Diouron

Hervé de Maistre

Stéphanie Merger

Bruno Mesureur

Emmanuel Normant

Dominique Naert

Michel Pelenc

Nicolas Rondet

Peter Sweatman

Nicolas Ziesel

Les auteurs du Yearbook

The Yearbook authors



AARICH Oumaima

Chargée d'études
SOLER IDE



ARAS Lionel

Directeur Grands projets
Sogelym Dixence



BAQUET Erwan

Chef de service adjoint
Saint-Gobain Research Compiègne



BARTHELAIX Charles Arthur

Adjoint direction ingénierie
Paris 2024



BOO Alain

Directeur commercial
Cordissimmo



CAHUANA HURTADO Alejandro

Directeur général adjoint
Madrid Inmobiliaria



CHAMBINAUD Sébastien

Responsable des équipes spécialisées
Départ. du Val-de-Marne



DELGADO Adrien

Chargé de développement
Bateco



DIOP Tahibou

Finance Business Partner
SGCIB



ESSONO Yvan Jean Laurent

Responsable d'opération immobilière
Crédit Agricole Immobilier



FRANCIS Rita

Ingénieure Structures
SECC Ingénierie



GUEROUALI Samir

Directeur technique activités BPE
Saint-Gobain



HIBERT Kévin
Chargé d'opérations
Logeal Immobilière



JARBAL Othmane
Chargé d'opérations
*SEM Paris Saclay
Management*



KETTERER Maïté
Directrice Économie circulaire
Saint-Gobain Solutions



LALEUF Benjamin
Ingénieur commercial
ENGIE Solutions



**LANGLOIS
d'ESTAINTOT
Wandrille**



MARANDET Isabelle
Responsable régionale
Saint-Gobain



MAUPERON Éric
Chef de département
Île-de-France Mobilités



PORCHET Manuel
Adjoint au Directeur Service
patrimoine
*Compagnons du Devoir et
du Tour de France*



ROSIER Pierre
Directeur général
St Pierre Immobilier



SAID Ramy
Responsable de programmes
Nexity



SIAH Yasmine
Chargée de performance
énergétique
Espaces ferroviaires



WYCKAERT Théo
Assistant responsable de
projets
EQUANS



Pour toutes vos recherches, trouver de la documentation et connaître les informations pratiques de la bibliothèque

To start your documentary search, find documentation and practical information about the library

<https://bibliotheque.enpc.fr>

Ce *Yearbook* a été réalisé par la Direction de la Documentation, des Archives et du Patrimoine de l'École des Ponts ParisTech en collaboration avec Dominique Naert, directeur du MS[®] IBD et Bruno Mesureur, coordinateur de la semaine internationale. Ce travail d'édition s'inscrit dans la continuité des missions de conservation et de diffusion des savoirs de l'École.

La Direction de la Documentation, des Archives et du Patrimoine met à disposition des étudiants un espace de 800 m², dénommé La Source, comptant 2 salles de lecture et 6 espaces projets équipés pour le travail en groupe (tableau blanc numérique connecté, écran tactile, visioconférence, etc.).

170 000 ouvrages et revues de référence, dont des ressources en ligne – ebooks, revues scientifiques et bases de données spécialisées, sont disponibles et complétés par un riche patrimoine de 80 000 documents accessibles sur demande. Les étudiants bénéficient de sessions de formation aux ressources et aux outils documentaires intégrées aux cursus.

Véritable outil au service de l'enseignement et de l'apprentissage, La Source offre un accès à un large panel d'informations. On y vient pour se former et s'informer, pour préparer un projet, mais également, pour travailler en groupe, partager des idées, des expériences et des savoirs.

This Yearbook was made by the Department of Documentation, Archives and Heritage of the École des Ponts ParisTech, in close collaboration with Dominique Naert, director of the Advanced Master[®] and Bruno Mesureur, coordinator of the International Conference. This editorial work is a way of fulfilling the school's mission to conserve and disseminate knowledge.

The Department of Documentation, Archives and Heritage provides students with an 800 m² space, named La Source. It comprises 2 reading rooms and 6 project rooms equipped for group work (digital whiteboard, touch screens, videoconference equipment, etc.)

170,000 books and scientific journals, including online resources – ebooks, scientific journals and specialized databases, are available, on top of a rich documentary heritage of 80,000 documents available on request. Students benefit from training sessions and personalized support with those resources.

A real asset for teaching and learning, La Source gives students access to a wide variety of information. It is a place to educate oneself, a place to learn, a place to prepare a project, but also to work in groups and share ideas, experiences and knowledge.

Conception et réalisation • Publishing team

Alexia Humbert, chargée d'édition

Vitória Zavattieri de Andrade, chargée de diffusion/distribution

Direction de la Documentation, des Archives et du Patrimoine

École des Ponts ParisTech

6-8 avenue Blaise Pascal - Cité Descartes

Champs-sur-Marne - F-77455 Marne-la-Vallée cedex 2

Impression • Printed at

Service reprographie de l'École des Ponts ParisTech

École des Ponts ParisTech's reprography department

Cet ouvrage a été réalisé grâce à la chaîne d'édition Métopes (développée par l'université de Caen)

Plus d'informations sur : <http://www.metopes.fr/>

Retrouvez ce Yearbook en ligne • Find this Yearbook online

► www.ecoledesponts.fr > Formation continue > Mastère Spécialisé® > Immobilier et Bâtiment Durables

Pour plus d'informations, n'hésitez pas à contacter • For more information, please contact :

Directeur du MS® Immobilier et bâtiment durables • *Advanced Master's Headmaster*

Dominique Naert

naert.dominique@wanadoo.fr

06 17 94 49 47



@EcoledesPonts @BibdesPonts



YouTube EcoledesPonts

Crédits iconographiques

Couverture : La coulée verte, Paris © Barbaud (source : Adobe Stock) — **Page 27** : Banque européenne d'investissement, bâtiment IAK, Kirchberg © Robert Glod, 2019, CC BY-NC-ND 2.0 (source : Flickr) — **Page 79** : Réalisation de La Voûte Nubienne, bureau © Association La Voûte Nubienne (AVN) — **Page 129** : Unity Park, Addis Abeba © S.N., 2021, CC BY-SA 4.0 (source : Wikimedia Commons) — **Page 193** : La Magasins généraux, Pantin © Manuel Bouquet, 2017 (source : Terra) — **Page 227** : Hôtel à insectes © Aneta (source : Adobe Stock) — **Page 255** : Bâtiment Europa, Bruxelles © Conseil de l'Europe, 2015, CC BY 2.0 (source : Wikimedia Commons) — **Page 326** : photo de La Source © David Delaporte, 2018.

ISSN 2801-9091

En bref

En 2021, le MS[®] IBD (Immobilier et bâtiment durables) a créé un cycle de conférences internationales qui donne la parole à des intervenants du monde entier. Ces conférences sont enregistrées et forment un corpus très riche mis à la disposition des élèves du MS[®] IBD, mais aussi, de tous les élèves de l'École des Ponts ParisTech. En 2023, le cycle s'est déroulé sur 5 journées. Les conférences ont été suivies en distanciel et en présentiel.

Les éclairages des experts, à la fois techniques et scientifiques, ont donné lieu à un travail de comparaison par les élèves des stratégies nationales bas-carbone de différents pays évoqués. Le présent *Yearbook* rassemble l'ensemble de ces analyses afin de donner à voir l'ampleur et la profondeur des réflexions de ces professionnels, porteurs des évolutions à venir dans l'immobilier et le bâtiment.

Cet événement, au départ conçu pour la circonstance, est appelé à se renouveler, afin d'enrichir chaque nouvelle promotion des nouvelles technologies et de l'avancée des réflexions à l'échelle internationale pour parvenir à des sociétés moins carbonées.

In 2021, the Advanced Master[®] IBD (Sustainable Real Estate and Building – Energy and Digital Transitions) created a cycle of international conferences which gives the floor to speakers from all over the world. These conferences are recorded and form a very rich corpus made available to students of the Advanced Master[®] IBD, but also to all students of the École des Ponts ParisTech. In 2023, the cycle took place over 5 days. The conferences were followed on-line and in-person.

The experts' insights, both technical and scientific, let to a comparison by the students of the national low-carbon strategies of the different countries mentioned. This Yearbook gathers all of these comparative analyses in order to display the relevance and depth of the reflexions of these professionals, who are the bearers of future developments in real estate and building.

This event, initially conceived for the occasion, is destined to be repeated, so that each new promotion will learn about the most recent technologies and reflexions at the international scale to make our world a less carbon intensive one.