

# lieuxdits #24

spécial *sustaining the energy transition*





## Sustaining the Energy Transition

The 28<sup>th</sup> session of the Conferences of Parties (COP28), to be held in the United Arab Emirates in November 2023, is set to tackle key focus areas to advance and accelerate the energy transition. More than three decades after the establishment of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the COP28 meeting comes at a critical moment for global transformative climate action. The words pronounced by UN Secretary-General António Guterres after COP27 set the scenario for the significant challenges ahead: "*Greenhouse gas emissions keep growing. Global temperatures keep rising [...]. We are on a highway to climate hell with our foot on the accelerator*".<sup>1</sup>

The agenda to address the mandates of the UN Sustainable Development Goals (SDG) – and, more specifically, SDG 7 "Affordable and Clean Energy" – is today compounded, among other menaces, by three clear and present threats to the socio-economic, environmental, and geopolitical sustainability of our societies: 1) *the post-pandemic recovery*, whose economic rebound has outpaced energy production; 2) the global effects of *climate change*, with its increased pressure on energy needs to respond to more intense shifts in weather patterns; 3) the dramatic surge of *military hostilities* in eastern Europe and the Middle East, which – besides its humanitarian costs – is threatening traditional sources and routes for hydrocarbon-based energy supply.

The combination of these phenomena requires a radical shift in the role held by energy to power our societies. This makes, of course, our built environment the more crucial in addressing such challenges, as our cities and buildings can greatly contribute to curb energy requirements and adapt to new climate scenarios. And not only by increasing the resilience of our energy infrastructure, from energy production to distribution networks. But also, by *fundamentally rethinking the very nature of energy demands*.

In buildings, energy systems convert fuel and electricity into heating, cooling, ventilation, and lighting. But what is this for? The greatest contributors to energy demands are, actually, the occupants, who use energy to *comfortably* perform their activities.<sup>2</sup> But how efficient are the comfort models that are embedded in our standards? A gap is often detected between design predictions and measured outcomes in buildings' energy performance, and this is mostly due to our incomplete capacity to model people's needs and behaviours. In fact, by targeting comfort as *general acceptability* (thermally, visually, etc.), and hence maintaining indoor environmental settings within a narrow range of static conditions, conventional design practices neglect the differences in personal demands and individual perceptions that drive users' requirements and, ultimately, influence their energy control actions. Similar considerations apply to the contexts that frame our lives of urban dwellers. Our cities are unvaryingly electrically lit at night, without considering the effective density of demand, the need for differentiation of the light signal (e.g., based on circadian or visual efficiency functions), its distribution, or the need to preserve the requirements of non-human urban inhabitants (flora and fauna).

Crucial steps are urgently needed to sustain the energy transition. Immediate, resolute, and collective responses are required by policy-makers, city-planners, building designers, developers and stakeholders, and by the general population. As per the commitment recently outlined by Ursula von der Leyen, President of the European Commission, "*We stay ambitious. We stick to our growth strategy. And we will always strive for a fair and just transition! That means a fair outcome for future generations – to live on a healthy planet*".<sup>3</sup> To succeed, this is a commitment we should all be part of.

*Sergio Altomonte, LAB President*

1 - Guterres, A. (2022). *Statement by the Secretary-General at the conclusion of COP27. Sharm el-Sheikh*. 19 November 2022.

2 - Altomonte S., Altomonte C. (2023). COP27: A Step Ahead or a Missed Opportunity? *Buildings & Cities*, buildingsandcities.org.

3 - Von der Leyen, U. (2023). *State of the Union 2023*. Strasbourg, 13 September 2023.

# Electricity security in South America

Are we on the right path?

## Author

Ursula Cardenas Mamani  
Civil Engineer, PhD student  
and Research Fellow (FNRS),  
Urban Metabolism Lab, LAB,  
UCLouvain

© 0000-0003-3505-8213

**Abstract.** Greenhouse gas (GHG) emissions are largely driven by energy production and use, accounting for over one third of global emissions. Therefore, diversifying our energy sources is a critical step towards decarbonization. In Latin America, energy demand is on the rise, and most countries in the region rely heavily on hydropower, with an electricity mix of over 50%. In this article, we'll explore the impact of climate change on current energy systems and examine how transitioning to alternative energy sources can contribute to reducing GHG emissions. We aim to shed light on the importance of energy diversity in promoting a sustainable and secure energy future: how will the future climate affect current energy systems, and how are they transitioning towards alternative sources reduce GHG emissions?

**Keywords.** renewable energies · South America · development · electricity use · climate change

**Résumé.** Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont en grande partie dues à la production et à la consommation d'énergie, qui représentent plus d'un tiers des émissions mondiales. Par conséquent, la diversification de nos sources d'énergie est une étape essentielle vers la décarbonisation. En Amérique du Sud, la demande d'énergie est en hausse et la plupart des pays de la région dépendent fortement de l'hydroélectricité, avec un mix électrique de plus de 50 %. Dans cet article, nous souhaitons mettre en lumière l'importance de la diversité énergétique dans la promotion d'un avenir énergétique durable et sûr : comment le climat futur affectera-t-il les systèmes énergétiques actuels, et comment la transition vers des sources alternatives permettra-t-elle de réduire les émissions de GES ?

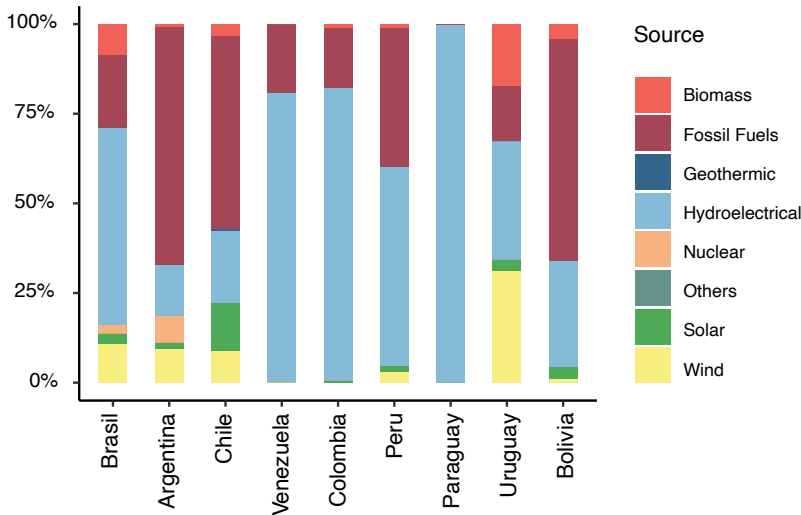
**Mots-clés.** énergies renouvelables · Amérique du Sud · développement · consommation d'électricité · changement climatique

## Introduction

In 2021, the biggest increase in global CO<sub>2</sub> emissions came from the production of electricity and heat with a 6% increase compared to the 2020. While the adoption of cleaner electricity sources is on the rise on a global scale, the largest contribution comes from hydroelectricity. Hydropower plants generated 4300 TWh of energy, 17% of the global generation.

Central and South America accounts for only 5% of the global electricity demand, with growth rates second only to the Asia-Pacific regions (Washburn & Pablo-Romero, 2019). South America's energy mix is diverse (Figure 1), primarily consisting of fossil fuels and hydropower. The region was once a leader in renewable energy, primarily utilizing hydropower. However, economic factors led

to fossil fuels gradually replacing these sources. Future projections estimate that by 2040, the electricity demand will increase by 80% of its current production (Maia et al., 2022). The region's reliance on hydropower and its location in a climate-sensitive region makes it vulnerable to climate change. This means that opportunities and challenges will arise as the region seeks to meet its rising demand for energy while reducing carbon emissions. This article aims to examine the current state-of-art of electricity in South America and its related emissions, the impact of climate change in the current energy systems and the alternatives available and its feasibility at a bio-physical level. Additionally, it explores alternative approaches to energy production and consumption in South America and assesses if these approaches align with the global climate agenda.



① Distribution of the energy "mix" in each South American country, 2021. Source: SIELAC, 2022

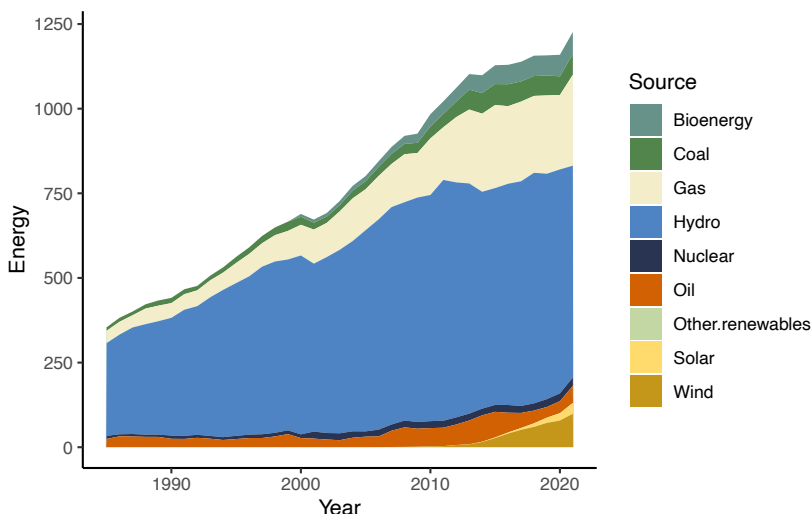
### Outlook of Electricity Generation

As Fig. 1 shows, one of the defining characteristics of Latin America's (LA) electricity mix is its heavy reliance on renewable sources, particularly hydropower. In 2021, hydropower played an important role in the region's electricity generation, contributing to more than half of the output (58%). In most of the countries, as it's shown by fig.1, hydropower is the primary source of power, accounting for over 80% of electricity generation in Paraguay, Colombia and Ecuador (SIELAC, 2022).

Thermoelectric power, mainly natural gas and coal, is the second most dominant energy source, it accounts for 28% of consumption in 2021. Rising energy demand has led to the inclusion of other

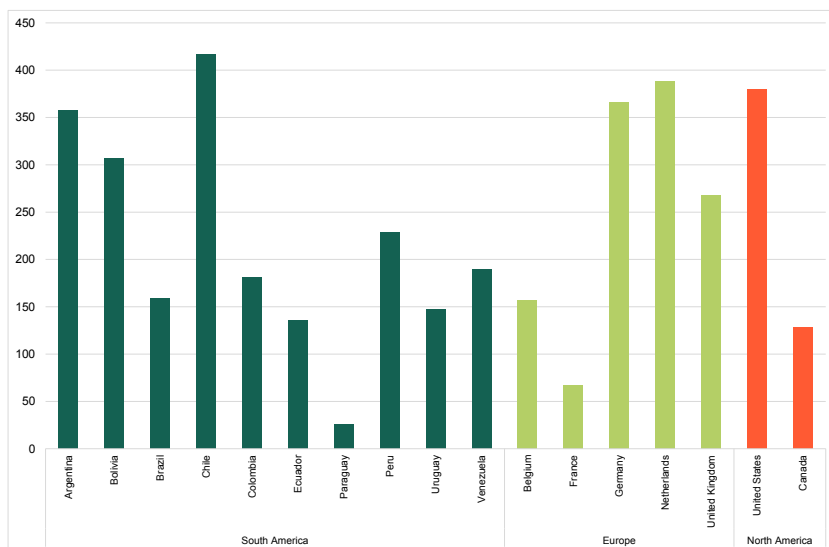
energy sources besides hydropower, mainly fossil fuels. Consequently, natural gas has become an increasingly important source of electricity generation in LA, given the region's significant reserves (Chavez-Rodriguez et al., 2017). Notable is the increasing, in the last decade, of solar and wind based energies, with wind energy production multiplying over 300 times and solar energy experiencing a 15-fold increase by 2021.

This growth can be attributed to specific policies and incentives. In the early 2000s, feed-in-tariffs encouraged solar energy adoption in Brazil, Ecuador, and Argentina (Kitzing et al., 2015; Sauma, 2012). Later, policies shifted towards net-metering systems, a scheme that credits small and renewable source owners for the electricity they generate (Jacobs & Sovacool, 2012). For example, if the excess electricity from solar



② Electricity generation in South America by type of source (1985–2021). Units are in Terawatts hour – TWh. Source: OWID, 2022

③ Emissions factor in South America, Europe and North America. These factors consider emissions during the use phase and not during the construction and decommission phases. Source: Dale, 2021



panels of a building can be sold back to the electric grid. These measures have been adopted by Colombia, Argentina, Brazil, and Chile in the last decade, leading to an increase in renewable energy capacity (Coviello & Ruchansky, 2017). Government-led auctions have been a primary mechanism for procuring or auctioning renewable electricity capacity, significantly contributing to the renewable energy landscape in the region (Lucas et al., 2013).

Sectors such as transportation and industry are vital for meeting global climate change goals. However, with increasing energy consumption rates and expected future growth due to economic expansion, the electricity sector is crucial for reducing GHG emissions.

### Let's look at the science: How is the vulnerability to climate change going to affect the electricity supply?

Energy security refers to the stable and continuous provision of energy in a region that involves resiliency, reliability and diversified energy supplies (Valentine, 2011). Energy supplies can be threatened by man-made events (economic crises) and natural occurrences (storms or earthquakes). Given the current climate trend, the effects of climate change on the electricity supply from renewables will be investigated.

Climate change can have a wide range of impacts on hydropower generation and operations. Precipitation patterns can influence streamflow, or the amount of water required to generate electricity. Temperature increases can also have af-

fected evapotranspiration, reducing the amount of water available in the basin and leading to underrate total capacity (Hoes et al., 2017).

The case of South America is, in this sense, paradigmatic. This region has the most tropical glaciers that feed several hydropower run-of-river plants (Bradley et al., 2006). Run-of-river plants don't require to store water since they collect water directly from the river, and rely on the river's geography produce electricity. Because dams or reservoirs are scarce in this region, it implies a high reliance on seasonal variability due to limited storage capacity. As a result of rising global temperatures, many glaciers are receding and, in some cases, vanishing.

The findings so far of studies that predict these vulnerabilities in the future are not entirely consistent. Caceres et al. (2021) analyzed 134 hydropower plants in Colombia, Brazil, Ecuador and Peru projecting climate change impacts until the year 2100. The study found increased rainfall patterns in summer and winter, leading to increased capacity: 2.6%-8.4% for Colombia and 6.7-9.3% for Peru. In the case of Brazil, seasonal changes of capacity increase and decrease up to 5% depending on the scenario adopted.

A study examining the impact of climate change on a Colombian basin projected increased extreme events leading to a 35% reduction in total river inflow and up to 32% reduction in electricity production by 2040 (Noreña et al., 2009). In contrast, a project that studied changed in hydropower potential until 2050 in Ecuador (Carvajal et al., 2019) predicted a 14% increase in electricity generation. Due to this increase, a seven-fold reduction of GHG emissions

is expected compared to a natural gas predominant scenario. Climate Change also affects wind energy, particularly in northern and tropical regions. Colombia and Venezuela are examples of regions where wind velocity is predicted to increase, leading to a wind power capacity of up to 48% of the historical mean.

Research on climate change's impact on South American electricity is limited compared to regions such as East Asia and Europe. For instance, studies indicated that rainfall will be the main factor affecting electricity availability in the region, with positive effects on electricity output. However, studies considering only annual values may overlook seasonal variations, and the ones that did show mixed results. As a consequence, the uncertainty of the impact of climate change can result in a short-sighted approach to future planning and decision-making.

South American countries are creating medium- and long-term energy plans to achieve sustainable growth. Main common themes include ensuring energy accessibility and quality, modernizing infrastructure and embracing digitalization to improve efficiency, and prioritizing environmental goals by reducing emissions, promoting renewables, and planning for future climate impacts. A summary of the policies corresponding to the last theme is shown in Fig. 4.

Long-term goals in most of the plans aim for the dominance of renewables, which in turn will result in fewer carbon emissions. Most of these countries are planning to opt for solar and wind power, due to the fact that these are becoming cheaper and easier to implement and acquire (Kavlak et al., 2018).

## A Global challenge

Determining whether each country is taking the *right* path or taking suitable measures to address climate change is a complex task. Given its global acceptance, The Paris Agreement (PA) then becomes the main frame of reference to determine the compromise of each country towards future environmental impacts. When implementing global climate policies, holding developing countries to the same emission standards as to industrialized countries, raises questions of fairness. Climate and energy justice involve the fair distribution of the benefits and burdens of energy production and its environmental impacts among communities, societies, and countries (Lyster, 2017).

Countries in South America, as much as other developing countries, desire to achieve the same levels of economic development in the same way industrialized countries now have in levels of prosperity, comfort and wellbeing. Historically, economic growth has been intrinsically linked with resource use and emissions. Industrialized countries used a large amount of energy and resources to achieve their current economic development and prosperity, contributing greatly to the global GHG emissions. Efforts are being made in order to *decouple* economic growth, material use and emissions as societies continue to grow (Haberl et al., 2019). The objective of decoupling is to maintain productivity and GDP growth while using fewer resources than in the past. While there is evidence that in some countries, the rate of resource use is slower than economic growth, an absolute separation is rare and often occurs in periods of economic depression (Shao et al., 2017).

| Country   | Renewable Energy Goals   | Current Progress                              | Implementation Mechanisms & Policies   |
|-----------|--|---|--|
| Brazil    | 37 GW additional electricity by 2030, 110 GW wind by 2050        | Investing in solar and wind                   | Reverse auctions, auctioning power plants, increasing small-scale solar PV capacity  |
| Chile     | 70% renewables by 2050, phase out coal by 2040                   | 20% renewables by 2020, 18% from solar & wind | Power Purchase Agreements (PPAs) through auctions  |
| Argentina | 20% renewable electricity by 2025                                | 13% of the total by 2021                      | Long-term plans to double renewable energy production, natural gas to produce up to 50% of electricity mix   |
| Colombia  | 50% renewables by 2050, 2,500 MW by 2022                         | Less than 1,512 MW achieved                   | Wind and solar auctions, a law requiring 10% clean energy purchase   |
| Bolivia   | 79% renewable energy by 2030, increase wind, biomass, geothermal | 5% in 2020 to 19% by 2030                     | State-owned electricity company, Central Bank of Bolivia, international funding, regulations to decentralize the system, exemption of equipment from import duties |

④ Future plans and policies for South American countries

Therefore, it is important to acknowledge that developing countries will still need resources, energy, and thus, emissions, to change their socioeconomic conditions.

This issue was raised at the COP26 summit in Glasgow, Chinese delegates proposed (and were rejected) an approach based on attributing *responsibility* for historical emissions contributions (The Guardian, 2021). Developing countries are more concerned with ensuring global mitigation policies rather than adaptation policies specific to individual countries (Onifade, 2021). Industrialized countries have historically opposed responsibility measures due to fears of compensation claims. Moreover, high-income countries' commitment to provide low-income countries \$100 billion per year by 2020 for climate-change mitigation and adaptation measures was not fulfilled (Timperley, 2021).

### **The right (?) path for decarbonization processes in South America**

This article provided an overview of the current state of electricity generation in South America. The region has historically relied mainly on hydropower as the dominant source of electricity, but rising energy demand has led to the inclusion of other sources, such as fossil fuels.

This *path* has also led to a significant increase in carbon emissions. The transition to cleaner energy is already underway, as evidenced by the individual efforts of each nation of this continent, and it is expected to accelerate, but at a slower pace than in other regions. As South America's energy production continues to grow, it's crucial to address the challenge of meeting rising energy demands sustainably.

Switching to renewable energy sources comes with infrastructure and financial challenges. Future climatic events could endanger the energy systems and the delivery of energy, particularly hydroelectricity. While some studies suggest that increased rainfall patterns may positively impact hydropower production, uncertainties remain about the negative effects of climate change on the region's availability. More research is needed to fully understand these impacts.

The globally accepted PA arises issues of climate and energy justice when considering the fair distribution of benefits and burdens among communities and countries all over the globe. Developing nations are seeking to improve their economies and lower their emissions, but they still need resources (Wang et al., 2019). Holding them to the same emission standards as industrialized countries raises questions of fairness, emphasizing the need for cooperation in combating climate change. ■



## Bibliography

- Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F. & Vergara, W. (2006). Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, 312(5781), 1755–1756.
- Caceres, A. L., Jaramillo, P., Matthews, H. S., Samaras, C., & Nijssen, B. (2021). Hydropower under climate uncertainty: Characterizing the usable capacity of Brazilian, Colombian and Peruvian power plants under climate scenarios. *Energy for Sustainable Development*, 61, 217–229.
- Carvajal, P. E., Li, F. G. N., Soria, R., Cronin, J., Anandarajah, G., & Mlugetta, Y. (2019). Large hydropower, decarbonisation and climate change uncertainty: Modelling power sector pathways for Ecuador. *Energy Strategy Reviews*, 23, 86–99.
- Chávez-Rodríguez, M. F., Dias, L., Simoes, S., Seixas, J., Hawkes, A., Szklo, A., & Lucena, A. F. (2017). Modelling the natural gas dynamics in the Southern Cone of Latin America. *Applied Energy*, 201, 219–239.
- Coviello, M. & Ruchansky, B. (2017). Avances en materia de energías sostenibles en América Latina y el Caribe: resultados del Marco de Seguimiento Mundial, informe de 2017.
- Dale, S. (2021). *BP statistical review of world energy*. BP Plc: London, UK, 14–16.
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, F., Müller, D. B., & Fischer-Kowalski, M. (2019). Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, 2(3), 173–184.
- Hoes, O. A. C., Meijer, L. J. J., Van Der Ent, R. J., & Van De Giesen, N. C. (2017). Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential. *PLOS ONE*, 12(2), e0171844.
- Jacobs, D. & Sovacool, B. K. (2012). Feed-In Tariffs and Other Support Mechanisms for Solar PV Promotion. *Comprehensive Renewable Energy*, 1, 73–109.
- Kavlak, G., McNerney, J., & Trancik, J. E. (2018). Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. *Energy policy*, 123, 700–710.
- Kitzing, L., Wendring, P., Wigan, F., & Förster, S. (2015). Auctions for Renewable Support in Denmark: Instruments and lessons learnt: Report D4. I-DK, December 2015.
- Lucas, H., Ferroukhi, R., & Hawila, D. (2013). *Renewable energy auctions in developing countries*. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- Lyster, R. (2017). Climate justice, adaptation and the Paris Agreement: a recipe for disasters? *Environmental Politics*, 26(3), 438–458.
- Maia, S., Demóro, L., & Foroni, L. (2022). *Climatescope 2022 Power Transition Factbook*. <https://global-climatescope.org/>
- Noreña, J. E. O., García, C. G., Conde, A. C., Magaña, V., Sánchez, G., & Esqueda, T. (2009). Vulnerability of water resources in the face of potential climate change: generation of hydroelectric power in Colombia. *Atmósfera*, 22(3), 229–252.
- Onifade, T. T. (2021). Climate Justice Under the Paris Agreement: Framework and Substance. *CCLR*, 233.
- OWID. (2022). *Electricity generation*. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-generation?tab=chart>
- Sauma, E. E. (2012). *Políticas de fomento a las energías renovables no convencionales (ERN) en Chile*. Centro de Políticas Públicas UC.
- Shao, Q., Schaffartzik, A., Mayer, A. & Krausmann, F. (2017). The high "price" of dematerialization: A dynamic panel data analysis of material use and economic recession. *Journal of Cleaner Production*, 167, 120–132.
- The Guardian. (2021). *China's top Cop26 delegate says it is taking 'real action' on climate targets* | Cop26 | The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2021/nov/10/chinas-top-cop26-delegate-says-it-is-taking-real-action-on-climate-targets>
- Timperley, J. (2021). The broken \$100-billion promise of climate finance - and how to fix it. *Nature*, 598(7881), 400–402.
- Valentine, S. V. (2011). Emerging symbiosis: Renewable energy and energy security. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(9), 4572–4578.
- Wang, Q., Jiang, R. & Zhan, L. (2019). Is decoupling economic growth from fuel consumption possible in developing countries? A comparison of China and India. *Journal of cleaner production*, 229, 806–817.
- Washburn, C. & Pablo-Romero, M. (2019). Measures to promote renewable energies for electricity generation in Latin American countries. *Energy Policy*, 128, 212–222.

# Pour sortir de l'impasse

Réflexion(s) stratégique(s) sur la rénovation du bâti

## *Auteur-es*

*Sophia Sentissi*

*Architecte, doctorante*

*Super-Positions (domaine  
Preservation)*

*UCLouvain, LOCI+LAB*

© 0000-0003-4866-2348

*Giulia Marino*

*Architecte, professeure*

*Super-Positions*

*(domaine Preservation)*

*UCLouvain, LOCI+LAB*

© 0000-0001-7110-1827

*Giuseppe Galbiati,*

*Ingénieur-architecte, docteur en*

*Art de bâtir et Urbanisme*

*Super-Positions (domaine  
Preservation)*

*UCLouvain, LAB*

*EPFL, ENAC-TSAM*

© 0000-0003-1635-8341

**Résumé.** *Les objectifs de neutralité carbone énoncés dans le Green Deal européen annoncent un changement de regard face aux pratiques performancielles établies de longue date. La crise énergétique que nous venons de traverser aurait-elle révélé les failles d'une approche rigide techniciste ? Cet article fait état de trois recherches en cours au sein l'équipe de recherche Super-Positions (domaine Preservation) de l'Institut LAB. Conduites avec des outils disciplinaires et méthodologiques pluriels, ces recherches interrogent les pratiques sur le bâti de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle.*

**Mots-clés.** *remise à niveau énergétique · bâti moderne et contemporain · logement social · évaluation multicritère · recherche prospective · socio-technique · ergonomie · sobriété énergétique*

**Résumé.** *The carbon neutrality objectives set out in the European Green Deal herald a change of approach to long-established performance-based practices. Could the recent energy crisis have revealed the flaws of a rigidly technical approach? This article reports on various research currently being carried out by the Super-Positions (Preservation) research team at the LAB Institute. Conducted using a variety of disciplinary and methodological tools, this research examines these practices on the built environment of the second half of the 20<sup>th</sup> century.*

**Keywords.** *energy retrofitting · modern and contemporary buildings · social housing · multi-criteria assessment · forward-looking research · socio-technology · ergonomics · energy efficiency*

Légitimes et incontournables face à l'urgence climatique, les objectifs de neutralité carbone énoncés par la Commission européenne dans le *Green Deal* (Commission européenne, 2019) laissent apparaître une (timide) ouverture vers l'engagement individuel et l'évaluation des émissions indirectes. Si l'on peut y voir les prémices d'un changement de regard – à tout titre salutaire – face aux pratiques performancielles établies de longue date, les effets soulèvent encore et toujours quelques questions : des opérations d'*assainissement énergétique*, conduites à grands frais, sont souvent le prétexte pour donner une nouvelle identité aux bâtiments, négligeant leurs qualités architecturales intrinsèques – et, avec elles, des valeurs culturelles essentielles –, mais aussi et surtout, plus prosaïquement, leur potentiel en tant que ressource pour la ville contemporaine. La crise énergétique que nous venons de traverser aurait-elle révélé les failles d'une approche rigide techniciste ? Rien n'est moins sûr. Conduits avec des outils disciplinaires et méthodologiques pluriels, les projets de recherche en cours du laboratoire Super-Positions (domaine Preservation) de l'institut LAB souhaitent interroger

les pratiques courantes visant tout particulièrement le bâti de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Deux des projets de recherche concernent les immeubles administratifs, occasion d'expérimentation architecturale et constructive dans les Trente Glorieuses, mais qui, aujourd'hui, sont soumis à une très forte pression foncière. Un autre s'oriente plutôt vers le logement social public de la Région de Bruxelles-Capitale, parc bâti impressionnant par son envergure et très hétérogène quant à ses qualités architecturales, qualités qui, précisément, disparaissent aujourd'hui derrière de nouvelles enveloppes sur-isolées. D'autres approches sont à envisager. Un changement de paradigme s'impose, afin d'établir le juste équilibre entre les multiples variables en jeu : l'énergie et l'environnement, l'économie, l'architecture, mais aussi, ce qui est capital, le bien-être des usagers et usagères. Tel est le fil rouge qui lie ces projets de recherche, par le recours à des outils méthodologiques adaptés – la recherche prospective ou la sociotechnique, par exemple –, qui puissent inciter la construction d'une démarche pragmatique et avant tout responsable.

## MÉTHODE 1

### "Avez-vous dit passoire thermique ?" Interroger les pratiques courantes par la recherche prospective

Le plan Rénovation, faisant partie du *PNEC bruxellois*<sup>1</sup>, vise un niveau PEB moyen C+ (100 kWh/m<sup>2</sup>.an) pour les bâtiments résidentiels, en 2050, alors qu'en moyenne, ce bâti bruxellois se situe autour de D ou E. Pour atteindre la certification visée, les bâtiments sont littéralement ensevelis par de nouvelles enveloppes thermiques multicouches, qui effacent le relief et simplifient drastiquement la volumétrie du bâti. Une partie de l'énergie grise est négligée (ou valorisée par des techniques de réemploi, elles-mêmes énergivores) au profit d'une remise aux normes basée sur des limites de consommation abstraites, qui ne tiennent nullement compte des caractéristiques matérielles intrinsèques du bâti, autant dire de son potentiel d'amélioration (Marino & Graf, 2016). En dépit de ses ambitions, le bilan des premières campagnes de travaux est mitigé, y compris sous l'angle de l'investissement qui apparaît disproportionné. Sur le plan des enjeux environnementaux, la rénovation du parc bâti du logement social public a tout particulièrement montré certaines limites, un phénomène que nous observons d'ailleurs dans la plupart des pays européens. En dépit de l'engouement de l'ensemble des acteurs concernés et une levée de fonds conséquente, le diagnostic est peu rassurant. Dans la plupart de cas, le manque d'adéquation entre les objectifs énoncés dans les phases de programmation et les mesures opérationnelles prises dans la phase de réalisation est flagrant.

La nature de ces interventions motive le décalage entre les enjeux du projet et les contraintes de la réalisation. Le confort au quotidien se révèle tout aussi problématique : sans des actions de *maîtrise d'usage* et d'accompagnement, les locataires sont peu préparés à un changement en termes d'habitabilité, ce qui finit par avoir un effet défavorable non seulement sur le bien-être et les modes de vie, mais aussi sur les données de consommation qui, par *effet rebond*<sup>2</sup>, restent dans certains cas parfaitement identiques avant et après la rénovation<sup>3</sup>. Quant à la réduction des charges sur les locataires qui auraient pu bénéficier des économies éventuelles des sources primaires, elles sont souvent annulées par les frais d'entretien des techniques spéciales, équipements *high-tech* efficaces, mais fragiles, qui demandent un

suivi très rapproché de la part des gestionnaires.

À une autre échelle, l'impact social de ces rénovations lourdes et irréversibles est souvent sous-estimé, voire négligé. Malgré les efforts mis dans la programmation, la rénovation dite en *site occupé* apparaît en effet comme impraticable, la plupart du temps, en raison des nuisances engendrées. Cela implique forcément le relogement des locataires – parfois temporaire, le plus souvent définitif – avec des phénomènes de déracinement néfastes sur le plan social. Les frais engendrés, sur le plan de la dette sociale, mais aussi sur celui de la dette financière, sont colossaux.



1 - Le PNEC (Plan national Énergie et Climat) répond au règlement sur la Gouvernance de l'Union de l'énergie (une des stratégies du pacte vert) qui oblige chaque État à remettre un plan national énergie pour la période 2021-2030. La Belgique a remis son plan fin 2018.

2 - Il s'agit du "phénomène par lequel la diminution de consommation attendue de l'efficacité énergétique est en partie annulée par les changements de comportement des acteurs qui se produisent en parallèle" (Brisepierre, 2019).

3 - L'enquête Méthos révèle par exemple que certains utilisateurs vivant dans des édifices à haut potentiel énergétique adoptent des stratégies de contournement pour pallier l'inconfort et les nuisances de ces nouveaux équipements et enveloppes surchauffées (Méthos, 2016-2017).

① Julien Roggen architecte, Tour Brunfaut, Molenbeek-Saint-Jean, 1965. Le bâtiment a fait l'objet d'une rénovation lourde, comportant une modification de la volumétrie et la réécriture radicale de ses enveloppes. Photo G. Marino

② À l'étude dès 1958, le parc du Peterbos, sur la commune d'Anderlecht, est pensé à l'origine comme la démonstration d'un ensemble d'habitation moderne, par la juxtaposition de tours et de barres dans un environnement verdoyant. La cohérence de la cité est mise à mal par une série d'interventions de rénovation lourde qui se sont succédées ces vingt dernières années en l'absence de tout plan stratégique global et concerté. Photo G. Marino

La formulation des cahiers de charges des procédures de marché public montre les limites de l'exercice : ces impressionnants *mille-feuilles* composés d'une multitude d'études préliminaires – pointues et absolument nécessaires – manquent parfois d'une vision de synthèse claire, capable d'explicitier avec précision les objectifs et hiérarchiser les priorités des interventions. L'ensemble des Sociétés Immobilières de Service Public semble partager les mêmes expériences passées : en l'absence de toute pesée d'intérêts préalable entre des buts parfois divergents, les opérations deviennent difficiles à gérer lors de la phase opérationnelle, et ce indépendamment des qualités professionnelles des multiples intervenants, du maître de l'ouvrage et de ses mandataires. Les procédures se compliquent ; les délais se rallongent ; les coûts augmentent de manière exponentielle. Le bâti existant en fait les frais, avec des répercussions importantes sur notre cadre de vie. Au vu des ressources financières importantes engagées, mais aussi des conséquences sur le plan social, ces pratiques d'intervention méritent d'être questionnées (fig. 1).

Les méthodes de la *recherche prospective*<sup>4</sup> nous viennent en aide pour inverser cette tendance, portant la réflexion sur une vision à plus long terme. En considérant les évolutions du cadre socio-économique pour les deux prochaines générations, le projet de recherche LOGOS/RES, encouragé par Innoviris et porté par plusieurs équipes de recherche au sein de l'institut LAB, convoquant leurs compétences multiples (Marino, Cavalieri, Ledent & al.; 2022-2025) vise à établir les scénarios à venir, en identifiant les paramètres indispensables dont il faudra tenir compte pour en évaluer les conséquences et calibrer les actions à

mener en matière de politique de rénovation du bâti social public (fig. 2 -3). Cela ne peut se faire autrement que sur la base d'une étude approfondie de l'état de la question. Assise fondamentale de toute définition des stratégies à venir, cette première phase de connaissance et compréhension profonde des dynamiques mises en place s'avère nécessaire, indispensable même. C'est à la fois un diagnostic et une perspective d'action, ce qui coïncide avec les deux objectifs principaux du projet de recherche LOGOS/RES, y compris dans le but de fédérer les multiples acteurs de la rénovation et de mieux calibrer l'arsenal législatif de référence.

## MÉTHODE 2

### **La corporate architecture sous pression**

### **La synthèse des enjeux comme outil de projet**

Sous les multiples appellations de *building refurbishment*, *retrofitting*, *adaptive reuse* ou encore *rehabilitation* relatives aux bâtiments administratifs réalisés après 1945, se cache souvent une même démarche qui vise, avant tout, à satisfaire les besoins d'amélioration de la performance énergétique et de réaménagement des espaces intérieurs. Toutefois, force est de constater que les effets de *marketing* portés par la réactualisation de l'image du bâtiment ne sont pas négligés et que ces transformations lourdes et irréversibles concernent aussi des objets dont la valeur patrimoniale ne fait pas de doute (fig.4).



4 - La recherche prospective est initiée dans les années 1950 par le philosophe Gaston Berger dans le but d'orienter la décision stratégique. En adoptant une posture pluridisciplinaire, ses méthodes se basent sur l'élaboration de scénarios possibles à partir de la combinaison de multiples variables opportunément ordonnées, issues d'un diagnostic rétrospectif approfondi. "Représenter la réalité future en vue d'éclairer l'action présente" constitue le cœur de la démarche. Pour une introduction à la méthode en recherche prospective, voir notamment : Godet, M. (2007). Prospective stratégique, problèmes et méthodes, *Cahiers du L'ipso*, 20, n.p.

④ Vue aérienne du Palazzo Uffici Olivetti à Ivrea. Source : Associazione Archivio Storico Olivetti.

C'est à partir de ce constat que se construit la recherche sur le Palazzo Uffici (1960-1964), siège de la société Olivetti à Ivrea (Turin), œuvre des architectes Gian Antonio Bernasconi, Annibale Focchi et Marcello Nizzoli (Galbiati & Medici, Graf & Marino [dir.] ; 2021). Pièce maîtresse du site Olivetti, cet objet inscrit sur la liste du patrimoine universel dressée par l'UNESCO – la plus haute reconnaissance patrimoniale – est aujourd'hui délaissé et partiellement désaffecté, souffrant des déboires de nombreux passages de propriété faisant suite à la disparition de la célèbre entreprise dont Adriano Olivetti avait fait une référence mondiale en matière de gestion sociale. La prise en compte de ce cas d'étude (tristement) célèbre, a été l'occasion d'appliquer la méthode d'évaluation multicritère déjà élaborée à l'occasion de la recherche académique appliquée (Marino & Graf, 2012) sur la cité du Lignon à Genève (Addor et Julliard architectes, 1963-1971), cette fois-ci sur un immeuble administratif de représentation, et non pas un grand ensemble de logements issu de la production de la grande échelle. Dans la recherche, les premières phases d'investigation documentaire et historique, portant notamment sur les aspects matériels, ont permis d'élaborer un modèle énergétique fiable, minutieusement adapté aux caractéristiques de l'objet construit. Cela a impliqué un diagnostic approfondi des manques, mais aussi du potentiel d'amélioration de la situation existante. De multiples variantes d'interventions sont proposées sur cette base, évaluées ensuite grâce à la comparaison multicritère des facteurs en jeu, sans

négliger la contrainte patrimoniale, due à la reconnaissance culturelle dont le bâtiment bénéficie. Cette comparaison s'est faite à partir d'une matrice d'évaluation, pensée *ad hoc* pour considérer simultanément les données quantitatives (bien évidemment, l'amélioration énergétique, mais aussi les temps des interventions et leurs coûts), ainsi que les aspects qualitatifs (comme le respect de la valeur architecturale ou la réversibilité des mesures entreprises). En attribuant une valeur à chacune des variantes, voire à chacune des mesures isolées à adopter, s'est dessiné le scénario de projet le plus efficace, mais aussi le plus pertinent, capable donc de préserver les qualités du bâti, tout en assurant une réduction importante des consommations en énergie primaire, se situant autour de 55 % (fig.5). La démarche d'évaluation multicritère<sup>5</sup>, conduite en amont du projet – et sans *a priori* –, a permis aussi de remettre en cause un certain nombre de mesures couramment adoptées, voire une pratique répandue faisant appel à des recettes, si ce n'est à des produits industriels standardisés qui, *de facto*, ne sont pas la garantie d'une économie notable. Elle démontre alors, par exemple, que le remplacement des enveloppes ou l'isolation extérieure encouragés par la politique de développement durable actuelle – et l'arsenal réglementaire qu'elle a produit – ne sont pas toujours justifiés. Le cas de la production bruxelloise de l'architecte Marcel Lambrichs (1917-1986) en témoigne<sup>6</sup>. Ses bâtiments administratifs des années 1970 sont particulièrement visés<sup>7</sup> : objets parfaitement représentatifs de l'architecture

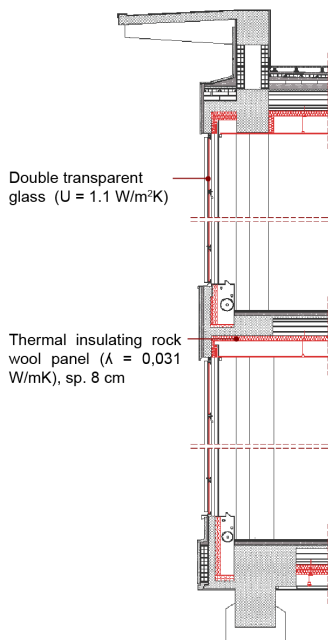
5 - Ce thème est davantage approfondi en relation à un type constructif particulier, celui des immeubles à structure suspendue pourvus d'enveloppes *curtain wall*, dans la thèse de doctorat de l'auteur (Galbiati, 2023).

6 - L'actualité de la production de Marcel Lambrichs est abordée dans le cadre des recherches doctorales de Sentissi, S. (2023-2028). *Adapter l'architecture moderne ? L'œuvre construite de Marcel Lambrichs : un état des lieux prospectif*. UCLouvain, LAB.

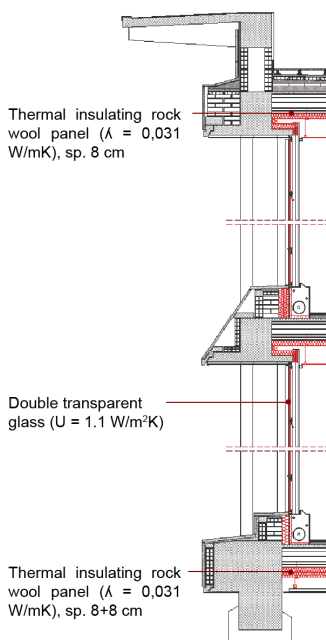
7 - La Tour du midi (1961), l'immeuble De Ligne (1974), la Cité administrative (1956-1968), la tour des Finances (1983), l'immeuble CGER Marais (1969-1974).

<sup>5</sup> Proposition d'intervention sur les façades du Palazzo Uffici Olivetti à Ivrea. La solution proposée permet de réduire du 55 % le besoin d'énergie, tout en respectant les qualités architecturales du bâtiment. Schéma : G. Galbiati

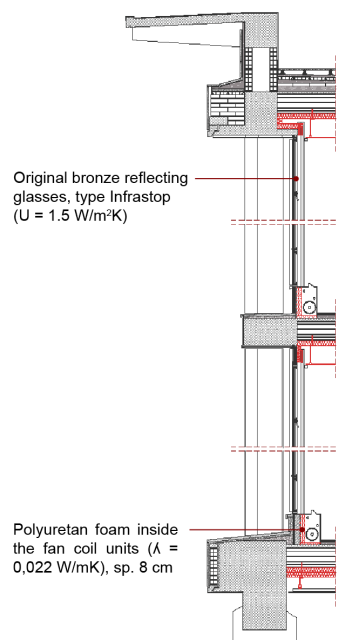
EST facade



SOUTH facade



WEST facade



des Trente Glorieuses par leur image et les techniques constructives déployées, ils sont aujourd'hui menacés par des projets de rénovation radicale, parfois même si la reconnaissance patrimoniale est formalisée (fig. 6 et 7).



⑥ Photographie de l'ancien siège de la Confédération Construction (Marcel Lambrichts, 1968). Source : Inventaire du patrimoine architectural de la Région de Bruxelles-Capitale – www.monument.heritage.brussels. ©urban.brussels

⑦ Photographie de l'ancien siège CGER Marais (Marcel Lambrichts, 1968-73). Source : Inventaire du patrimoine architectural de la Région de Bruxelles-Capitale – www.monument.heritage.brussels. ©urban.brussels

## MÉTHODE 3

### Sobriété, engagement individuel, sociotechnique Ouvrir à de nouvelles approches

Comme c'est souvent le cas, les interventions sur les bâtiments de Marcel Lambrichts répondent aux objectifs climatiques en mobilisant une technologie énergétique – renouvelable, pour le meilleur –, et privilégient des façades très performantes pour limiter les pertes énergétiques. Elles n'en réduisent pas forcément la consommation pour autant, alors que la sobriété énergétique est l'un des grands leviers du *PNEC bruxellois*. Nous comprenons de plus en plus que l'impact du comportement des individus n'est pas anecdotique. Mais si l'efficacité énergétique fait l'objet d'un cadre bien défini, il semble que le facteur humain soit toujours une donnée difficile à appréhender (Brisepierre, 2019), notamment parce qu'il n'existe pas un seul profil d'utilisateur qui serait plus sensibilisé à la question environnementale ; il y en a plusieurs types en fonction de leur profil sociodémographique et de leur situation sociotechnique.

Ne compter que sur les économies possibles grâce aux nouvelles technologies qui ont un meilleur rendement ne prend pas en compte l'effet rebond, un facteur qui mérite d'être investigué davantage, et en connaissance de cause. À l'échelle

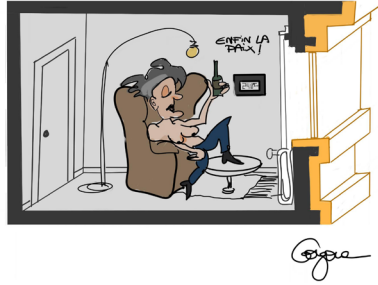
microsociale, on observe en effet que les rénovations énergétiques entraînent une augmentation des exigences de confort thermique impliquant un déplacement de la température de consigne<sup>8</sup> (fig. 8).

Les dispositifs d'accompagnement visent à encourager les initiatives individuelles selon un référentiel de bonnes pratiques, mais se révèlent bien souvent inefficaces, car "la réalisation d'économie d'énergie demande de mettre en place une multiplicité de gestes dont les coûts (temps, apprentissage, charge mentale, gêne physique, etc.) sont très élevés en comparaison d'un gain financier faible et incertain" (Brisepierre, 2013). En plus, la sobriété conserve une image de perte de confort et de "retour en arrière". Si les dispositifs de sensibilisation sont limités, les dispositifs dissuasifs comme les taxes et les subventions le sont tout autant, car ils risquent de creuser les inégalités sociales (précarité énergétique pour les revenus faibles, sentiment de déclassement pour les revenus moyens). D'ailleurs, "les ménages adaptent peu leurs comportements quotidiens à l'évolution du prix de l'énergie" (Brisepierre, 2013) puisque la demande en énergie est dite "faiblement élastique" (Moussaoui, 2007)<sup>9</sup>. D'autres incitations comportementales comme les *nudges*<sup>10</sup>, au-delà des questions éthiques qu'elles posent, peuvent entraîner des effets contraires, par exemple celui du rehaussement des consommations par comparaison entre foyers : "Des chercheurs américains ont pu mettre en évidence que l'établissement d'une facture assortie d'une comparaison de la consommation d'énergie (électricité et gaz naturel) du ménage avec celles de foyers similaires du voisinage (mode de chauffage, surface du logement, etc.) permettait de réduire significativement les consommations, toutes choses égales par ailleurs" (Brisepierre, 2011). Si présenter une norme de consommation au sein d'un quartier peut aider à réduire la consommation, elle l'augmente dans certains cas : "L'affichage des consommations moyennes du voisinage autorise une hausse chez ceux qui étaient déjà économes" (Brisepierre, 2013, p. 31).

Agir uniquement sur la technique a des effets indésirables ; agir uniquement sur le facteur humain dévoile une certaine inertie. La *sociotechnique* pourrait alors constituer une situation d'équilibre, au bénéfice d'interventions mesurées plus respectueuses de nos besoins en espace et de l'environnement, ainsi que, ne l'oublions pas, de l'architecture. S'agissant d'une discipline nouvelle, des expériences ont lieu sous forme de concours d'économie d'énergie visant à inscrire le geste individuel au sein de la collectivité pour renégocier les normes sociales, générer de nouveaux apprentissages et mettre en place de nouveaux gestes économes (ADEME, 2016).

8 - Cet effet est d'autant plus accentué par l'augmentation de la taille du parc immobilier dont le nombre de mètres carrés par habitant ne cesse de croître. Les utilisateurs sensibilisés à l'écologie peuvent également avoir des comportements paradoxaux. Comme "la sensibilité écologique croît avec le niveau de diplôme et de revenu, lui-même corrélé avec la consommation d'énergie", les ménages disposant d'un plus grand capital financier sont les plus énergivores et ont tendance à investir dans du matériel efficace pour préserver leur confort pendant que les ménages vulnérables ont des pratiques restrictives amplifiées par leur plus grande sédentarité (Brisepierre, 2013).

9 - Cela signifie que la demande en énergie est très peu sensible à l'évolution des prix, contrairement à celle du carburant puisqu'il est plus facile de limiter les dépenses liées au transport (pétrole) que celles liées au logement (gaz et électricité). Dès lors, augmenter le prix de l'électricité et du gaz de 100 % ne fera diminuer sa consommation que de 20 %.



8 La rénovation énergétique. À gauche, le thermostat indique 20,0 °C, à droite, 24,0 °C. Caricature : Sophia Sentissi, 2022.

La recherche sur les immeubles de Marcel Lambrichs se situe dans ce domaine disciplinaire. Elle vise à interroger le rapport usage-ambiance comme porte de sortie à la confrontation entre la *mise à jour* du patrimoine et sa préservation au moyen de l'évaluation de pratiques énergétiques sobres telles que le *slowheating*<sup>11</sup>. Les interventions sur le bâti, tant dispendieuses sur le plan environnemental que discutables sur celui de la sauvegarde du patrimoine, en résulteraient ainsi fortement réduites.

## Conclusion

Tant par cette étude sociotechnique que par la méthode en recherche prospective, ou encore par une démarche d'évaluation multicritère pensée au plus près de l'objet construit, les pratiques courantes de rénovation du bâti sont ainsi requestionnées dans le cadre de ces recherches. Pour sortir de l'impasse et préserver notre cadre de vie, il s'agit à présent de prendre la juste mesure de nos besoins réels et arriver ainsi à des solutions adaptées – autant dire raisonnables mais performantes –, qui dépassent une approche rigidement techniciste, intégrant le facteur humain et le geste individuel. ■

## Médiagraphie

ADEME (2016). *Étude qualitative sur la 1ère édition du concours d'économies d'énergies CUBE 2020*. Repéré à URL spécifique [https://www.ifpeb.fr/wp-content/uploads/2022/11/SOCIOCUBE-Rapport-etude-qualitative\_VF\_Web.pdf].

Brisepierre, G. (2019). La transition énergétique dans le bâtiment : entre progrès technique et changement social, des synergies à trouver. *La revue des mines*, 504, 21-23.

Brisepierre, G. (2013). *Analyse sociologique de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires. Bilan et perspectives*. ADEME.

Brisepierre, G. (2011). La consommation d'énergie à travers les pratiques domestiques des militants écologistes. [Extrait d'une thèse en sociologie sur les économies d'énergie intitulée] *Les conditions sociales et organisationnelles du changement des pratiques de consommation d'énergie dans l'habitat collectif*. La Sorbonne. Paris.

Commission européenne (2019). *Communication de la commission au parlement européen, au conseil européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions. Le pacte vert pour l'Europe*. Repéré à URL spécifique [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75cd71a1.0022.02/DOC\_1&format=PDF].

Galbiati, G. (2023). "Preserving suspended structure with light facades: an innovative methodology for Modern Heritage retrofitting (1960–1980). Architectural study and intervention strategic". EPFL, UCLouvain, LAB.

Galbiati, G., Medici, F., Graf, F. (dir.), Marino, G. (dir.) (2021). Methodology for energy retrofitting of Modern Architecture. The case study of the Olivetti office building in the UNESCO site of Ivrea. *Journal of Building Engineering*, p. 103378 doi:10.1016/j.jobc.2021.103378.

Godet, M. (2007). Prospective stratégique, problèmes et méthodes. *Cahiers du Lipsor*, 20, n.p.

Marino, G. (dir.), Cavalieri, C., Ledent, G., & al. (2022-2025). *Le logement social comme ressource : énergie, économie, environnement social*. [Projet de recherche LOGOS/RES]. Belgique : INNOVIRIS Prospective Research.

Marino, G., Graf, F. (2012). *La cité du Lignon 1963-1971 – étude architecturale et stratégies d'intervention*. Gollion : Infolio. Voir également Marino, G., Graf, F. (2021). The Lignon. A silent restoration. *Casabella : rivista internazionale di architettura*, 918, 3-15.

Marino, G., Graf, F. (2016). Housing Reloaded. Collective Housing in Europe, 1945–2015. *DOCOMOMO Journal*, 54(1), 4-9 doi:10.52200/54.I.ZCGBQ0C2.

Méthos (2016-2017). *De l'usage des bâtiments performants en Région Bruxelles-Capitale : étude ethnographique pour une plus grande maîtrise (de l'ambition, des coûts et de l'usage)*. Repéré à URL spécifique [https://www.methos.fr/fr/download/pdf/usages-des-batiments-performants-fr].

Moussaoui, I. (2007). De la société de consommation à la société de modération : ce que les Français disent, pensent et font en matière de maîtrise de l'énergie. *Les Annales de la recherche urbaine*, 103, 112-119. Repéré à URL spécifique [https://www.annalesdelarechercheurbaine.fr/IMG/pdf/103.moussaoui.pdf].

10 - Il s'agit d'incitations comportementales apportant soit une information en situation, par affichage en temps réel ou comparaison sociale, soit un réglage par défaut de l'option économe, etc.

11 - Le *slowheating* prône le réaménagement du plan, suivant les différents rythmes de travail, les modes de collaboration et les affluences pour encourager la mutualisation des équipements et l'optimisation des espaces, une pratique de chauffe différenciée en fonction de la durée d'occupation et de la nature des locaux (espaces collaboratifs, zones de repos, bulles de concentration, *flex office*, espace de brainstorming, etc.)

# Choix équilibré d'un isolant thermique en rénovation

Comment répondre aux exigences de performance énergétique tout en limitant l'impact environnemental global et en favorisant la circularité des matières ?

## Auteurs

Sophie Trachte  
Architecte, docteure en Art de  
bâtir et Urbanisme  
chargée de cours à la Faculté  
d'Architecture, ULiège,  
URA, ULiège  
© 0000-0002-8452-3567

Dorothee Stiennon  
Architecte, doctorante, assistante  
de recherche et d'enseignement,  
LOCI+LAB, UCLouvain.  
© 0000-0003-0535-3406

**Résumé.** Au vu des enjeux relatifs à la rénovation énergétique du parc bâti et à la gestion des ressources, il devient urgent d'élargir le processus de sélection des matériaux isolants à des critères environnementaux et circulaires. Les autrices proposent une approche multicritère et complémentaire à l'approche quantitative de l'analyse de cycle de vie. Le présent article traite de l'apport de matières premières, de l'utilisation des ressources et du processus de fabrication en mettant en évidence l'influence des isolants sur la consommation de ressources naturelles et d'énergie grise et sur les émissions de gaz à effets de serre. Il permet à tout-e concepteur-riche de faire un choix d'isolant qui soit équilibré entre ces différents aspects et adapté à son projet de rénovation.

**Mots-clés.** isolant thermique · rénovation énergétique · impact environnemental · économie circulaire · approche multicritère

**Résumé.** In view of the challenges posed by the energy renovation of buildings and the management of resources, there is an urgent need to extend the selection process for insulating materials to include environmental and circular criteria. The authors propose a multi-criteria approach that complements the quantitative approach of life-cycle analysis. This article deals with the input of raw materials, the use of resources and the manufacturing process, highlighting the influence of insulation materials on the consumption of natural resources and embodied energy, and on greenhouse gas emissions. It enables all designers to make a choice of insulation that balances these different aspects and is suited to their renovation project.

**Keywords.** thermal insulation · energy retrofit · environmental impact · circular economy · multicriteria approach



Dans leur livre *Isolants thermiques en rénovation*, paru récemment, les deux autrices analysent et en comparent les spécificités d'une cinquantaine de matériaux d'isolation présents sur le marché actuel en Belgique et dans les pays limitrophes. Cinq grands thèmes y sont développés :

- nature, formes et familles ;
- propriétés techniques ;
- qualité de l'air intérieur et santé ;
- cycle de vie et impact environnemental ;
- intégration des objectifs d'économie circulaire

Cette approche permet de mieux cerner les ressources et matières premières utilisées, les transformations subies par celles-ci, ainsi que les caractéristiques de chaque famille de matériaux. Elle offre ainsi l'opportunité de comprendre l'influence de ces matériaux sur l'environnement et leur intégration dans une démarche d'économie circulaire.

Trachte, S., Stiennon, D. (2023). *Isolants thermiques en rénovation. Réaliser un choix équilibré entre confort, performance énergétique, approche environnementale et gestion circulaire des ressources.* Lausanne : EPFL Press (coll. Architecture), 280 p.



## Introduction

Envisager des interventions sur le bâti existant pour améliorer ses niveaux de confort et de performance énergétique implique, de manière quasi obligatoire, la mise en place de mesures d'isolation des parois et, par ce biais, un choix de matériaux d'isolation thermique.

Les matériaux d'isolation thermique, appelés *isolants*, assurent différentes fonctions dans les parois de l'enveloppe et sont considérés comme des outils indispensables pour atteindre les normes de confort et les exigences actuelles de performance énergétique.

La question du choix d'un isolant et de sa technique de mise en œuvre, lors d'une rénovation, est aujourd'hui cruciale. En effet, ce choix peut avoir un impact négatif tant sur la qualité architecturale et l'habitabilité que sur l'évolutivité future du bâtiment. Mais il peut aussi et surtout influencer lourdement le bilan environnemental global de l'intervention, en entraînant une consommation élevée de ressources naturelles et d'énergie grise, en générant des émissions importantes de gaz à effet de serre (GES) et en utilisant des techniques non réversibles et des matériaux difficilement valorisables en fin de cycle de vie.

Dans une approche environnementale globale, si les isolants offrent la garantie d'une réduction de consommation d'énergie et, par ce biais, d'une diminution des émissions de GES durant l'exploitation d'un bâtiment, ils devraient également répondre à ces mêmes objectifs tout au long de leur cycle de vie. Une telle approche n'est cependant pas encore d'application dans le secteur de la construction où ces matériaux font encore trop souvent l'objet d'a priori et sont choisis principalement sur base de leur coefficient de conductivité thermique et de leur prix de mise en œuvre.

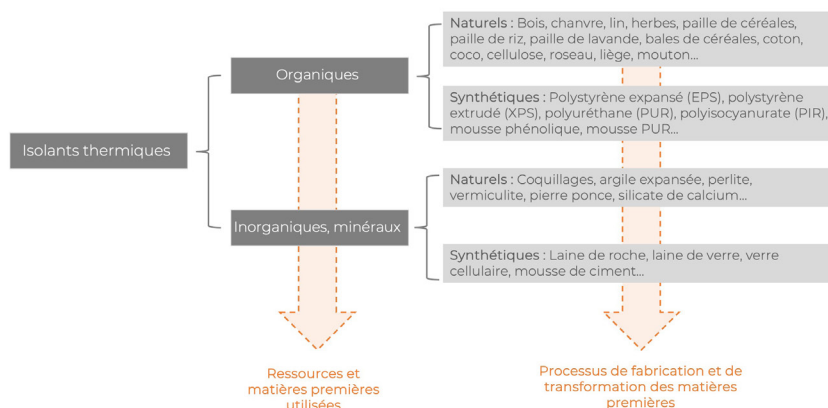
## Ressources et matières premières utilisées

La nature des isolants dépend des ressources utilisées et de leurs transformations lors du processus de fabrication. On distingue, selon la ressource utilisée, les isolants organiques des isolants inorganiques ou minéraux et, selon le type de transformation, les isolants naturels (pas ou peu transformés) des isolants synthétiques (très transformés). Tant les ressources que leurs transformations vont influencer de manière significative le bilan environnemental de l'isolant. Un isolant est généralement composé de matières premières dominantes et secondaires.

Les matières dites "dominantes" sont les plus importantes en masse. Elles assurent le caractère isolant du matériau fini auquel elles donnent généralement leur nom. Elles se répartissent en trois grandes catégories :

- **Les matières organiques issues de la biomasse végétale ou animale.** Ces matières carbonées sont produites de manière continue par des végétaux ou des animaux, et ce, dans un cycle de production renouvelable<sup>1</sup>, allant de quelques mois à plusieurs dizaines d'années.
- **Les matières organiques issues de la pétrochimie.** Ces matières carbonées de synthèse sont transformées chimiquement par l'être humain à partir de matières organiques fossiles qui mettent des millions d'années à se former.
- **Les matières minérales.** Ces matières inorganiques ne sont pas produites par des êtres vivants. On les trouve telles quelles dans le milieu naturel, sous forme de roches et de minéraux.

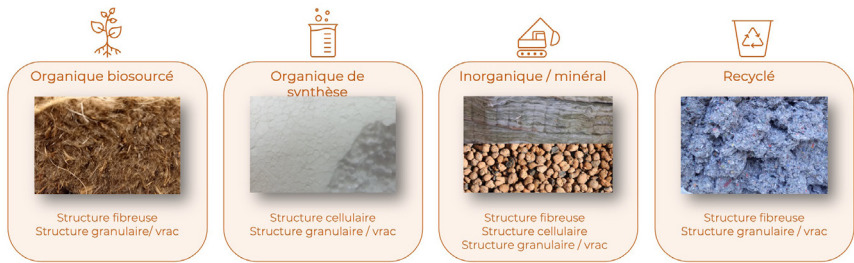
<sup>1</sup> - Le terme "renouvelable" est utilisé pour qualifier le renouvellement d'une ressource, en se référant à la durée de vie d'un être humain. Si la ressource se renouvelle plusieurs fois sur la durée de vie d'un être humain, on dira que la ressource est renouvelable. Ainsi le bois et d'autres ressources biosourcées sont considérés comme des ressources renouvelables tandis que des minerais ou des roches sont considérés comme des ressources non renouvelables. Il est cependant important de considérer le temps de renouvellement des matières renouvelables. Pour certaines, il s'agit de quelques mois de culture ou d'élevage, pour d'autres, comme le bois, de dizaines d'années.



<sup>1</sup> Nature des isolants selon les ressources utilisées et leurs transformations durant le processus de fabrication. Source : S. Trachte

2 Différentes catégories de matières dominantes et structures des isolants produits à partir de celles-ci. Source : S.Trachte  
 Au niveau du secteur de la construction, les isolants inorganiques et les isolants organiques de synthèse sont les plus utilisés<sup>2</sup>. Les isolants biosourcés représentent environ 7 % du marché de l'isolation en 2021. Les isolants se regroupent autour de trois grands types de structures : fibreuse, alvéolaire ou cellulaire et granulaire (isolants en vrac).

3 Informations recueillies sur les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) des matériaux isolants analysés et comparés.. Ces données ont été comparées, par unité fonctionnelle (UF), par kg de matière et/ou par m<sup>2</sup> de paroi isolée (U = 0,24 W/m<sup>2</sup>.K). Source : Base de données des déclarations environnementales de la base française INIES - www.inies.fr



**Les matières issues du recyclage de déchets** forment une catégorie relativement hybride, dans la mesure où on y retrouve des matières issues des trois catégories citées *supra*. Ces matières et leur utilisation sont à privilégier et à renforcer dans une vision de gestion durable et circulaire des ressources et déchets. D'autres matières dites "secondaires" entrent également, mais en moindre quantité, dans la composition des matériaux isolants. En tant qu'additifs, ces matières permettent d'augmenter les performances, d'assurer la cohésion du produit fini ou encore de garantir sa pérennité. Elles sont, pour la plupart, des matières organiques de synthèse issues de la pétrochimie.

### Influence des matières premières utilisées, sur l'environnement et la gestion circulaire des ressources

Les matières premières utilisées dans la production d'isolants exercent une influence significative sur l'environnement et la gestion circulaire des ressources, notamment en termes de localisation et de disponibilité, de gestion des stocks et de valorisation de déchets actuels et futurs. Certaines ressources peuvent aussi être un levier pour atteindre les objectifs "zéro carbone" du secteur de la construction grâce à leur capacité à fixer et stocker le dioxyde de carbone sur des périodes relativement longues.

| Isolants                          | Marque, type de produit<br>Propriétés  | Principaux composants   | Unité fonctionnelle analysée  |
|-----------------------------------|--|---|---|
| Laine de roche                    | Rockwool - MBRock 145<br>$\rho = 65 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,032 \text{ W/m.K}$                                     | Roche volcanique (basalte), laitier, briquettes recyclées   | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 145 mm<br>9,425 kg de laine de roche + matériaux d'emballage                                  |
| Laine de verre avec liant végétal | Knauf Insulation - ECOSE Naturool 035 - 145<br>$\rho = 20 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$               | Sable, dolomie, bore et calcin (50 à 80 %)  | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 120 mm<br>2,4 kg de laine de verre + matériaux d'emballage                                    |
| Verre cellulaire panneau          | Foamglas - T3+ Pittsburgh Corning<br>$\rho = 95 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,036 \text{ W/m.K}$                         | Verre recyclé (> 60 %), feldspath, oxyde de fer, oxyde de manganèse, sulfate de sodium, nitrate de sodium | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 36 mm<br>3,42 kg de verre cellulaire + matériaux d'emballage                                  |
| Polystyrène expansé               | Knauf - Therm Mur Th38<br>$\rho = 15 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$                                    | Styrène   | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 100 mm<br>1,47 kg d'EPS + matériaux d'emballage + enduit et eau                               |
| Polyuréthane                      | Soprema - TMS 100 mm<br>$\rho = 31 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,022 \text{ W/m.K}$                                      | Polyol, isocyanate, agents gonflants  | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 100 mm<br>3,10 kg de PUR + parement + matériaux d'emballage                                   |
| Fibres de bois                    | Steico SE - Steicoflex F 036/038<br>$\rho = 50 \text{ à } 60 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,036 \text{ W/m.K}$            | Fibres de bois (95 %), liant et additifs  | 1 m <sup>3</sup> d'isolant<br>51,7 kg de fibres de bois + matériaux d'emballage   |
| Herbes ensilées                   | Gramitherm 100<br>$\rho = 40 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,041 \text{ W/m.K}$  | Fibres d'herbes, fibres de jute recyclée (20 %), PET (8 %)  | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 100 mm<br>4 kg de produit (avec 20 % de fibres de jute et 8 % de PET) + matériaux d'emballage |
| Paille de riz                     | FBT Isolation - Panneau FBT PR<br>$\rho = 50 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$                            | Paille de riz de Camargue (92 %), fibres de polyester   | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 100 mm<br>5 kg de produit (avec 8 % de liant polyester)                                       |
| Flocons de cellulose              | Soprema - Pavafloc / Pavacell / Valocell / Doucell 145 mm<br>$\rho = 50 \text{ kg/m}^3$<br>$\lambda = 0,042 \text{ W/m.K}$ | Fibres de papier usagé, sulfate de magnésium, acide borique   | 1 m <sup>2</sup> d'isolant de 145 mm<br>7,25 kg de cellulose + matériaux d'emballage  |

### Approvisionnement, disponibilité et gestion des ressources

La première étape du cycle de vie concerne l'apport en matières premières. Celui-ci met en lumière le temps de renouvellement dans le cas d'une ressource renouvelable et le stock disponible dans le cas d'une ressource non renouvelable. La disponibilité d'une ressource informe de l'état de son stock, dans l'écosystème naturel terrestre. Elle indique aussi si l'exploitation régulière de la ressource est *en équilibre* avec le gisement existant.

Dans l'ACV (analyse du cycle de vie), la disponibilité des ressources non renouvelables est évaluée avec l'indice de rareté, aussi appelé "épuisement des ressources abiotiques minérales et métalliques". Cet indicateur s'appuie sur une comparaison entre la rareté d'une ressource et celle de l'antimoine (Sb)<sup>3</sup> qui, par convention, a une valeur de 1. Plus l'indice est grand, plus le stock de la ressource est limité et plus son utilisation est problématique dans une vision de développement durable et circulaire. La disponibilité des ressources utilisées pour la fabrication d'isolants minéraux ou organiques de synthèse est présentée dans la figure 4. Les données reprises ne concernent que la phase de production de l'ACV – que l'on appelle aussi le "module A" – et qui reprend les sous-étapes :

- extraction et apport des matières premières (A1) ;
- transport des matières premières vers le lieu de fabrication (A2) ;
- processus de fabrication/transformation (A3).

L'analyse des données met en évidence un indice assez élevé pour la laine de verre, le verre cellulaire et le polystyrène expansé, et ce malgré l'utilisation significative de matières recyclées pour la laine de verre et le verre cellulaire. Ceci peut se justifier par l'exploitation de ressources en pénurie telles que le sable ou

certains additifs (bore).

En revanche, la laine de roche, le polyuréthane et la cellulose affichent un indice de rareté assez faible. Pour la laine de roche, ce résultat s'explique par l'utilisation de roche volcanique qui est présente en quantité très importante à la surface terrestre. Pour le polyuréthane, le résultat se justifie par la faible quantité de matière nécessaire pour atteindre l'unité fonctionnelle. Enfin, le résultat de la cellulose se comprend par l'utilisation de papiers journaux usagés dont la disponibilité est importante.

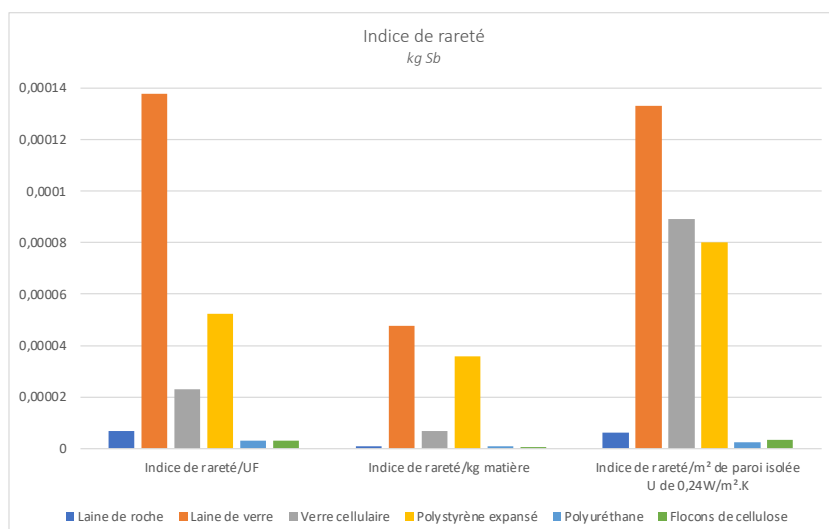
### Statut de la ressource utilisée : coproduit, sous-produit ou déchet

En ce qui concerne l'apport de matières premières, l'ACV fait une distinction entre un produit spécifiquement cultivé ou extrait pour la fabrication d'un matériau (coton, roche volcanique...), un coproduit (paille, chanvre, lin...), un sous-produit (calcin, balles de céréales...) ou encore un déchet (fibres de papier, fibres de jeans, paille de lavande ou de riz) qui, par définition, est un résidu destiné à être abandonné et traité en tant que tel. Ces notions de coproduit, sous-produit et déchet doivent être clairement définies pour les matériaux présentant un contenu recyclé élevé (*recycled content*, en anglais) et pour ceux issus de la biomasse végétale, car elles influencent directement les résultats de l'évaluation environnementale de l'isolant. En effet, l'ACV se réalise sur base d'un inventaire des flux entrants (matières, engrais, eau...) et des flux sortants (émissions atmosphériques, pollutions du sol...) liés notamment à la culture ou à l'extraction d'une ressource, dont les impacts seront comptabilisés différemment selon son statut, comme le présente la figure 5.

Il faut noter que le statut de coproduit, sous-produit ou déchet n'est pas définitif et peut évoluer en fonction du contexte économique et socio-environnemental.




2 - Selon l'étude de 2021 du TBC Innovations sur l'utilisation des matériaux isolants en France, les laines minérales représenteraient un peu plus de 50 % des superficies d'isolants posés, les organiques synthétiques (PSE, PU, XPS) près de 40 %, et les biosourcés près de 7 % - <http://www.tbctinnovation.fr/les-isolants-thermiques-pour-le-batiment-en-2021-en-france/>

3 - L'antimoine est l'élément chimique de numéro atomique 51, de symbole Sb. Il se trouve le plus souvent à l'état naturel sous forme de sulfure combiné ou non avec d'autres métaux (plomb, cuivre, argent). L'antimoine est l'unité pour quantifier une consommation de matière première.



④ Indice de rareté pour certains matériaux isolants sur l'étape de production et de fabrication dans l'analyse du cycle de vie (modules A1 à A3)  
Source : Base de données environnementales INIES – [www.inies.fr](http://www.inies.fr)

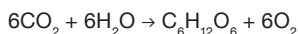
5 Différents statuts des matières premières utilisées et la manière de comptabiliser les impacts liés à leur exploitation (culture, élevage, extraction)  
Illustration : S. Trachte

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>Matière première</b></p>  <p>Matière extraite ou cultivée spécifiquement pour la fabrication d'un produit</p> <p>Tous les entrants et sortants liés au module A1 sont pris en compte</p> | <p><b>Coproduit</b></p>  <p>Matière issue d'une culture ou d'un processus d'extraction qui alimente plusieurs secteurs</p> <p>Tous les entrants et sortants liés au module A1 sont partagés entre les secteurs</p> | <p><b>Sous-produit</b></p>  <p>Matière résiduelle issue d'un processus industriel et réutilisée, sans traitement dans un nouveau processus</p> <p>Pas d'impact considéré pour le module A1 = <u>bénéfice environnemental</u></p> |
|---|---|---|

Vu les enjeux environnementaux et circulaires actuels, de plus en plus de fabricants d'isolants favorisent l'utilisation de sous-produits et coproduits.

**Matières premières et stockage du carbone**

Le développement de toute matière végétale est dépendant du phénomène de photosynthèse dont la formule chimique est la suivante :

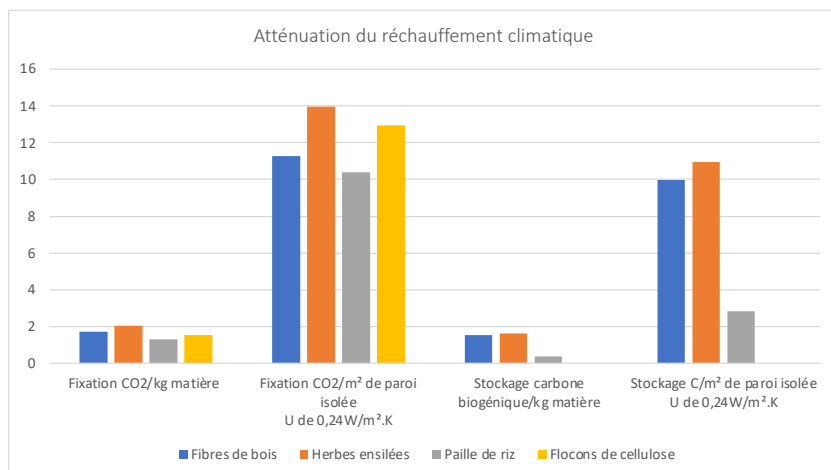


Le carbone présent dans le composé  $C_6H_{12}O_6$  est dit "biogénique". Il est contenu dans la biomasse d'origine agricole ou forestière avant d'être réemis lors de la combustion ou la dégradation de celle-ci. La fixation du dioxyde de carbone durant la photosynthèse et son stockage sous forme de carbone dans la biomasse est une contribution apportée par les espèces végétales à l'atténuation des changements climatiques. Cette contribution, appelée "puits de carbone", est effective uniquement si la ressource végétale utilisée est renouvelée et gérée durablement.

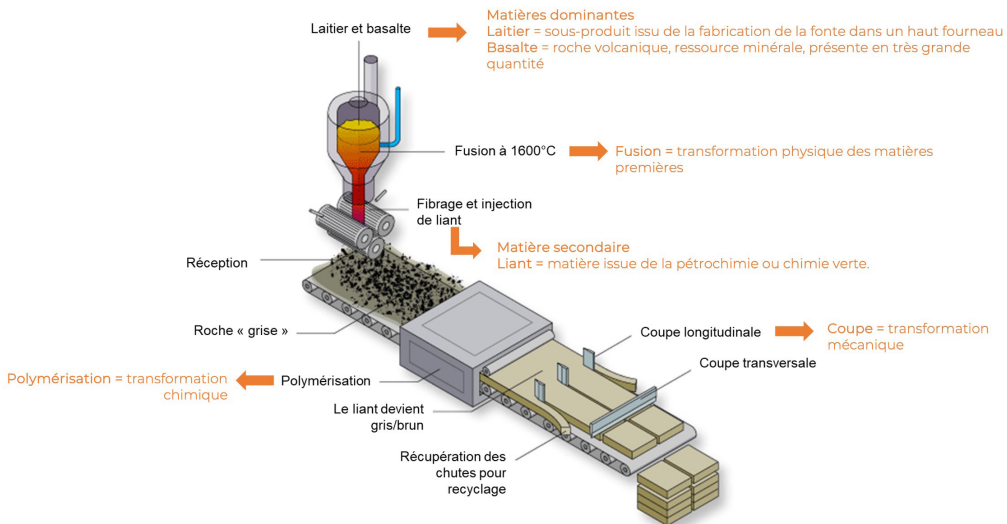
Comme le souligne le dernier rapport du GIEC (avril 2022), utiliser davantage, dans la construction et la rénovation des bâtiments, des matériaux issus de la biomasse végétale permet de séques-

trer du carbone sur des temps longs (entre 20 et 60 ans) et ainsi de s'allouer un *tampon temporel* pour atteindre les objectifs de neutralité carbone. Le *tampon* sera d'autant plus important que ces matériaux seront réemployés et/ou recyclés. Le bénéfice environnemental de ce stockage est depuis peu pris en compte, quantifié et évalué, dans l'ACV lorsqu'on intègre des matières premières végétales dans la fabrication de matériaux et notamment des isolants. La figure 6 présente pour quatre isolants biosourcés, les résultats en termes de fixation du dioxyde de carbone (kg/CO<sub>2</sub> équivalent) et de stockage de carbone biogénique (kg C équivalent).

Les résultats mettent en évidence, pour les quatre isolants, une capacité élevée à fixer du dioxyde de carbone, se situant entre 10 et 14 kg/CO<sub>2</sub> par mètre carré de paroi isolée (U de 0.24 W/m<sup>2</sup>.K). Celle-ci est encore plus importante pour l'herbe ensilée, malgré une croissance rapide, et pour les flocons de cellulose. Concernant le stockage du carbone biogénique, les autres n'ont pas eu accès aux données des flocons de cellulose qui, par déduction, pourraient être relativement proches de celles du bois.



6 Atténuation du réchauffement climatique : fixation du dioxyde de carbone et stockage du carbone biogénique  
Source : Base de données environnementales INIES – www.inies.fr



## Processus de fabrication et types de transformation

La seconde étape du cycle de vie concerne la fabrication de l'isolant. Elle détermine les différentes transformations subies par les matières premières, dont les principales sont expliquées ici.

- Les transformations mécaniques s'effectuent de manière exclusivement mécanique : peignage, broyage, broyage, découpage... Elles n'entraînent aucun changement d'état de la matière et ne modifient pas la nature de la matière première.
- Les transformations physiques impliquent un changement d'état de la matière, du point de vue physique. Cela se produit lorsque la matière est chauffée, refroidie, séchée, fondue... Les températures peuvent être différentes selon les cas. En général, des températures très élevées sont atteintes lorsque la matière dominante est profondément transformée.
- Les transformations chimiques génèrent une modification des espèces chimiques constituant la matière. La matière obtenue après réaction chimique est d'une nature complètement différente de la matière première initiale.

Dans la plupart des cas, le processus de fabrication nécessite une combinaison de plusieurs transformations, comme le présente la figure 7.

Une étape fréquente dans la fabrication des matériaux isolants est l'ajout de liant ou de matières additives qui nécessite régulièrement une montée en température.

## Influence du processus de fabrication sur la consommation d'énergie, les émissions de GES et le potentiel de valorisation

Le processus de fabrication requiert des combustibles fossiles carbonés (fioul et gaz naturel). Ce besoin en combustible peut être plus ou moins important selon les matières premières utilisées et leurs transformations. Il entraîne une pollution de l'écosystème notamment par l'émission de GES ou de gaz acidifiants. C'est pourquoi l'étape de production est souvent considérée comme la plus impactante du point de vue environnemental.

### Fabrication et consommation d'énergie (concept d'énergie grise)

L'énergie grise d'un matériau est définie comme l'ensemble des ressources énergétiques consommées par l'ensemble du cycle de vie de ce matériau, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement du déchet. Elle est calculée en énergie primaire, exprimée en MJ/kg de matière produite, et est envisagée comme la somme de l'énergie grise dite "processus" et de l'énergie grise dite "matière".

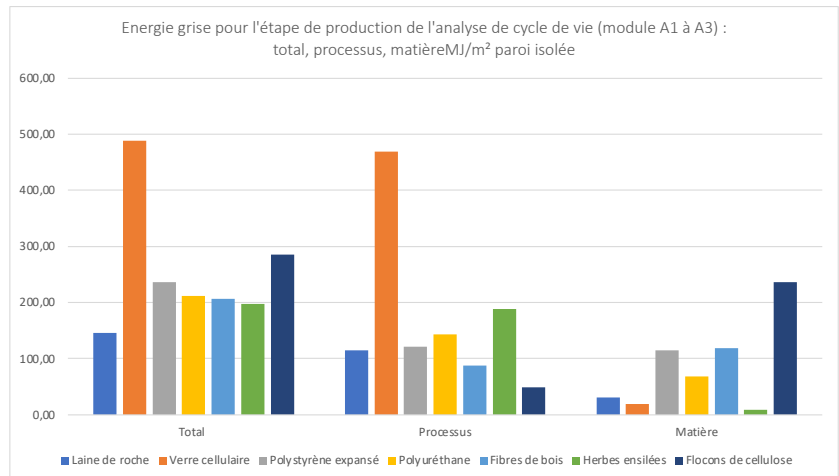
L'énergie grise "processus" est l'énergie consommée par l'ensemble des procédés utilisés (transport, transformations, engins et outillage) durant le cycle de vie. On la considère comme une énergie perdue ou une dette énergétique.

L'énergie grise "matière" est l'énergie mobilisée dans la matière constituant le matériau. Elle peut être potentiellement récupérée, en fin de vie, grâce à un processus de valorisation thermique notamment. On la considère comme un stock d'énergie mobilisée de manière temporaire.

Il faut noter que l'énergie grise est considérée dans l'ACV comme un flux entrant et/ou sortant qui engendre des impacts environnementaux potentiels. La figure 8 présente la consommation d'énergie primaire "processus" et "matière" pour quelques matériaux isolants.

⑦ Schéma décrivant le processus de production de la laine de roche  
Source : S. Trachte, sur base du schéma Eurima

8 Énergie grise nécessaire à la phase de production (A1-A3) : total, processus et matière. À titre informatif, ces résultats peuvent être comparés à la demande annuelle d'énergie primaire de chauffage d'une habitation passive d'une superficie de 200 m<sup>2</sup>, soit d'environ 833 MJ (gaz) ou 2 083 MJ (électricité).  
Source : Base de données environnementales INIES – www.inies.fr



L'énergie grise des matériaux n'est pas encore prise en compte dans les réglementations sur la performance énergétique des bâtiments en Europe, et ce, malgré qu'elle puisse être très importante et supérieure à l'énergie d'utilisation, notamment dans le cas de bâtiments à haute performance énergétique (Trachte & Massart, 2011) qui nécessitent davantage de matériaux et de systèmes techniques.

Dans une approche environnementale globale, il serait cohérent d'intégrer l'énergie grise nécessaire au cycle de vie d'un bâtiment dans le calcul de la performance énergétique de celui-ci. Cette approche favoriserait, à performance équivalente, des matériaux locaux, dont le cycle de vie et le processus de fabrication sont moins consommateurs en énergie.

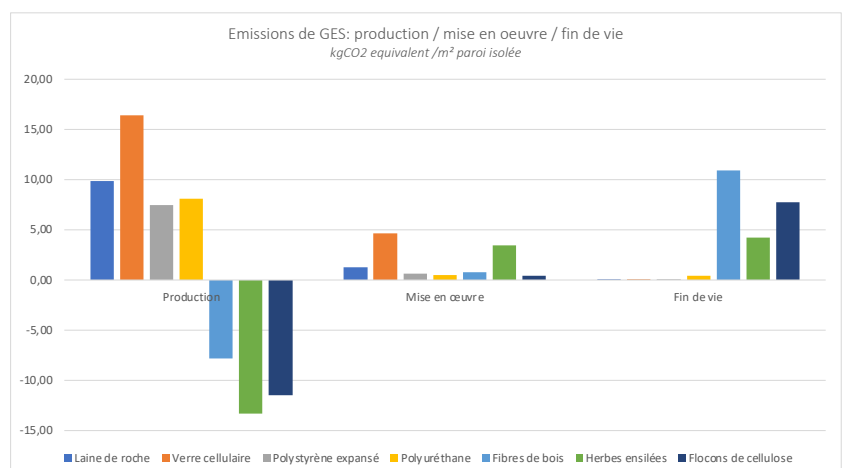
### Fabrication et émissions de GES (concept de carbone gris)

Les émissions de GES produites durant la phase de fabrication de l'isolant – comme durant sa phase de fin de vie – peuvent être importantes. Elles varient en fonction du matériau et des transformations subies. Ces émissions sont reprises sous le concept de "carbone gris" et considérées, dans l'ACV, comme un impact repris sous l'indicateur "Potentiel

de réchauffement climatique". Cet impact est exprimé en kg CO<sub>2</sub> équivalent par kg de matière produite. La prise en compte du carbone gris est un enjeu crucial dans l'atténuation des changements climatiques d'ici 2050, d'autant que, selon Eurostat, les procédés de fabrication des minéraux, comme le ciment et des métaux, représentaient 9 % des émissions européennes de GES, en 2019.

Or, le calcul de ce carbone gris est encore très approximatif dans la mesure où il tient compte principalement des émissions liées à la phase de production et de la fin de vie. Une intégration plus systématique de l'ensemble des émissions de GES durant le cycle de vie d'un matériau serait d'autant plus essentielle que les bâtiments considérés comme "carbone neutre" nécessitent davantage d'isolants, d'installations techniques et de maintenance. Il serait aussi intéressant de systématiser les ACV "dynamiques", celles qui prennent en compte la temporalité des émissions et qui pondèrent ces émissions en fonction de l'étape de cycle où elles sont émises. Plus une émission a lieu tardivement dans le cycle de vie, plus son impact est faible. La figure 8 détaille pour quelques matériaux d'isolation, les émissions de GES selon la phase de cycle de vie.

9 Émissions de GES sur le cycle de vie des matériaux isolants : production, mise en œuvre et fin de vie  
Source : Base de données environnementales INIES – www.inies.fr



Les résultats mettent en évidence un bilan carbone relativement neutre pour les isolants biosourcés/recyclés dans la mesure où le CO<sub>2</sub> stocké durant la phase de production est réémis en fin de vie, sachant que ces isolants sont actuellement valorisés thermiquement. S'ils devaient être réemployés ou réutilisés, le bilan carbone resterait négatif. *A contrario*, les isolants minéraux et organiques synthétiques ont une phase de production assez émissive et une fin de vie sans émission, car ils sont généralement traités par enfouissement technique.

## Conclusion, faire un choix équilibré

Les objectifs conjoints de neutralité carbone et d'économie circulaire fixés par l'UE nous imposent de repenser nos choix d'isolants. Si ces matériaux ont permis, depuis près de trente ans, de répondre adéquatement aux objectifs de **confort thermique** et de **performance énergétique**, ils doivent aujourd'hui s'intégrer dans une vision globale et multicritère, en considérant aussi la **gestion durable et circulaire des ressources** et le **respect de l'environnement**.

Il s'agit donc d'établir un choix équilibré entre ces quatre grands axes, qui sont parfois en opposition. Ce choix est d'autant plus complexe en rénovation que se juxtaposent d'autres critères tels que le maintien et la pérennité du bâti existant, le respect de sa valeur architecturale, la prise en compte d'un comportement hygrothermique particulier...

C'est pourquoi quelques principes de choix sont énoncés ci-après :

- déterminer une technique d'isolation, si possible réversible, en fonction des spécificités architecturales et constructives de la paroi ;
- choisir un isolant selon sa conductivité thermique, en tenant compte d'un bon rapport entre confort thermique, performance énergétique, épaisseur d'isolant et consommation de matières/ressources ;
- opter pour un isolant en adéquation avec l'usage pour lequel on le destine, de manière à profiter au mieux de l'ensemble de ses propriétés techniques ;
- faire enfin un choix équilibré et raisonné,
  - en favorisant les isolants multifonctionnels, à longue durée de vie et robustes, capables de résister à plusieurs phases de montage/démontage ;
  - en encourageant les isolants de réemploi ;
  - en privilégiant les isolants fabriqués à partir de ressources locales, renouvelables ou présentes en abondance et/ou les matériaux présentant un haut contenu recyclé ;
  - en tenant compte de la consommation d'énergie grise ainsi que des émissions de carbone gris, et ce, afin d'encourager l'usage de matériaux peu transformés, peu énergivores et peu polluants.

Ces principes permettent de faire un choix équilibré et raisonné parmi la diversité croissante et évolutive des matériaux d'isolation thermique. Un choix s'inscrivant pleinement dans une approche globale de développement durable qui conjugue transition énergétique et zéro carbone, performance environnementale et circularité. ■

## Médiagraphie

Bos M., Stiernon D., Stephan A. (2022). *Review of Bio-based materials in TOTEM*. [En ligne, rapport commandé par les trois Régions belges, visant au développement de l'outil d'évaluation de l'impact des matériaux]. <http://hdl.handle.net/2078.1/274340>

Courgey S. (2020). Les matériaux biosourcés. [En ligne, diaporama], repéré à <https://associationarcanne.files.wordpress.com/2020/04/arcanne-bs.2020.04.pdf>

Evrard A., Trachte S., Aubecq C., Regniers V. (2011). *Matériaux isolants naturels, Elaboration de critères dans le cadre de la surprime isolants naturels*. [Rapport scientifique réalisé pour le Cabinet du Ministre wallon de l'Environnement et le Service Public de Wallonie, département de l'Énergie et du Bâtiment durable]. Louvain-la-Neuve, Belgique.

FNR, Kaiser Ch. (2020). *Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen*. [En ligne, rapport] [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschuere/Brosch\\_Daemmstoffe\\_2020\\_Web\\_StandAktualisiert.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschuere/Brosch_Daemmstoffe_2020_Web_StandAktualisiert.pdf)

Galle W. (2019). *Building a circular economy. Design Qualities to Guides and Inspire Building Designers and Clients*. Vrije Universiteit Brussel. [En ligne] <https://www.bbsm.brussels/>

Inies. [En ligne, base de données nationale (France) de référence sur les données environnementales et sanitaires des produits et équipements de la construction] [www.inies.fr](http://www.inies.fr)

Trachte S., Massart C. (2011). Reducing the environmental impact of new dwellings. Analysis of the balance between heating energy savings and environmental assessment of the building materials. M. Bodart & A. Evrard (dir.). *PLEA 2011: Architecture and Sustainable Development - volume 2: 27th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.

Trachte, S., Stiernon, D. (2023). *Isolants thermiques en rénovation. Réaliser un choix équilibré entre confort, performance énergétique, approche environnementale et gestion circulaire des ressources*. Lausanne : EPFL Press (coll. Architecture).

## Remerciements

L'état des lieux qui est à la base de cet article a été réalisé en 2020 dans le cadre du projet de recherche P-Renewal ([www.p-renewal.be](http://www.p-renewal.be)), **Rénovation énergétique du bâti wallon d'avant-guerre à valeur patrimoniale**, mené par Architecture et Climat, une équipe de recherche du Louvain research institute for Landscape, Architecture, Built environment (UCLouvain) en partenariat avec le CSTC et financé par le SPW-DGO4. Il a, depuis lors, été complété par les recherches des autrices parues à EPFL Press (Trachte & Stiernon, 2023).

# Le temps et l'espace de la chaleur

slowheat.org

## Auteurs

Geoffrey van Moeseke  
Ingénieur civil architecte,  
docteur en Sciences de  
l'ingénieur, professeur (bac  
et master d'ingénieur civil  
architecte et d'architecture),  
chargé de recherche,  
Architecture et climat,  
LOCI+LAB, UCLouvain.  
© 0000-0001-6985-1768

Denis De Grave  
Architecte, assistant de  
recherche, Architecture et  
climat, LAB, UCLouvain

**Résumé.** Les fluctuations vertigineuses des prix de l'énergie sur les marchés ont attiré l'attention médiatique sur le projet SlowHeat. Heureuse conjoncture pour un projet déjà apte à fournir ses premières analyses et recommandations. Hélas, celles-ci, une fois passées à travers le prisme de la vulgarisation, puis moulinées par les filtres médiatiques ont souvent été excessivement simplifiées. En réaction donc, cet article est l'occasion de préciser ce qu'est le slowheating, et d'ouvrir une réflexion sur la dimension temporelle et spatiale de la chaleur.

**Mots-clés.** SlowHeat · chaleur · confort · espace · temps

**Résumé.** Dizzying fluctuations in energy market prices have drawn media attention to the SlowHeat project. Happy times for a project mature enough to provide its first analyzes and recommendations. Alas, these, once passed through the prism of popularization, then milled by media filters, have often been oversimplified. In response, therefore, this article is an opportunity to clarify what slowheating is, and to open up a reflection on the temporal and spatial dimension of heat.

**Keywords.** SlowHeat · heat · comfort · pace · time

Pour tempérer ce début d'article : Quelques exceptions louables ont toutefois égayé le paysage médiatique, à l'image de l'épisode du podcast *Le Tournant* consacré au chauffage et animé par Arnaud Ruysen pour La Première (RTBF), que nous recommandons vivement.

Tout au long de l'année 2022, les hausses des prix de l'énergie ont éveillé l'intérêt des médias sur le projet SlowHeat qui entamait alors sa dernière année de recherche, suffisamment mature donc pour transmettre ses premières analyses et recommandations. Hélas, lors de leurs diffusions, celles-ci ont souvent été excessivement simplifiées, réduisant le cœur du projet à l'idée de gadgets chauffant ou pire encore, d'une injonction à l'inconfort. Commençons donc par préciser ce qu'est SlowHeat.

## SlowHeat, c'est quoi ?

Il s'agit d'une recherche transdisciplinaire financée par le programme Co-création d'Innoviris, menée par une vingtaine de chercheurs et chercheuses issues d'une variété d'horizons, dont nos collègues d'IPSY (Institut de recherche en sciences psychologiques de l'UCLouvain) et de l'IGÉAT (Institut de gestion de l'environnement et de l'aménagement du territoire de l'ULB), et Habitat et Participation. Le groupe de chercheurs du projet est certainement trop petit pour représenter un échantillon statistiquement significatif de quoi que ce soit, mais offre tout de même une diversité de genres, d'âges, de situations familiales et de types de logement. On observe, en revanche, une relative uniformité de profil socio-économique : plutôt éduqués et financièrement à l'aise.

La question partagée est la suivante : en utilisant l'habitation physiologique et psychologique, l'adaptation des modes

d'occupation et des dispositifs de chauffage originaux, pouvons-nous trouver un mode de vie agréable à basse température ? Pour reprendre le slogan du projet : peut-on chauffer les corps plutôt que les maisons ?

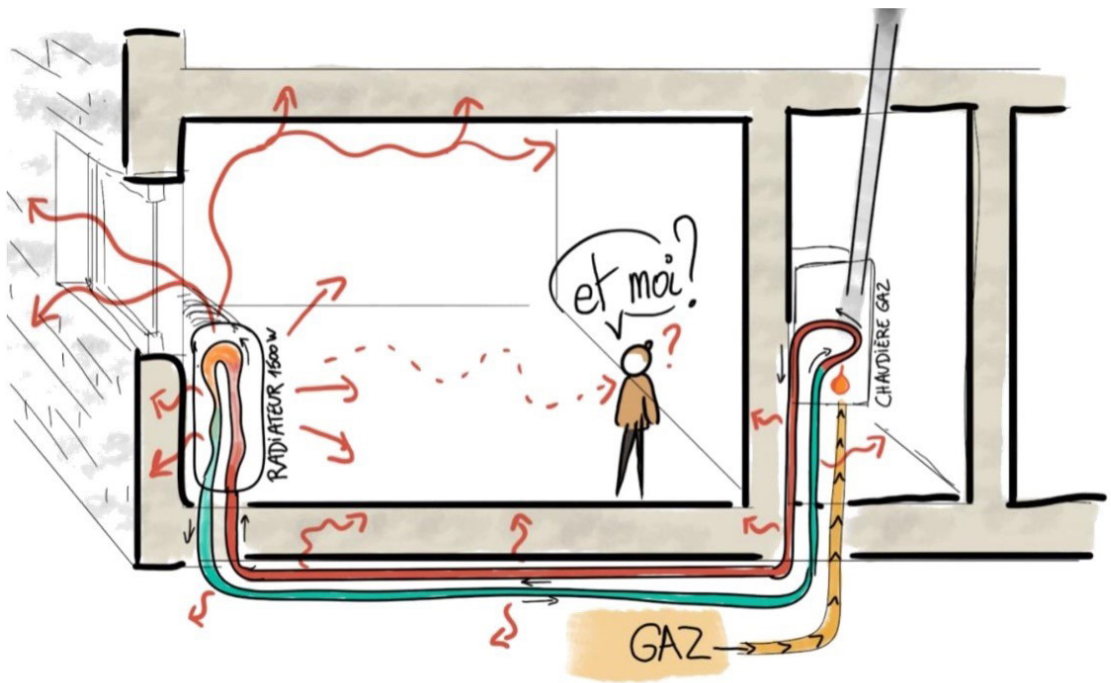
Quant au *slowheating*, il s'agit du principal résultat du projet : la définition d'une pratique de chauffage cohérente, confortable, peu consommatrice d'énergie, et potentiellement transposable à une grande variété de situations.

Le terme *pratique* est ici utilisé à dessein, en référence à la théorie des *pratiques sociales*, telle qu'établie par Schatzki (Schatzki, 1996) qui nourrit largement nos travaux. Cette théorie héritée des sciences sociales ne définit pas "se chauffer" comme un comportement individuel mais beaucoup plus globalement comme une "unité de sens". Cela inclut des dimensions matérielles, des normes, des valeurs, des routines, des infrastructures, des règlements... qui interagissent pour former une pratique cohérente. Et cela met d'emblée la référence du chauffage central en question : peut-on encore considérer qu'appuyer deux fois par an sur un bouton du thermostat est une pratique ?

La généralisation, en quelques décennies à la fin du xx<sup>e</sup> siècle, des technologies de chauffage central ont, par l'automatisation de la gestion et la professionnalisation des actions de maintenance, contribué à une perte de compétence et une distanciation des habitant·es avec les conditions matérielles sous-tendant le confort thermique. Ce qui était de l'ordre du geste







quotidien, comme l'entretien du foyer ou le déplacement du combustible, a disparu, permettant de vivre dans l'illusion d'une énergie abondante, bien qu'impalpable et d'une chaleur *normale*, dont le coût environnemental, de plus en plus évident, pourrait, croyions-nous alors, être contourné par l'amélioration de la performance énergétique. Une fuite en avant performancielles que le *slowheating* contribue à révéler, en incarnant une approche complémentaire (ou alternative ?) de sobriété et, surtout, de reprise de contrôle sur son environnement thermique (fig. 1).

## Quatre principes

En substance, le *slowheating* s'articule autour de quatre principes fondateurs, dont la définition s'ajuste et s'affine au fil des expérimentations. Ces principes, encore jeunes, sont délibérément flexibles et ouverts, de façon à laisser le temps nécessaire aux différentes approches pour se développer, mûrir, se stabiliser et se diffuser.

### Principe 1 - Ouverture à une multiplicité de solutions et à la discussion

Considérant la diversité de nos physiologies, de nos activités, de nos sensibilités, de nos espaces d'habitation, il est absurde de se limiter à la seule idée du chauffage central comme solution de confort. Ouvrons-nous à d'autres modes de chauffage, mais aussi proposons des espaces de discussion, au sein du ménage, de la famille et, plus largement, de nos sociétés, sur la nature de nos attentes en termes d'ambiances. L'idée qu'un bâtiment doit être chaud est tellement acquise aujourd'hui que remettre cela en question vous fait passer pour un-e dangereux-se révolutionnaire... Signe que cet espace de discussion est

aujourd'hui plus que nécessaire pour reconstruire une pratique durable de la chaleur.

### Principe 2 - Multimodalité

Pourquoi diantre devrions-nous utiliser le même dispositif technique pour chauffer un logement que pour réchauffer une paire de mains froide après deux heures de télétravail ? Face à une diversité de besoins, le *slowheating* fait le pari *a priori* d'une diversité de dispositifs. Le temps bien sûr fera son œuvre pour identifier les solutions adéquates et les fausses pistes. L'important à ce stade étant d'insister sur une forme d'empirisme et de se garder de généralisations trop rapides de pseudo-solutions universelles.

### Principe 3 - Maîtrise

Refaire du chauffage une pratique sensible et tangible permet de refaire de la consommation d'énergie une décision consciente, et non un automatisme passif délégué au thermostat. *SlowHeat* ne prône pas la vie dans l'inconfort : un déséquilibre thermique doit pouvoir être contré, mais donnons-nous le temps de ressentir le froid avant de décider si, et comment, nous réchauffer. Nous faisons souvent le parallèle avec la sensation de faim. Qui souhaiterait, une fois pour toutes, être délivré de la faim par une alimentation sous intraveineuse ? L'alimentation est transcendée en pratique par le fait même que nous maîtrisons une diversité de solutions et expérimentons le plaisir de se nourrir. Visons une maîtrise et un plaisir similaire avec l'équilibre thermique, en reprenant le temps d'écouter nos corps, fortes de la confiance en nos moyens de nous réchauffer.

① Illustration de l'inadéquation du principe du chauffage central au besoin initial de chauffer un corps et non un espace. Schéma : Denis De Grave

1 - "Il n'i avoit maison en ville ne village ou l'eaue ne gelaist à glace en tous lieux qu'on la peust mettre, hors le feu et les charbons enflambez : et diré jusque là, sans mantir, qu'en plusieurs maisons bonne et bien closes, l'eaue ou le vin geloient devant le feu gros et bien moyennement entretenu de bois. Et vis en plusieurs maisons et en la mienne mesme une fois le pot de fer au feu bouiller devant, et la glace à la queue du covescle ou couverceau qui le couvroit, qui s'estoit prins de l'eaue qu'engendre la fumée d'ung pot qui boust devant le feu. Toutes les nuictz et matins, quant toutes personnes se levoient de leur lect, la glace estoit prinse, sur le drap de dessus, de l'eaue qu'engendroit le vent et alaïne de personnes qui estoient couchez dans les lictz." (Haton, 2007)



② Exemple de dispositif de chauffage local par rayonnement, à très faible inertie, permettant à l'occupant-e de se réchauffer lorsque nécessaire. Photo Geoffrey van Moeseke

#### Principe 4 – Sobriété

À l'évidence, parmi les moyens dont on dispose pour se réchauffer, certains sont plus vertueux que d'autres, car moins demandeurs de ressources matérielles ou énergétiques. Un pan du projet est donc dédié à la classification des dispositifs du chauffage selon une échelle allant du vêtement au chauffage central. Car oui, aussi évident que cela puisse paraître, le vêtement est un véritable concurrent au chauffage central ; mais non, SlowHeat ne marque pas la fin de ce dernier. Le chauffage central reste une solution pertinente pour assurer une température de fond nécessaire à la salubrité des bâtiments et à la santé à long terme. Mais nous invitons à distinguer le chauffage *hygiénique* de base du bâtiment et le chauffage de confort de l'occupant-e (fig. 2). Tout cela ouvre un espace de réflexion et de créativité pour les architectes, sur les limites exactes de ce chauffage de base et la responsabilité des concepteurs et conceptrices à assurer celui-ci de façon passive ou, à tout le moins, décarbonée.

Cet aperçu des principes du *slowheating* doit permettre au lecteur ou à la lectrice de réaliser que la proposition va plus loin que le gadget chauffant. Il-elle lira entre les lignes les multiples questions que cela ouvre dans les champs technologiques et sociologiques. Mais qu'en est-il de l'architecture ?

Il est trop tôt pour s'avancer sur la forme d'une architecture *slowheat*. Des réflexions exploratoires avec des bureaux d'architecture ont bien évidemment eu lieu. Des références d'architecture bioclimatique nous viennent bien sûr à l'esprit. Comment ne pas faire le lien avec la Onion House de Thomas Herzog par exemple ? Mais n'enfermons pas encore SlowHeat dans des dispositifs spécifiques. Nous proposons plutôt ici une ouverture au questionnement selon deux dimensions, l'une spatiale, l'autre temporelle. Pour nourrir celle-ci, nous prendrons comme élément d'accroche les pratiques de confort d'une époque où le froid était la norme, et la chaleur l'exception, en nous basant sur l'excellent ouvrage *Les délices du feu. L'homme, le chaud et le froid à l'époque moderne* (Jandot, 2017) centré sur la relation à la chaleur en France au XVIII<sup>e</sup> siècle.

#### La dimension spatiale

Partons sur la dimension spatiale. À la lecture de l'ouvrage d'Olivier Jandot, nous pouvons identifier une séquence d'échelles spatiales auxquelles la question du froid, au XVIII<sup>e</sup> siècle, fait écho. La première de ces échelles étant directement le corps. Dans ce siècle marqué par des hivers rigoureux, le froid



est une réalité qui se marque dans les corps, l'engelure notamment étant l'un des signes manifestes, et très répandus, de l'incapacité à tenir les bâtiments hors gel. Ne parlons même pas de les chauffer. Autour du corps vient l'échelle du vêtement, première et souvent seule couche de protection. Avec notre regard contemporain, déformé par une iconographie ne reflétant pas la réalité des

étoffes, nous avons probablement tendance à surévaluer le rôle du vêtement à cette époque-là. La réalité est, pour la plupart, l'incapacité à accéder à des vêtements d'une qualité suffisante pour offrir un réel isolement thermique. Puis vient l'échelle du mobilier, avec une palette de dispositifs gigognes ou de type paravents, destinés non pas tant à concentrer la faible chaleur produite par

- ③ Francis Boucher, *La toilette*, 1742. Huile sur toile. Illustration de l'utilisation de paravents contre l'inconfort des courants d'air.





④ Pieter Brueghel l'Ancien, *Paysage d'hiver avec patineurs et trappe aux oiseaux*. Huile sur panneau de bois, 1565.

le corps ou le foyer qu'à limiter le courant d'air glacial, au sens littéral du terme (fig. 3). Ensuite vient l'échelle du local, travaillée par le regroupement de la famille dans un même volume limité, avec la notion fondamentale de foyer, croisant les sens du dispositif matériel et de l'unité sociale. Terminons par l'échelle du bâtiment et de son enveloppe, elle aussi défaillante car tellement peu étanche à l'air que la question de la résistance thermique ne se pose même plus.

Ce *travelling* arrière dépeint un enclassement d'inefficacités, mais également, à la lumière des techniques et connaissances actuelles, une multiplicité de pistes d'action bien plus riche que la focalisation sur la seule enveloppe de déperdition retenue dans les réglementations thermiques. Reparcourons donc ces différentes échelles avec un regard *slowheat*. Le corps est à l'évidence notre sujet principal mais également notre premier outil. Les recherches récentes en physiologie montrent la capacité qu'a le corps de s'habituer à des températures fraîches, par des mécanismes de thermogénèse se développant en amont du tremblement (van Marken Lichtenbelt, 2017). Comme un muscle qui se renforce par son utilisation, cette capacité s'entretient et se renforce par une exposition régulière au froid, même léger, plaidant ainsi pour sa stimulation par une diversification des ambiances auxquelles nous sommes exposés.

Passons sur l'échelle du vêtement, cruciale pour le confort mais plus éloignée des préoccupations de l'architecte, pour nous attarder sur celle du dispositif chauffant. Partant du principe que le chauffage central ne devrait assurer qu'une ambiance saine fraîche dans l'ensemble du logement, c'est par l'usage de chauffages de proximité, adaptés au besoin de l'activité et du moment que le confort sera atteint. Chauffage qui pourra être portable pour assurer la proximité ou fixe mais propice à ce que nous nous en rapprochions. Cette localisation de points de chaleur mobiles ou non peut être prétexte à créer des points de centralité dans les logements, moins archaïques et figés que la cheminée pouvait l'être. Une variété d'agencements, une multiplicité des polarités autour d'éléments de confort liés à des activités est aujourd'hui facile à imaginer. Faisons ensuite le saut d'échelles vers les locaux du bâtiment, qui selon leurs rôles respectifs peuvent, par leur cloisonnement intérieur, concrétiser cette variété d'ambiance. Car pourquoi (et peut-être même, de quel droit ?) chaufferions-nous aujourd'hui des espaces qui ne sont pas destinés à une activité sédentaire ?

On le devine au travers de ces quelques éléments, la réactualisation de la dimension thermique est porteuse d'un impact architectural non négligeable.

## La dimension temporelle

Venons-en maintenant à la dimension temporelle. Nous avons déjà mentionné l'intérêt d'une exposition des corps à une variété d'ambiances, qui laisse imaginer des promenades architecturales centrées sur une multiplicité de perceptions sensorielles, parmi lesquelles le sens thermique, popularisé par Lisa Heschong (Heschong, 1979), a toute sa place. Mais la lecture de l'ouvrage du professeur Jandot laisse entrevoir deux autres éléments liés au temps : l'architecture comme révélateur du temps et des saisons qui passent, et le confort comme activité.

L'analyse des chroniques du XVIII<sup>e</sup> siècle montre une relation au temps de l'hiver plus fine que celle d'aujourd'hui. Avant la généralisation des thermomètres, les signes tangibles du froid tels que le gel et le bruit du bois qui éclate sont les principaux repères objectifs<sup>1</sup>. Il en découle des descriptions des hivers non pas dans leur globalité calendaire, mais dans la succession de vagues de froid très précisément identifiées, toute période hors gel sortant des mémoires. Voilà une dimension que le mode de vie actuel, baigné dans une neutralité artificielle permanente, peine à saisir. L'hiver n'a peut-être plus aujourd'hui la même durée subjective qu'à l'époque. Mais une pratique du *slowheating*, croyez-en notre expérience, actualise avec acuité cette variabilité météorologique. Les vagues de froid de mi-décembre 2022 et fin janvier 2023 se traduisant instantanément par une perte de quelques degrés dans nos logements, la perception de

la sévérité et de la longueur de ces épisodes est sensiblement renforcée. Tout comme la joie qu'apporte le rayon de soleil hivernal idéalement dirigé sur la table à café... De là, nous pouvons réfléchir plus largement au lien de l'architecture avec le temps des saisons, celui des épisodes climatiques extrêmes, et celui des micro-événements météorologiques, ainsi qu'aux dispositifs et possibilités d'usages qu'elle offre pour en profiter ou s'en prémunir. À une échelle de temps beaucoup plus courte, concevoir le confort thermique non comme une neutralité mais comme une succession de moments sensibles de refroidissement et réchauffement, avec leur poésie propre, fait de l'acte de se réchauffer une activité en tant que telle, qui non seulement doit disposer d'un espace, mais aussi d'un temps dédié. Ce point dépasse largement l'architecture pour aborder le mode de vie, mais la capacité d'une architecture à accueillir le temps du grand ralentissement nécessaire aujourd'hui nous semble également une piste méritant réflexion.

On le voit, la réflexion sur les implications architecturales des idées sous-tendant SlowHeat n'en est qu'à ses balbutiements. Nous sommes volontairement restés ici au niveau des évocations, soucieux de ne pas trop vite orienter les réflexions vers un imaginaire spécifique et nécessairement biaisé. Fidèles aux principes du *slowheating*, nous ouvrons ici une porte, à charge pour d'autres de la franchir avec leur propre sensibilité, pour développer une maîtrise nouvelle d'architecte des ambiances. ■

## Médiagraphie

- Haton, C. (2001-2007). *Mémoires de Claude Haton*. Paris : THS (coll. Collection des documents inédits sur l'histoire de France).
- Heschong, L. (1979). *Thermal Delight in Architecture*. Cambridge : MIT Press.
- Jandot, O. (2022). *Les délices du feu. L'homme, le chaud et le froid à l'époque moderne*. Ceyerieu : Champ Vallon.
- Schatzki, T. R. (1996). *Social practices: A Wittgensteinian approach to human activity and the social*. Cambridge: Cambridge University Press.
- van Marken Lichtenbelt, W., et al. (2017). Healthy excursions outside the thermal comfort zone. *Building Research & Information*, 45(7), pp. 819-827. DOI: 10.1080/09613218.2017.1307647

# Energie Plus (E+) : un outil d'aide à la décision pour la gestion énergétique des bâtiments tertiaires

## Auteurs

Marie Vander Meulen  
Architecte,  
assistante de recherche,  
Architecture & Climat, LAB,  
UCLouvain.

**Résumé.** Cet article présente l'outil Energie Plus, le site web alimenté par l'équipe de recherche Architecture et Climat de l'institut LAB. Sylvie Rouche gère l'infographie, Grégory Léonard a une mission de communication et de coordination, Marie Vander Meulen alimente le contenu et Geoffrey van Moeseke, quant à lui, est le promoteur et le porteur du projet. Energie Plus, portail web dédié aux questions énergétiques que soulèvent les bâtiments tertiaires, vit au rythme des conventions établies avec le Service Public de Wallonie (SPW). Chacune donne lieu à une nouvelle thématique. La dernière en date s'est focalisée sur la rénovation des écoles que nous évoquons dans cet article.

**Mots-clés.** bâtiments tertiaires · utilisation rationnelle de l'énergie · outil · site web · informations · écoles

**Résumé.** This article presents the Energie Plus tool, the website maintained by the Architecture and Climate research team at the LAB institute. Sylvie Rouche manages the computer graphics, Grégory Léonard is in charge of communication and coordination, Marie Vander Meulen provides the content and Geoffrey van Moeseke is the project promoter and manager. Energie Plus, a web portal dedicated to the energy issues raised by tertiary buildings, lives to the rhythm of the agreements drawn up with the Service Public de Wallonie (SPW). Each one gives rise to a new theme. The latest of these focuses on the renovation of schools, which is the subject of this article.

**Keywords.** tertiary buildings · rational use of energy · website · information · schools

Vous vous intéressez aux bâtiments tertiaires et... vous cherchez des informations – à caractère non commercial – concernant par exemple les systèmes de ventilation ? Vous souhaitez calculer des gains énergétiques ? Vous envisagez de prédimensionner votre installation de chauffage et êtes en quête d'un outil qui vous y aide ? Vous étudiez le confort thermique et avez besoin de quelques éclaircissements ? Vous avez des projets de rénovation pour votre institution et souhaitez au préalable documenter vos besoins ? Il y a de fortes chances que vos recherches sur la toile vous mènent sur le site web [energieplus-lesite.be](https://energieplus-lesite.be)<sup>1</sup>.

Depuis une vingtaine d'années, ce site, également appelé E+, est développé par Architecture & Climat. Cet outil d'informations a été initié dans le cadre du Programme Responsable Énergie de la Région wallonne (RW), il s'adresse principalement aux responsables énergie, ainsi qu'aux gestionnaires de bâtiments tertiaires ou encore à leurs concepteur·rices, installateur·rices, architectes, mais évidemment aussi aux étudiant·es et enseignant·es. Il a pour objectif d'informer les utilisateur·rices et de les aider à développer un usage

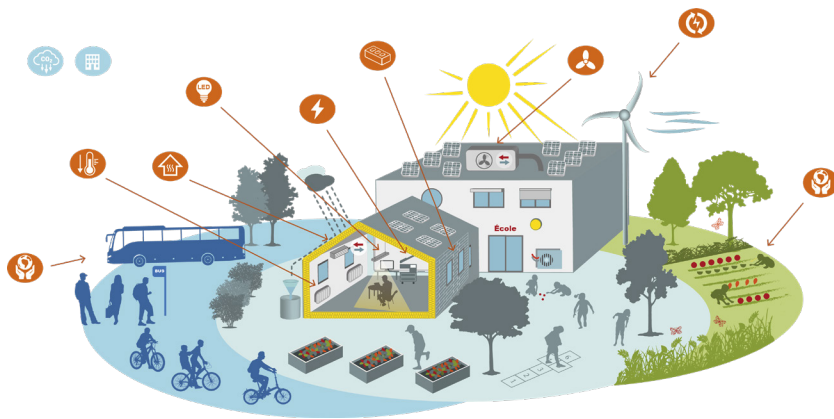
rationnel de l'énergie au sein des bâtiments, en fournissant un contenu simple, compréhensible, précis et complet. E+ documente des sujets en lien avec les questions énergétiques relatives aux bâtiments tertiaires. Ces sujets concernent autant l'enveloppe du bâtiment que ses équipements. Dans E+, les notions abordées sont présentées sous forme de ressources théoriques mais également illustrées au travers de nombreuses études de cas, qui décrivent des mises en œuvre de diverses options énergétiques.

## E+, 20 ans de conventions renouvelées avec le Service Public de Wallonie (SPW)

Chaque renouvellement annuel de la convention avec le SPW donne lieu à une nouvelle thématique essentiellement orientée vers les bâtiments tertiaires. Les deux dernières conventions concernaient la rénovation des établissements scolaires (niveau fondamental et niveau secondaire). La convention n° 15 (C15) a donné lieu à la publication sur le site web d'E+ d'un dossier thématique<sup>2</sup> abordant



1 - <https://energieplus-lesite.be/>



① Schéma présentant les différents points abordés par le dossier thématique. Source : E+<sup>3</sup>

les différents aspects d'une rénovation d'école, ciblée sur des travaux énergétiques. La convention suivante C16 a, quant à elle, documenté dix études de terrain.

## La rénovation des écoles

L'état des bâtiments scolaires en Fédération Wallonie-Bruxelles a récemment (mai 2022) fait l'objet du Rapport CLEF-WB pour un Chantier, des Lieux, des Enseignements en Fédération Wallonie-Bruxelles<sup>4</sup>. Commandé sous l'impulsion d'une note méthodologique interrogeant le devenir des bâtiments scolaires en Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB), il formalise d'une part le constat de l'état particulièrement dégradé des infrastructures scolaires<sup>5</sup> et d'autre part, les importants défis pédagogiques et climatiques auxquels ces mêmes infrastructures s'avèrent confrontées.

La Directive européenne (2018/844)<sup>6</sup> vise la constitution d'un parc immobilier à haute efficacité énergétique et décarbonée sur tout le territoire européen à l'horizon 2050 ; 2030 constituant un premier jalon. Chaque État membre s'est engagé à respecter cet objectif qui s'est traduit, en Belgique, par la mise en œuvre d'un plan fédéral et de plans régionaux alignés. La compréhension du cadre réglementaire est complexe. Partant d'un niveau européen pour se décliner en politiques publiques régionales, les cibles à atteindre varient donc

d'une Région à une autre. Afin d'atteindre les objectifs régionaux, dans le secteur du bâtiment qui représente l'un des plus gros consommateurs d'énergie et émetteur de gaz à effet de serre (GES), une stratégie de rénovation énergétique à long terme des bâtiments a été mise en place. La stratégie wallonne de rénovation (StratRéno), mise à jour pour répondre à la Directive UE 2018/844, a été actée par le Gouvernement wallon le 12 novembre 2020.

En termes de méthode opérationnelle, la Strat Réno demande aux gestionnaires immobiliers de développer une stratégie énergétique spécifique à leur patrimoine, démontrant que les objectifs de neutralité énergétique arrêtés par la Région seront bien atteints.

À ce jour, en termes de performances, l'objectif d'efficacité énergétique envisagé est d'atteindre pour le tertiaire en moyenne le seuil de 80 kWh/m<sup>2</sup> d'énergie finale sur les principaux postes de consommations (chauffage, eau chaude sanitaire, refroidissement et éclairage). Des précisions sont encore attendues car la stratégie évoque indistinctement une neutralité énergétique et une neutralité carbone. Or, techniquement ces deux notions ne se superposent pas, la deuxième impliquant non seulement un bilan de consommation énergétiquement neutre, mais aussi une décarbonation des énergies consommées.

En termes de délais, l'échéance pour atteindre l'objectif est fixée à 2040 pour l'ensemble du parc immobilier tertiaire.



2 - <https://energieplus-lesite.be/dossier-thematique/menu-ecoles/>

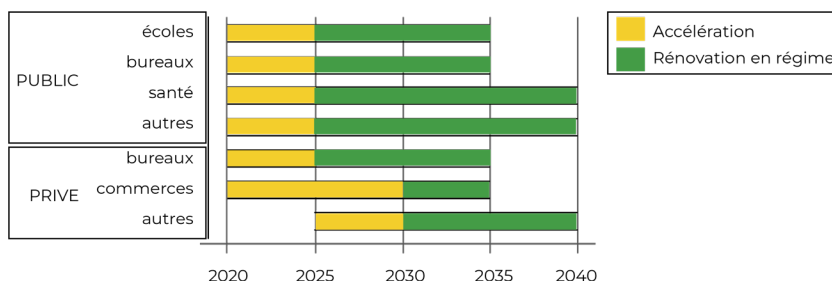
3 - Voir site web <https://energieplus-lesite.be/dossier-thematique/menu-ecoles/>

4 - Dassonville, C.(dir.). (2022). *Rapport CLEF-WB. Un chantier, des lieux, des enseignements en Fédération Wallonie-Bruxelles*. Bruxelles : FWB [en ligne, <https://clef-wb.be/>]

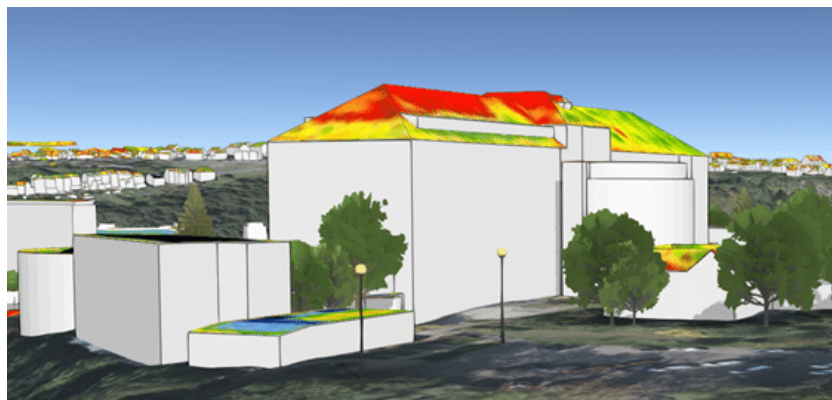
5 - Dassonville, C.(dir.). (2022). *Rapport CLEF-WB. Un chantier, des lieux, des enseignements en Fédération Wallonie-Bruxelles*. Bruxelles : FWB.

6 - Directive (UE) 2018/844 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments et la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique.

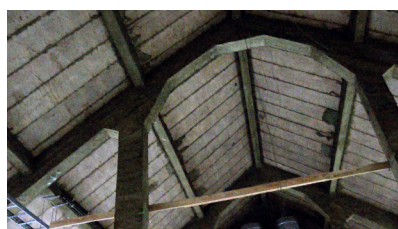
7 - GW:201112-strategie-renovation-2020-rapport-complet-final.pdf, p.43 <https://energie.wallonie.be/fr/strategie-de-renovation.html?IDC=9580>



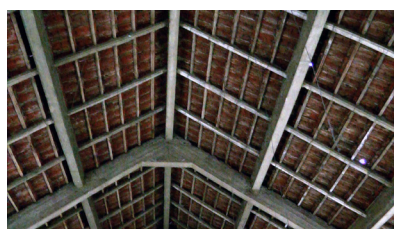
② Échéancier d'atteinte des objectifs à long terme des secteurs non résidentiels. Source : StratRéno<sup>7</sup>



③ Thermographie aérienne du toit de l'institut Sainte-Marie de Jambes, avant travaux.  
Source : E+



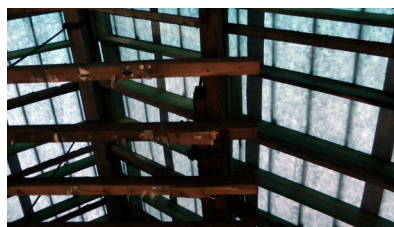
④ Photo de la charpente d'origine, en béton, datant de 1930, avant les travaux de rénovation.



⑤



⑥ Mise en œuvre d'une isolation des pans de toiture à l'occasion de la réfection de la toiture du bâtiment principal.



La RW prévoit, cependant, de ventiler cet objectif selon le type de bâtiments. L'échéance pour les bâtiments scolaires est fixée à 2035.

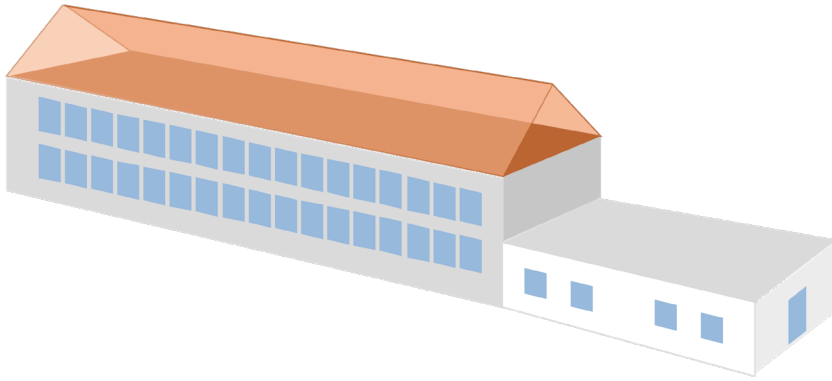
La rénovation énergétique des établissements scolaires n'est pas une fin en soi. Elle s'inscrit dans une vision élargie de ce que l'on attend de ce type d'édifice au XXI<sup>e</sup> siècle. Cette vision élargie interroge le rôle fondamental des infrastructures scolaires dans le développement d'un projet pédagogique, puisqu'elles s'apparentent à l'un des premiers outils de l'enseignement. Si cette dernière affirmation peut faire débat, l'amélioration du cadre (non) bâti des établissements scolaires en adéquation avec les enjeux sociétaux auxquels ces infrastructures sont confrontées est un objectif qui fait consensus.

La thématique liée à la rénovation des écoles s'est étendue le temps de deux conventions successives. La première aborde la question de manière théorique en la déclinant en 5 priorités (priorité 1 : Air / priorité 2 : Enveloppe / priorité 3 : Électricité / priorité 4 : Chaleur / priorité 5 : autres) tandis que la seconde documente 10 cas d'étude qui permettent d'aborder ces notions en situation. Les cahiers ou fiches thématiques d'E+ permettent de rassembler, autour de certaines notions clés, l'information de façon concentrée, condensée afin

de donner au lecteur ou à la lectrice une vision globale – réglementation, normes, systèmes existants, solutions techniques générales, outils de simulations et de calculs – par rapport à la problématique recherchée. Le but étant de fournir aux responsables énergie et à toutes les lecteur-rices potentiel-les des pistes de réflexion et d'action, de l'aide à la décision... Les ressources théoriques sont donc illustrées au sein de mises en œuvre *in situ* afin de documenter une approche de terrain.

À titre d'exemple, divers cas d'amélioration de l'enveloppe thermique du bâtiment ont été étudiés dans les publications C15 et C16. En fonction des singularités de chaque situation, différentes solutions pour l'isolation de la toiture – par les pans de toiture (voir figures 3-7) ou via le plancher du grenier (voir figures 8-10) – sont documentées par le biais d'exemples de rénovations récentes entreprises dans certains établissements scolaires.





8 École communale Sart d'Avette de Flémalle. Source E+



9 Réfection de la toiture.

10 Isolation par le plancher des combles.

## Outil de calcul / de simulation

Compatibilité énergétique, gains énergétiques, calculs de déperdition, taux de CO<sub>2</sub>... autant d'applications manipulant des données énergétiques usuelles mais cependant, souvent liées à l'utilisation de logiciels-proprétaires liées à des prestations tierces. Sur le site web E+, une large palette d'outils est mise à disposition du grand public en libre accès. Elle permet de jongler avec ces notions énergétiques, de manipuler et de tester des formules types de logiciels professionnels, mais sans avoir besoin d'accès particuliers ni d'autres agréments. Ces outils sont réalisés en partenariat avec l'Institut de Conseil et d'Études en Développement Durable (ICEDD).

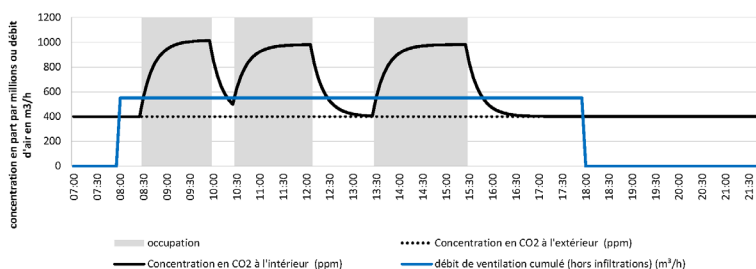
La visée énergétique n'est pas seulement performative mais permet aux acteur·rices de terrain (gestionnaires, propriétaires, occupant·es, usager·ères) d'approcher les méthodes de calculs des réglementations générales en vigueur et

de s'approprier ces calculs énergétiques des bâtiments dont ils ont la gestion, au-delà des diverses certifications et procédures agréées, éventuellement déléguées à des prestataires tiers.

Dans le tout prochain appel à projets de la FWB relatif aux bâtiments scolaires dénommé PIE pour Plan d'Investissement Exceptionnel<sup>9</sup>, un outil permettant l'établissement d'un premier bilan énergétique simplifié est mis à la disposition des candidat·es. Cet outil baptisé "outil de valorisation de l'état du bâtiment" compte trois volets. Le premier, dédié au bilan énergétique, a été élaboré à partir d'un outil d'E+. Certaines de ces données permettent, par exemple, de mettre en évidence le bâtiment le plus énergivore d'une implantation scolaire.

Au-delà des performances affichées, les études de cas sont également l'occasion de sonder comment se vivent sur le terrain ces préoccupations énergétiques.

8 - GW-201112-strategie-renovation-2020-rapport-complet-final.pdf, p.43  
<https://energie.wallonie.be/fr/strategie-de-renovation.html?IDC=9580>



11 Taux de CO<sub>2</sub> calculé avec un outil E+ sur une journée type dans une classe. Source : E+

13 Les ambassadeurs et ambassadrices énergétiques de l'école La Gaminerie de Lessines.

**f** ColécoIDETA  
Le projet COLECO, une dynamique locale d'autoconsommation collective.



## Études de cas

### Expérimentation pilote d'une Communauté d'Énergie Renouvelable (CER)

Une étude de cas concerne l'école La Gaminerie à Lessines. Des problèmes de stabilité d'une charpente, accentués par des intempéries, ont accéléré la mise en route d'une rénovation générale de l'école : remplacement de la toiture, isolation par les combles, nouvelles menuiseries extérieures, relighting, ventilation, panneaux solaires photovoltaïques (PPV). Ce chantier a impacté le quotidien de toute la communauté scolaire qui est loin d'être restée passive face à ces transformations en cours. Les enseignant·es et les élèves se sont emparés des questions énergétiques, une mobilisation générale autour d'une utilisation plus rationnelle de l'énergie s'est développée et structurée au sein de l'école. Des élèves "ambassadeurs et ambassadrices énergétiques" ont été désignés, des chartes affichées afin de stimuler des comportements de sobriété énergétique. Forte de cette rénovation – enveloppe isolée, étanchéité à l'air renforcée, qualité d'air intérieur assurée, éclairage renouvelé, protection solaire disponible – l'école (les usagers et usagères) a décidé d'aller un cran plus loin et de prendre part à une expérience pilote de CER. Bénéficiant du soutien au niveau communal de la responsable Énergie et de l'encadrement d'IDETA (agence de développement territoriale), La Gaminerie s'est lancée dans une expérience pilote d'autoconsommation partagée d'une énergie renouvelable produite localement. Comme les huit autres communes de la Wallonie picarde ayant pris part à cette expérience pilote, l'école La Gaminerie, via ses panneaux photovoltaïques installés en toiture, devient le "producteur" d'énergie renouvelable pour une communauté. Ce sont toujours des bâtiments publics commu-

naux qui ont été choisis pour assurer la production d'énergie par l'installation de PVP. Vu son profil d'occupation, l'école faisait office de candidat idéal pour mettre à disposition du quartier le surplus d'électricité produite et proposer aux voisins faisant partie de cette CER une auto-consommation locale de l'énergie produite sur le toit de l'école. En automne 2023, cette CER attend toujours l'entrée en vigueur des arrêtés d'exécution pour opérationnaliser sa création.

Au-delà des résultats affichés, c'est tout un processus participatif autour de questions énergétiques qui se développe au sein d'une commune. Le questionnaire collectif suggéré par les chantiers projetés permet de faire émerger les différents rapports des usager·ères aux notions touchant à l'énergie. L'investigation des consommations d'une collectivité engendre une interrogation des besoins et c'est aussi cette approche participative que documente Energie Plus à travers les études de cas menées.

D'autres informations sur les cas d'étude ou les thématiques ayant trait aux questions énergétiques sont disponibles sur le site E+.



⑭ L'école La Gaminerie à Lessines. Panneaux photovoltaïques en toiture. Source : © Commune de Lessines

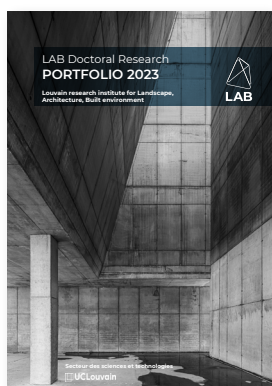


⑮ Figure 16. Surface potentielle de la CER de l'école La Gaminerie à Lessines. Source : © Commune de Lessines

## Médiagraphie

- Attia, S. (2020). *Understanding the performance gap of nearly zero-energy schools in Belgium*. [Proceedings of the International Conference of Architectural Science Association], pp. 1293–1302.
- Dassonville, C. (dir.) (2022). *Rapport CLEF-WB. Un chantier, des lieux, des enseignements en Fédération Wallonie-Bruxelles*. Bruxelles : FWB.
- Dawance, S., Deneff, J., Ribeiro, A., Touceda, M. (2018). *Mon école, un espace de qualité*. Bruxelles : Perspective. Brussels.
- Hauglustaine, J.-M. & Simon, F. (2018). *La conception globale de l'enveloppe et l'énergie*. Namur : SPW (Guide pratique pour les architectes).
- IDETA. (2022). *Plan stratégique 2023-2025*. Agence de Développement Territorial IDETA. Tournai.
- Belgium.be. Certificats de performance énergétiques [en ligne, [https://www.belgium.be/fr/environnement/consommation\\_durable/economie\\_d\\_energie/labels/construction](https://www.belgium.be/fr/environnement/consommation_durable/economie_d_energie/labels/construction)]
- SPW (2020). *Stratégie wallonne de rénovation à long terme du bâtiment*. [En ligne, <https://energie.wallonie.be/fr/strategie-de-renovation.html?IDC=9580>]
- Namur intelligente et durable. [En ligne, <https://www.le-nid.be/le-nid>]
- Zeiler, W. (2011). *Overview from Passive house schools and NZEB schools to Plus Energy schools in Architecture and Sustainable Development*. [Proceedings of the 27th International Conference on Passive and Low Energy Architecture], pp. 351–356.

À consulter en open access



## Les Pages du laa



Les Pages du laa sont désormais diffusée en open access par la plateforme OJS de l'UCLouvain.

Ont obtenu récemment le grade de docteur en Art de bâtir et urbanisme

### **Docteur Khaled Amcha**

Titre de thèse :  
*Infrastructure autoroutière et développement local. Échelles de structuration et opportunités de riverainisation de l'autoroute est-ouest en Algérie*

### **Docteur Giuseppe Galbiati**

Titre de thèse :  
*Preserving suspended structures with light façades (1960–1980). Architectural study and retrofitting proposals*

Ont été primé-es récemment pour leurs TFE

### **Camille Vinchon**

(LOCI Tournai)  
Lauréate du Hera Award 2023 Sustainable Architecture

Titre de TFE :  
*Le Pass'âge Strock. La maison ouvrière, une typologie repensée comme continuum de vie*

### **Victoria Crevits**

(LOCI Louvain-la-Neuve)  
Lauréate du Student First Prize 2023 of Institut belge de l'Éclairage (IBE)

Titre de TFE :  
*Toward enlightened students of architecture: what lighting strategy is necessary for supporting the pedagogy of architectural design studios and the learning experience of students?*

Vendredi 8 septembre 2023  
à Louvain-la-Neuve

### LAB day

Au programme, une conférence de Matthew Gandy du Department of Geography University of Cambridge, une table ronde avec des président·es d'instituts de recherche UCLouvain proches du LAB (IMMC, ELI, IPSY, IRIS-L, LOURIM, IACCHOS) et le responsable du secteur Sciences et Technologie et enfin des animations en fish bowls.



Samedi 18 novembre 2023 à Bruxelles

### Cérémonie de diplomation LOCI

Les 118 diplômé·es LOCI 2023 portent désormais le titre d'architectes, d'ingénieur·es et d'architectes ou d'urbanistes

Jeudi 26 octobre 2023  
à Tournai

### Remise de la Bourse Leleux 2023

Le projet élu s'intitule Paysages sonores, ses auteur·es sont Elisabetta Rosa et Gérald Ledent.

Pour marquer cette 10e édition de la Bourse Leleux, une exposition retraçait les projets de recherche et réalisations de toutes les lauréat·es



ucl.loci



infoloci



@InfoLocI



Abonnez-vous à  
la LOCI+LAB info

en couverture

Philadelphie, États-Unis, avril 2023.

Photo Anne Laffineur Chevillotte, LOCI Tournai

## lieuxdits #24

Spécial *Sustaining the energy transition*

Décembre 2023

|  |           |
|--|-----------|
| <b>édito</b>   | <b>1</b>  |
| <i>Sergio Altomonte</i>  |           |
| <b>Electricity security in South America<br/>Are we on the right path?</b>   | <b>2</b>  |
| <i>Ursula Cardenas Mamani</i>  |           |
| <b>Pour sortir de l'impasse<br/>Réflexion(s) stratégique(s) sur la rénovation du bâti</b>  | <b>8</b>  |
| <i>Sophia Sentissi, Giulia Marino, Giuseppe Galbiati</i>   |           |
| <b>Choix équilibré d'un isolant thermique<br/>en rénovation. Comment répondre aux exigences<br/>de performances énergétiques tout en limitant<br/>l'impact environnemental global et en favorisant<br/>la circularité des matières ?</b> | <b>14</b> |
| <i>Sophie Trachte, Dorothee Stiernon</i>   |           |
| <b>Le temps et l'espace de la chaleur<br/>Slowheat.org</b>   | <b>22</b> |
| <i>Geoffrey van Moeseke<br/>Denis De Grave</i>   |           |
| <b>Énergie Plus (E+)<br/>Un outil d'aide à la décision pour la gestion<br/>énergétique des bâtiments tertiaires</b>  | <b>28</b> |
| <i>Marie Vander Meulen</i>   |           |
| <b>La page d'info LOCI+LAB</b>   | <b>34</b> |

SEMESTRIEL

ISSN 2294-9046

e-ISSN 2565-6996



Éditeur responsable : Le comité éditorial, place du Levant, 1 - 1348 Louvain-la-Neuve (lieuxdits@uclouvain.be)

Comité éditorial : Damien Claeys, Gauthier Coton, Brigitte de Terwangne, Lucas Lerchs, Nicolas Lorent, Pietro Manaresi,

Catherine Massart, Giulia Scialpi, Dorothee Stiernon

Conception graphique : Nicolas Lorent

Imprimé en Belgique par Snel Grafics | Herstal



Faculté d'architecture  
d'ingénierie architecturale  
d'urbanisme



LAB

Louvain research institute for  
Landscape, Architecture,  
Built environment

[www.uclouvain.be/loci](http://www.uclouvain.be/loci)  
[www.uclouvain.be/lab](http://www.uclouvain.be/lab)