



**HAL**  
open science

# Face aux canicules : évaluer et améliorer la résilience des bâtiments

Bruno Peuportier

► **To cite this version:**

Bruno Peuportier. Face aux canicules : évaluer et améliorer la résilience des bâtiments. *Transitions. Les nouvelles Annales des Ponts et Chaussées*, 2023, décembre 2022, pp. 118-123. hal-03978092

**HAL Id: hal-03978092**

**<https://hal.science/hal-03978092>**

Submitted on 16 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Transitions Lab recherche environnement

Résilience des bâtiments face aux canicules

### Résumé en français

Les scénarios du GIEC prévoient pour la France une intensification des canicules. Cet article présente une méthode permettant d'évaluer la résilience des bâtiments face à ces canicules, basée sur la simulation thermique dynamique et l'élaboration de données climatiques prospectives.

Un échantillon de bâtiments représentatifs du parc français a été étudié, en considérant différentes mesures d'adaptation au changement climatique. Les résultats montrent qu'une combinaison de solutions est nécessaire pour assurer un bon niveau de confort, et que les risques de surchauffe sont très influencés par le comportement des occupants.

La notion de résilience ne devrait plus être ignorée en phase de conception, d'une construction neuve ou d'un projet de rénovation : la canicule de l'été 2003 avait causé 15 000 décès supplémentaires. Il est donc essentiel d'utiliser les moyens disponibles pour réduire les risques de surchauffe sur le long terme, étant donnée la longue durée de vie des bâtiments.

### Résumé en anglais

The scenarios developed by the IPCC predict an intensification of heat waves for France. This article presents a method for evaluating the resilience of buildings to these heat waves, based on dynamic thermal simulation and the development of prospective climate data.

A sample of buildings representative of the French stock was studied, considering various measures to adapt to climate change. The results show that a combination of solutions is necessary to ensure a satisfactory level of comfort, and that the risks of overheating are greatly influenced by the behaviour of the occupants in terms of using solar protection and opening windows.

The notion of resilience should no longer be ignored in the design phase, in a new construction or in a renovation project: the heatwave of summer 2003 caused 15,000 additional deaths. It is therefore essential to use the means available to reduce the risk of overheating in the long term, given the long lifespan of buildings.

### Biographie

Bruno Peuportier

Directeur de recherche au CES, MINES ParisTech

Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris, Docteur de l'Université Paris VI et habilité à diriger les recherches, Bruno Peuportier est enseignant-chercheur du Centre d'Efficacité énergétique des Systèmes (CES) de MINES ParisTech et professeur d'énergétique des bâtiments à l'Ecole des Ponts ParisTech. Ses travaux de recherche portent sur l'écoconception des bâtiments et des quartiers. Les outils de simulation thermique dynamique et d'analyse de cycle de vie des bâtiments développés dans son équipe sont largement diffusés auprès des professionnels, bureaux d'études techniques et architectes. Il coordonne le lab recherche environnement VINCI ParisTech.

## Article

### Introduction

La résilience peut s'appliquer à des objets physiques, des écosystèmes ou des individus. La résilience urbaine est définie par l'ONU<sup>1</sup> comme «la capacité de tout système urbain et de ses habitants à affronter les crises et leurs conséquences, tout en s'adaptant positivement et en se transformant pour devenir pérenne. » Même en se restreignant au domaine du bâtiment et aux crises environnementales, sujet de ce numéro, cette notion est très vaste du fait de la diversité des menaces: montée des eaux et risques d'inondation, sécheresses et risques d'incendies, tempêtes. Cet article traite de la résilience des bâtiments face aux canicules. Il faut en effet se souvenir que la canicule de 2003 a causé selon l'INSERM de l'ordre de 15 000 décès supplémentaires sur les 20 premiers jours d'août (Hémon, 2004).

Les scénarios élaborés par le GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, font prévoir pour la France une intensification des périodes de canicule, à la fois en termes de durée et de sévérité. Les températures resteront-elles supportables dans les bâtiments à l'horizon 2050 ou 2100 ? Quelles mesures d'amélioration peut-on envisager pour réduire le risque d'inconfort et quelle est l'efficacité de ces mesures ?

Cet article fait le point sur ces questions en présentant une méthodologie élaborée dans le cadre d'un projet en cours, basée sur l'application de la simulation thermique dynamique et l'utilisation de données climatiques prospectives, puis quelques résultats obtenus sur un échantillon de bâtiments.

#### 1 Echantillon de bâtiments et mesures d'amélioration considérées

L'échantillon considéré correspond à quelques archétypes du parc existant en France, en incluant des logements, des bureaux et des écoles. Il s'agit de représenter la diversité de ce parc, depuis des maisons anciennes aux épais murs de pierre jusqu'aux maisons récentes très isolées ou à des maisons à énergie positive (la production d'électricité renouvelable étant supérieure à la consommation), en passant par des maisons typiques des années 1950. Le principe est similaire pour les logements collectifs, l'échantillon incluant des immeubles haussmanniens, des HLM des années 1960 et des résidences récentes à basse consommation. Cet article n'abordera pas les bureaux et les écoles, mais la démarche est semblable.

Au-delà d'un simple état des lieux de ce parc en termes de confort thermique pour une typologie de bâtiments, il s'agit dans un deuxième temps d'étudier diverses mesures ayant pour objectif de réduire les risques de surchauffe. Les mesures les moins coûteuses sont d'ordre comportemental : il s'agit de gérer des protections solaires (volets, stores...) et d'ouvrir des fenêtres au moment opportun c'est-à-dire la nuit (même si les températures nocturnes peuvent être élevées en période de canicule, elles sont plus basses que durant la journée donc la ventilation est bénéfique). Le débit de ventilation ainsi créé est plus élevé en cas de ventilation « traversante » c'est-à-dire si le logement est équipé de fenêtres d'orientations différentes et si les portes intérieures sont ouvertes ou au moins détalonnées.

Mais dans la plupart des cas, les mesures comportementales sont insuffisantes et une intervention est alors envisagée sur l'enveloppe des bâtiments, en particulier par l'isolation des murs et des toitures ou combles, et par la mise en œuvre de vitrages à isolation renforcée (double vitrage à basse

---

<sup>1</sup> <https://unhabitat.org/fr/node/3774>

émissivité voire triple vitrage). L'isolation peut modifier l'inertie thermique<sup>2</sup> d'un bâtiment, en particulier si elle est mise en œuvre par l'intérieur : dans ce cas, l'inertie thermique est réduite. Il s'agit alors d'évaluer les conséquences sur les variations de température, plus importantes si l'inertie est réduite.

La végétalisation, créant des ombrages et réduisant la température sur une toiture ou une façade, constitue un levier d'action supplémentaire. Une couleur claire réduit par ailleurs l'absorption du rayonnement solaire au niveau des surfaces extérieures d'un bâtiment.

Des équipements peuvent ensuite compléter l'intervention sur l'enveloppe. Des brasseurs d'air, en augmentant la vitesse de l'air au contact de la peau, permettent de supporter des températures plus élevées. Le principe du puits climatique consiste à faire passer l'air neuf du renouvellement d'air dans des gaines enterrées à environ 1,5 mètre de profondeur, où la température reste modérée tout au long de l'année. Enfin la climatisation peut s'avérer nécessaire, mais la consommation énergétique correspondante peut être maîtrisée par exemple en ne climatisant que certaines parties d'un bâtiment, ou en réduisant l'utilisation à certaines périodes. Le système de climatisation peut d'autre part être alimenté par une production d'électricité photovoltaïque.

## 2 Méthodologie d'évaluation de la résilience face aux canicules

La simulation numérique a été utilisée pour étudier des échantillons de bâtiments en considérant des projections climatiques pour des contextes donnés, par exemple en Grande Bretagne où le nombre d'heures au-delà de 28°C passe, dans les cas étudiés, de 50 ou 100 dans le climat des années 1980 à plus de 500 en 2080 (Holmes, 2007). Des archétypes sont en général définis pour représenter un parc de bâtiments (Mavrogianni, 2012). Certains travaux se sont concentrés sur des types particuliers de bâtiments comme les logements (Jenkins, 2011), les écoles (Jenkins, 2009) ou les hôpitaux (Lomas, 2009).

L'évaluation de profils de température requiert la mise en œuvre de modèles plus précis que l'évaluation de consommations énergétiques annuelles. Il est alors préférable d'utiliser la simulation thermique dynamique, et de s'assurer de la validation du modèle utilisé. Les risques de surchauffe peuvent être différents à l'étage supérieur d'un bâtiment, situé sous la toiture qui reçoit un rayonnement solaire particulièrement élevé en été, alors qu'un rez-de-chaussée pourra rester plus frais. Ils dépendent également de l'orientation des pièces, et des débits d'air en circulation. Un modèle multizone, évaluant les températures dans les différents locaux au cours du temps, est alors utile pour prendre en compte ces phénomènes (Peuportier, 1990). Les mesures d'amélioration pouvant inclure une isolation performante du bâti, il est nécessaire de s'assurer de la validité du modèle dans le cas de bâtiments récents. C'est ce qui a été fait pour les outils logiciels EnergyPlus, TRNSYS, et Pleiades par rapport à des mesures expérimentales réalisées sur la plate-forme INCAS de l'INES à Chambéry (Munaretto, 2017).

La simulation nécessite des données climatiques. Le calcul réglementaire utilise des données historiques issues de mesures sur des années passées. Pour évaluer la résilience face au changement climatique, des données prospectives sont nécessaires. A partir des scénarios du GIEC, MétéoFrance a mis en œuvre des méthodes de descente d'échelle de manière à produire des données à l'horizon 2050 et 2100 pour deux climats (Paris et Nîmes) avec et sans prise en compte d'un phénomène d'îlot de chaleur, et pour deux niveaux de sévérité des vagues de chaleur (Lemonsu, 2021).

---

<sup>2</sup> L'inertie thermique d'un bâtiment est liée à sa capacité thermique donc au stockage de chaleur, ce qui est différent de l'isolation liée au transfert de chaleur.

Des travaux antérieurs ont par ailleurs porté sur les indicateurs d'inconfort. Il est possible de quantifier par exemple le nombre d'heures de surchauffe, celle-ci étant définie par rapport à une température fixe, par exemple 28°C (Porrit, 2012) ou selon une approche de confort adaptatif (van Hooff, 2014). Cette deuxième approche prend en compte le fait de supporter des températures plus élevées s'il a fait chaud les jours précédents. Un indicateur en degrés-heures intègre à la fois la durée et l'intensité des surchauffes : le nombre de degrés excédentaires est multiplié par la durée de surchauffe.

Un nombre d'heures d'inconfort peut également être défini en fonction de l'humidité relative du local et de la vitesse de l'air, selon l'approche de (Givoni, 1992).

### 3 Exemples de résultats obtenus

Un premier résultat concerne l'influence très importante du comportement des occupants sur le niveau de confort : dans le cas d'une maison individuelle isolée et en considérant les données climatiques correspondant à la canicule de 2003, le nombre d'heures d'inconfort (un seuil de 28°C étant considéré) est divisé par 8 si les occupants ferment les volets le jour et ouvrent les fenêtres la nuit, et la température maximale passe de 40°C à 31°C grâce au comportement approprié (Monnier, 2022).

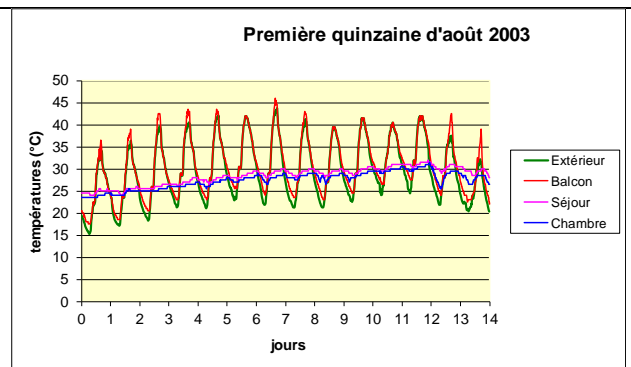
Les maisons anciennes, aux épais murs de pierre et construites sur terre-plein donc au contact d'un sol plus frais que l'air extérieur peuvent constituer des abris efficaces à condition de bien les ventiler la nuit et d'utiliser un brasseur d'air lors des pics de chaleur. Il est toutefois préférable de les isoler, ne serait-ce que pour réduire les consommations de chauffage.

Rénover une maison avec des double-vitrages performants et 20 cm d'isolation thermique permet de réduire par trois le nombre de degrés-heures d'inconfort pour un climat prospectif médian en Ile de France à l'horizon 2050, toujours sous réserve d'une ventilation nocturne importante. Une isolation thermique par l'extérieur est préférable pour maintenir un bon niveau d'inertie thermique : dans le cas de la maison rénovée pour ce même climat, le nombre de degrés-heures d'inconfort est deux fois plus faible qu'avec une isolation par l'intérieur. L'usage de triple vitrage peut être approprié dans le sud de la France.

Les résultats de simulation ont été confirmés par le retour d'expérience concernant un immeuble HLM construit en 1969 à Montreuil (93) et rénové en 2002 (Peuportier, 2004). Les mesures effectuées l'année suivant les travaux, en particulier lors de la canicule d'août 2003, ont montré que l'isolation par l'extérieur et le remplacement des fenêtres à simple vitrage par des double-vitrages à basse émissivité ont permis de maintenir la température intérieure maximale à 10 degrés de moins que la température extérieure (cf. Figure ci-dessous).



Immeuble HLM à Montreuil (93) rénové en 2002



Profil de température mesuré lors de la canicule de 2003

Une construction neuve à inertie très légère, par exemple entièrement en bois, présente un risque de surchauffe important. Il est alors recommandé de mettre en œuvre des matériaux inertes (c'est à dire à capacité thermique élevée). Même si certains isolants ont une capacité thermique plus importante que d'autres, leur inertie reste très faible par rapport à des matériaux comme le béton, la brique ou la terre crue et ils ne suffisent pas à maintenir un confort satisfaisant. Mélanger des composants isolants et inertes dans un matériau composite (béton de chanvre, béton de bois...) relève de la fausse bonne idée : ce sont de mauvais isolants, et leur inertie est peu mobilisée car la chaleur pénètre difficilement à l'intérieur de ces matériaux composites par rapport à des matériaux inertes et conducteurs. Il est alors préférable de mettre en œuvre une couche inerte et conductrice à l'intérieur et une isolation par l'extérieur. La couche inerte peut être rafraîchie par la ventilation nocturne, et son inertie maintient la fraîcheur durant la journée du lendemain. L'isolation protège de la chaleur extérieure, et réduit les besoins de chauffage en hiver.

La végétalisation des façades améliore le confort pour des surchauffes modérées, mais ne semble pas vraiment protéger des surchauffes importantes : la température maximale atteinte dans les locaux étudiés ne baisse pas par ce moyen.

Selon l'approche de (Givoni, 1992), un brasseur d'air peut augmenter de quatre degrés la température supportable, ce qui permet de réduire le nombre d'heures d'inconfort.

Climatiser une des pièces d'un logement peut constituer une solution pour maintenir un espace confortable tout en maîtrisant la consommation énergétique, et réduire les surchauffes dans les espaces adjacents. Alimenter ces équipements par une production d'électricité renouvelable, par exemple avec des modules photovoltaïques, évite de générer des pointes de demande électrique en périodes chaudes lors desquelles il est difficile de refroidir les centrales nucléaires, le débit des fleuves étant réduit.

### Conclusions et perspectives

L'élaboration de données climatiques prospectives et la simulation thermique dynamique permettent d'évaluer la résilience d'un bâtiment face à des canicules induites par le changement climatique. Ces outils peuvent donc être utilement mobilisés à l'étape de conception d'une construction neuve ou d'un projet de rénovation, car agir uniquement sur la gestion des ouvertures et des protections solaires n'est en général pas suffisant.

L'étude présentée dans cet article va se poursuivre, d'une part pour intégrer des leviers d'action à l'échelle d'un quartier, en particulier la végétalisation, et d'autre part pour compléter l'évaluation thermique par une évaluation économique et environnementale. Il est en effet utile de maîtriser le coût et les impacts environnementaux des technologies mises en œuvre pour améliorer la résilience des bâtiments.

### Remerciements

Ces travaux ont pu être menés grâce au soutien de l'ADEME et du lab recherche environnement VINCI Paristech.

### Bibliographie

Hémon, D. et Jouglà, E. 2004. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003, Rapport remis au Ministre de la Santé et de la Protection Sociale, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

Holmes MJ, Hacker JN. Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century. *Energy and Buildings* 2007; 39:802–814

Givoni B., 1992. Comfort, climate analysis and building design guidelines, *Energy and Buildings* Volume 18, Issue 1, Pages 11-23

Jenkins DP, Peacock AD, Banfill PFG. Will future low-carbon schools in the UK have an overheating problem? *Building and Environment* 2009; 44:490–501.

Jenkins DP, Patidar S, Banfill PFG, Gibson GJ. Probabilistic climate projections with dynamic building simulation: predicting overheating in dwellings. *Energy and Buildings* 2011; 43:1723–1731.

Lemonsu A. et Le Roy B. 2021. Projet ADEME Résilience – Livrable 3. Rapport descriptif des données climatiques, 21 pages.

Lomas KJ, Ji Y. Resilience of naturally ventilated buildings to climate change: advanced natural ventilation and hospital wards. *Energy and Buildings* 2009 ; 41 :629–653.

Mavrogianni A, Wilkinson P, Davies M, Biddulph P, Oikonomou E. Building characteristics as determinants of propensity to high indoor summer temperatures in London dwellings. *Building and Environment*; 2012:55.

Monnier R., Schalbart P., Serodio E., Thiers S. et Peuportier B. 2022. Projet ADEME Résilience – Livrable 4. Indicateurs de confort adaptatif des mesures d’adaptation, XX pages.

Munaretto, F., Recht, T., Schalbart, P. and Peuportier, B. Empirical validation of different internal superficial heat transfer models on a full-scale passive house. *Journal of Building Performance Simulation*, June 2017

Peuportier B. and Bonabeau J.-L., 2004. Final Technical Report including monitoring results and analysis. Deliverable D5 of the European project Regen-Link

Peuportier B. and Blanc Sommereux I., 1990. Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings, *International Journal of Solar Energy*, vol. 8 pp 109-120

Porritt SM, Cropper PC, Shoa L, Goodier CI. Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves. *Energy and Buildings* 55(2012)16–27

van Hooff T., Blocken B., Hensen J.L.M. Timmermans H.J.P., On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings, *Building and Environment* 82 (2014), pp 300-316