



UFR 03 Histoire de l'art et archéologie

Le Décret Tertiaire

**Concilier conservation préventive et traitement d'air
au sein des espaces de conservation (réserves et magasins)
dans un contexte de transition énergétique**

Charlotte Garin

Mémoire de Master 2 en Conservation-Restauration des Biens Culturels

Parcours « Conservation préventive du Patrimoine »

Sous la direction de Charlotte Martin de Fonjaudran

Année universitaire 2024-2025

Résumé

Dans un contexte de transition énergétique, les établissements culturels doivent intégrer des objectifs de sobriété dans la gestion de leurs bâtiments, y compris dans les espaces de conservation. L'application du décret tertiaire soulève la question des marges de manœuvre pour réduire les consommations d'énergie sans compromettre la préservation des collections. Les constats issus de ce travail montrent que le traitement d'air des espaces de conservation constitue un poste central mais pas toujours majoritaire dans les consommations. La diversité des situations rencontrées révèle l'absence de solution unique et souligne la nécessité d'une approche contextualisée. Plusieurs leviers d'optimisation sont identifiés, notamment du côté des équipements techniques, des choix architecturaux et des stratégies de régulation. Dans ce cadre, le rôle du préventeur pourrait évoluer vers une fonction plus transversale, à la croisée des enjeux de conservation, de performance énergétique et de gestion des usages. Au-delà des aspects techniques, le mémoire met en évidence l'intérêt d'ajustements progressifs des pratiques, comme l'élargissement des consignes climatiques ou l'arrêt ponctuel des systèmes. Ces évolutions supposent une évaluation rigoureuse de leurs effets sur les collections. Le développement d'un suivi sanitaire adapté apparaît comme un outil structurant pour sécuriser ces démarches. Enfin, le travail souligne l'importance d'une coopération renforcée entre les métiers de la conservation, de la technique et de la gestion énergétique. La concertation, le partage d'expérience et la montée en compétence collective sont identifiés comme des conditions clés pour accompagner une transition compatible avec les spécificités du patrimoine conservé.

Mots clés : *traitement d'air, climat, sobriété énergétique, conservation, réserves*

Abstract

In the context of the energy transition, cultural institutions must now incorporate energy-saving goals into the management of their buildings, including conservation spaces. The implementation of the “décret tertiaire” raises the question of how energy consumption can be reduced without compromising collection preservation. The findings of this study show that air treatment is a central but not always dominant factor in energy use. The diversity of cases highlights the absence of a universal solution and the need for a contextualised approach. Several optimisation levers have been identified, particularly in terms of technical equipment, architectural choices and regulation strategies. In this context, the role of the preventive conservator could evolve into a more transversal function, linking conservation, energy performance and use management. Beyond technical aspects, the study highlights the relevance of gradually adjusting practices, such as widening climate control parameters or modulating system operation. These changes require a rigorous evaluation of their impact on collections. The development of an appropriate condition monitoring system appears to be a key tool for supporting such transitions while maintaining conservation requirements. Lastly, the research underlines the importance of stronger cooperation between conservation professionals, technical teams and energy managers. Dialogue, experience-sharing and collective upskilling are identified as essential conditions for enabling a transition that remains aligned with the specific needs of heritage preservation.

Keywords : *air handling, climate, energy efficiency, conservation, storage facilities*

Remerciements

Voilà deux ans qu'a été amorcée cette réflexion autour des liens entre conservation préventive et traitement d'air, dans le contexte plus large de la transition énergétique. Ce sujet, d'abord approché de manière ponctuelle à travers les cours et les lectures, s'est peu à peu imposé comme une thématique centrale, nourrie par les expériences de terrain et les échanges avec divers professionnels. En s'affirmant progressivement, il a durablement façonné ma manière de penser les enjeux de conservation et a orienté, de façon continue, la construction de ce travail. Ce cheminement n'aurait pas été possible sans l'accompagnement de plusieurs personnes, auxquelles je souhaite adresser mes sincères remerciements.

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement Charlotte Martin de Fonjaudran, directrice de ce mémoire, pour son accompagnement, ses conseils et ses remarques, qui ont permis de constamment réorienter ce travail vers les enjeux spécifiques de la conservation préventive, au-delà des seules considérations techniques liées au génie climatique. Ma reconnaissance va ensuite tout particulièrement à Thi-Phuong Nguyen, conseillère experte en conservation préventive et curative au Service interministériel des Archives de France, également jury de ce mémoire, qui m'a accueillie le temps d'un stage dédié à ces problématiques. En partageant ses connaissances avec clarté, bienveillance et pédagogie, elle a largement contribué à nourrir et structurer cette réflexion.

Je souhaite également remercier Isabelle Colson, ingénieure-conseil au Service des musées de France, qui m'a permis de poursuivre ces investigations lors d'un second stage. Son regard technique, sa disponibilité et la qualité de nos échanges ont été précieux dans la mise en œuvre de ce travail. Mes remerciements vont également à Stéphanie Likes, consultante en conservation préventive indépendante, dont l'accueil et les échanges m'ont permis de mieux appréhender la transversalité des compétences du préventeur, notamment dans les missions de programmation, d'assistance à maîtrise d'ouvrage ou d'œuvre. Son approche a éclairé le rôle que peut jouer le préventeur dans les décisions climatiques comme dans les arbitrages plus larges entre conservation et technique.

Enfin, je remercie les structures et associations qui ont contribué à la diffusion de l'enquête sur laquelle repose ce mémoire, et plus particulièrement BiblioPat, l'AFROA, l'ICOM France, l'AprevU et le SIAF dont l'appui a permis de mobiliser un large réseau de professionnels, issus de contextes variés. Je suis également reconnaissante envers toutes les personnes qui ont pris le temps de répondre au questionnaire, d'enrichir leurs réponses par des témoignages détaillés ou de partager plus largement leurs pratiques. Enfin, je tiens à remercier tout particulièrement les professionnels qui m'ont accordé un temps d'échange ou un entretien plus approfondi et dont les retours ont joué un rôle clé dans l'élaboration de cette recherche.

"On ne protège bien que ce que l'on comprend."

Jean Dorst (1924-2001), naturaliste français.

Sommaire

LEXIQUE DES TERMES TECHNIQUES ET DES ACRONYMES ABORDES	1
INTRODUCTION	2
I/ LE DECRET TERTIAIRE : UN LEVIER REGLEMENTAIRE POUR ACCELERER LA TRANSITION ECOLOGIQUE DES ETABLISSEMENTS CULTURELS	6
A) UN CONTEXTE EN MUTATION : ENTRE ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, CADRE LEGISLATIF ET ENGAGEMENTS CULTURELS.....	6
a. Pressions énergétiques et réchauffement climatique : quels impacts pour la culture ?.....	6
b. De l'Europe à la France : un cadre réglementaire renforcé pour la transition énergétique du secteur tertiaire	8
c. Des pratiques climatiques aux stratégies durables : l'adaptation des établissements culturels aux exigences énergétiques et écologiques.....	11
B) LE DECRET TERTIAIRE : CONTRAINTE OU LEVIER POUR LES INSTITUTIONS CULTURELLES ?	14
a. Les principes et la portée du décret tertiaire : vers une réduction énergétique progressive et adaptée à chaque bâtiment.....	14
b. Les méthodes de calcul des objectifs de réduction énergétique : une approche adaptée à chaque établissement	15
c. Déclarer, suivre et moduler ses objectifs : une opportunité pour mieux gérer ses consommations	17
d. Le DEET : implications et opportunités pour les établissements culturels.....	19
C) QUELS LEVIERS D'ECONOMIE D'ENERGIE POUR LES ETABLISSEMENTS CULTURELS ?.....	21
a. Le traitement d'air : un poste de consommation à relativiser	21
b. Mieux connaître ses consommations pour mieux agir : mesurer, diagnostiquer, piloter	23
c. Au-delà du traitement d'air : quels leviers pour les autres postes de consommation ?.....	26
II/ CONCILIER CONSERVATION PREVENTIVE ET ECONOMIES D'ENERGIE : LEVIERS TECHNIQUES DU TRAITEMENT D'AIR ET DU BATIMENT	30
A) CONSTRUIRE OU RENOVER AUTREMENT : POSER LES BASES D'UNE CONSERVATION ECONOMIE EN ENERGIE.....	30
a. Vers une architecture passive et raisonnée des espaces de conservation	30
b. Anticiper les usages pour une conservation sobre et adaptée	33
c. Collaborer en phase projet : le préventeur comme interface entre conservation et conception	35
B) OPTIMISER LES SYSTEMES TECHNIQUES DE TRAITEMENT D'AIR : ENTRE EXIGENCE DE CONSERVATION ET PERFORMANCE ENERGETIQUE	38
a. Dispositifs techniques de régulation climatique : innovations, apports et limites	38
b. Diversification et adaptation des sources d'énergie dans les bâtiments culturels.....	41
c. Concevoir des systèmes fiables : un enjeu de conservation et de performance énergétique	45
C) REGULATION CLIMATIQUE, SUPERVISION ET PILOTAGE : VERS UNE GESTION FINE ET CONTINUE	47
a. Centraliser, automatiser, superviser : les apports de la GTB	48
b. Bien comprendre pour bien réguler : scripts, capteurs et réalité du terrain	49
c. Assurer un suivi climatique autonome au service de la conservation préventive.....	51
III/ LA PERFORMANCE ENERGETIQUE AU PRISME DE LA GESTION HUMAINE : VERS UNE REGULATION CONCERTEE ET CONSERVATOIRE	53

A) MIEUX COMPRENDRE POUR MIEUX COORDONNER : POSER LES BASES D'UNE REGULATION MAITRISEE	53
a. Entre accès restreint aux systèmes et dynamique d'implication à soutenir	53
b. Vers une meilleure articulation entre conservation et technique	55
c. Coopérer pour ajuster : retours croisés sur deux démarches de sobriété	57
B) AJUSTER LES PRATIQUES DE REGULATION CLIMATIQUE DANS UNE LOGIQUE DE SOBRIETE RAISONNEE	60
a. Préparer l'expérimentation climatique : entre prudence, méthode et connaissance des matériaux	60
b. Élargir les consignes climatiques : entre efficacité énergétique et exigences de conservation	62
c. Repenser le fonctionnement des systèmes entre débit minimal et arrêt maîtrisé	65
C) MAITRISE ET PERENNISER LA REGULATION : SUIVI, MAINTENANCE ET INNOVATION	67
a. Surveiller les effets du climat sur les collections : l'enjeu du suivi sanitaire	67
b. La maintenance des installations : un levier stratégique à encadrer	69
c. Vers une gestion climatique et énergétique augmentée par l'intelligence artificielle	72
CONCLUSION	75
BIBLIOGRAPHIE	77

Sommaire – Volume Annexe

ANNEXE 1 : ENQUETE SUR LES SYSTEMES DE TRAITEMENT D'AIR ET LES ECONOMIES D'ENERGIE DANS LES ETABLISSEMENTS CULTURELS	3
ANNEXE 2 : DOCUMENTS RELATIFS AU DECRET TERTIAIRE	15
ANNEXE 3 : ENQUETE MENEES AU SIAF DANS LE CADRE DES NEGOCIATIONS DES VALEURS CIBLES DE REDUCTION DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU DECRET TERTIAIRE (04/2024 A 07/2024)	17
TABLE DES ILLUSTRATIONS	22

Lexique des termes techniques et des acronymes abordés

ACL	Les Armoires de Climatisation Locales sont des unités techniques autonomes qui assurent la régulation climatique dans une pièce ou une zone restreinte.
ADEME	L'Agence de la transition écologique accompagne les acteurs publics, privés et territoriaux dans la mise en œuvre de politiques environnementales.
C2RMF	Le Centre de recherche et de restauration des musées de France, rattaché au ministère de la Culture, mène des études scientifiques, techniques et technologiques sur les œuvres des collections nationales et accompagne les musées dans leurs missions de conservation et de restauration.
CEREMA	Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement est un établissement public qui accompagne les collectivités et l'État dans la transition écologique, en produisant des outils, des études et des recommandations techniques.
Cnap	Le Centre national des arts plastiques soutient la création contemporaine en France en gérant une collection publique d'art, en finançant des projets d'artistes et en accompagnant la diffusion de l'art sur le territoire.
COV	Les Composés Organiques Volatils sont des substances chimiques présentes dans de nombreux matériaux et produits (colles, peintures, solvants...) qui s'évaporent facilement dans l'air et peuvent avoir des effets nocifs sur la santé et sur la conservation des collections.
CSTB	Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment est un établissement public qui soutient l'innovation dans le secteur de la construction en produisant des expertises, normes et recommandations techniques, notamment en matière de performance énergétique et de qualité environnementale.
CTA	Une Centrale de Traitement d'Air est un dispositif technique qui assure le conditionnement de l'air (température, humidité) avant sa diffusion dans un bâtiment.
CVC	Le Chauffage, Ventilation, Climatisation désigne l'ensemble des équipements techniques assurant le confort thermique et la qualité de l'air dans les bâtiments.
DEET	Le Dispositif Éco Énergie Tertiaire (ou décret tertiaire) impose une réduction progressive des consommations énergétiques dans les bâtiments tertiaires de plus de 1 000 m ² , en fixant des objectifs à l'horizon 2030, 2040 et 2050.
FRAC	Les Fonds régionaux d'art contemporain soutiennent la création artistique contemporaine, constituent des collections diffusées sur les territoires et accompagnent des actions de sensibilisation et de médiation culturelle.
GIEC	Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat évalue l'état des connaissances scientifiques sur le changement climatique afin d'éclairer les décisions politiques à l'échelle mondiale.
GTB / GTC	Les systèmes de Gestion Technique du Bâtiment et de Gestion Technique Centralisée permettent de surveiller, piloter et automatiser les équipements techniques.
ICCROM	Le Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels soutient les États membres dans la protection du patrimoine culturel à travers la recherche, la formation et la diffusion de bonnes pratiques en conservation.
ICOM	Le Conseil international des musées réunit les professionnels du patrimoine muséal et élabore des standards internationaux en matière de conservation, de déontologie et de gestion des musées.
OPERAT	L'Observatoire de la Performance Énergétique, de la Rénovation et des Actions du Tertiaire est la plateforme en ligne permettant aux établissements assujettis au décret tertiaire de déclarer leurs consommations énergétiques et de suivre leurs objectifs.
SIAF	Le Service interministériel des Archives de France pilote, coordonne et accompagne la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'archives à l'échelle nationale.

Introduction

« Dans ce vaste chantier de la transition écologique, la culture doit prendre toute sa part »¹. C'est par ces mots que la ministre de la Culture Rachida Dati ouvrait en 2024 le *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture*. En effet, dans un paysage institutionnel en pleine mutation, le secteur patrimonial est désormais invité à repenser ses modes de fonctionnement à l'aune des enjeux environnementaux. Cette dynamique de transformation, qui touche à la fois les usages, les ressources, les bâtiments et les pratiques professionnelles, n'est pas sans conséquences sur les cadres établis de la conservation préventive. Ainsi, la transition écologique interroge les référentiels, bouscule certaines habitudes, et appelle une évolution des approches. Dans ce contexte, le rôle du préventeur semble être amené à se redéfinir au-delà de la seule expertise conservatoire, puisqu'il devient de plus en plus nécessaire d'articuler des compétences techniques, stratégiques et transversales pour accompagner ces transitions tout en restant fidèle aux exigences patrimoniales.

Parmi les nombreux aspects concernés par cette mutation, les questions énergétiques occupent une place majeure, en particulier dans les espaces de conservation où les systèmes de traitement d'air apparaissent comme des éléments clés. Essentiels pour garantir des conditions climatiques stables, ils sont aujourd'hui au centre des réflexions sur la réduction de l'empreinte énergétique des bâtiments patrimoniaux. Cette focalisation progressive sur le traitement d'air soulève plusieurs questions simples mais fondamentales : comment faire évoluer ces systèmes pour consommer moins sans compromettre la conservation ? Quels leviers peuvent être mobilisés pour adapter les pratiques tout en restant efficaces ?

C'est autour de ces problématiques que s'est construit le présent mémoire, nourri par deux stages réalisés au sein du ministère de la Culture : d'abord au Service interministériel des Archives de France (SIAF)², puis au Service des Musées de France (SMF)³. Ces deux expériences ont été étroitement liées à la mise en œuvre du dispositif Éco Énergie Tertiaire

¹ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, Paris, 2024, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/transition-ecologique/guide-d-orientation-et-d-inspiration-pour-la-transition-ecologique-de-la-culture> (consulté le 07/05/2025), p.4.

² Stage réalisé du 16 avril au 12 juillet 2024 sous le tutorat de Madame Thi-Phuong Nguyen, conseillère experte en conservation préventive et curative au SIAF.

³ Stage réalisé du 13 janvier au 28 février 2025 sous le tutorat de Madame Isabelle Colson, ingénieur-conseil au SMF.

(DEET), issu du décret tertiaire, qui impose aux bâtiments de ce secteur une réduction progressive de leurs consommations d'énergie. Dans ce cadre, le premier stage a consisté à contribuer à une enquête nationale visant à recueillir les données de consommations énergétiques des services d'archives⁴, en vue de négocier des objectifs de réduction cohérents et le second a été consacré à la rédaction d'un vade-mecum destiné à accompagner les établissements culturels dans l'appropriation du décret. Encadrées par des tutrices particulièrement intéressées par les enjeux du traitement d'air, ces missions ont souligné combien l'application du décret tertiaire fait émerger des questionnements concrets sur la performance énergétique des systèmes CVC, à l'interface des exigences réglementaires, des réalités techniques de terrain et des impératifs de conservation patrimoniale.

Pour nourrir cette réflexion, le mémoire s'appuie sur une méthodologie croisée mêlant analyse bibliographique, expérience acquise lors des stages, entretiens informels menés auprès de professionnels issus de différents établissements, et enquête en ligne diffusée à l'échelle nationale⁵ à divers types d'établissements culturels⁶. Cette dernière, qui a recueilli 118 réponses, témoigne d'un fort engagement des professionnels, tous corps de métier confondus⁷, et confirme que le traitement d'air, longtemps perçu comme une question strictement technique, est aujourd'hui identifié comme un véritable enjeu stratégique. En effet, la moitié des répondants déclarent s'y intéresser et s'y investir activement, tandis que 45 % expriment un sentiment de dénuement face à la complexité du sujet et au manque de repères concrets pour agir⁸. Ce contraste montre que, s'il s'agit d'un sujet de plus en plus mobilisateur, il peut aussi paraître déroutant ou désarmant pour ceux qui manquent d'outils ou de connaissances pour l'aborder dans leur quotidien professionnel. Par ailleurs, l'enquête révèle également une appropriation encore limitée du décret tertiaire⁹ puisqu'une majorité des répondants en ignore

⁴ Cf. Annexe 3 : Enquête menée au SIAF dans le cadre des négociations des valeurs cibles de réduction des consommations énergétiques du décret tertiaire (04/2024 à 07/2024), p.17.

⁵ Cf. Annexe 1 : Enquête sur les systèmes de traitement d'air et les économies d'énergie dans les établissements culturels, p.3.

⁶ Cf. Annexe 1 – Graphique 1 « *Catégories d'établissements ayant participé à l'enquête* », p.4.

⁷ Cf. Annexe 1 – Graphique 2 « *Poste occupé par les répondants* », p.4.

⁸ Cf. Annexe 1 – Graphique 3 « *Ressenti des professionnels sur le sujet des systèmes de traitement d'air* », p.5.

⁹ Cf. Annexe 1 – Graphique 4 « *Connaissance du décret tertiaire par les répondants* », p.5.

l'existence ou n'en maîtrise pas pleinement les implications, seuls 10 % affirmant en avoir une connaissance précise.

Ainsi, ce mémoire reflète la volonté d'apporter une contribution modeste à une réflexion encore émergente, mais qui prend progressivement de l'ampleur au sein des institutions culturelles. Il ne s'agit pas d'établir des recommandations, mais de proposer un éclairage transversal en croisant les enjeux soulevés par le décret tertiaire avec ceux, plus spécifiques, liés au traitement d'air dans les espaces de conservation. L'objectif est d'esquisser un état des lieux des pratiques, des équipements et des questionnements actuels, dans une approche ouverte et contextualisée. Ce travail cherche également à réaffirmer le rôle du préventeur dans les choix techniques et stratégiques, en rappelant que toute politique de conservation repose sur une compréhension fine des systèmes qui la rendent possible. Ainsi, c'est dans l'équilibre entre exigences réglementaires, réalités techniques et impératifs de conservation que se construit le fil conducteur de ce mémoire.

Enfin, il convient de clarifier le périmètre de cette étude, centrée sur les espaces de conservation (réserves muséales, magasins de conservation), à l'exclusion des zones d'accueil du public ou des espaces de travail, soumis notamment à des exigences spécifiques en matière d'air neuf. Par ailleurs, les consommations énergétiques seront systématiquement abordées au pluriel, car elles recouvrent des réalités diverses (électricité, gaz, énergies renouvelables, etc.). La terminologie utilisée pour désigner les professionnels de la conservation préventive n'étant pas encore pleinement stabilisée en France, le terme de « préventeur » a été retenu dans le présent travail pour des raisons de lisibilité¹⁰. Enfin, dans la mesure où il ne relève pas d'une expertise d'ingénierie climatique, et où chaque établissement présente des contraintes, des équipements et des fonctionnements propres rendant toute généralisation hasardeuse, ce travail vise à proposer un état des lieux global des pratiques et des équipements, et non à formuler des recommandations techniques.

Dans cette perspective, le mémoire s'organise en trois parties complémentaires. La première partie s'attache à analyser le décret tertiaire et les enjeux spécifiques qu'il soulève pour les établissements culturels, en replaçant son application dans un contexte réglementaire

¹⁰ D'autres termes sont également employés selon les contextes institutionnels ou professionnels, tels que « chargé(e) d'études en conservation préventive » ou « conservateur-préventeur ». En anglais, les expressions « preventive conservator » et « preventive conservation » sont couramment utilisées.

en mutation. La deuxième partie explore les leviers techniques permettant de concilier exigences de conservation préventive et performance énergétique, qu'il s'agisse des choix architecturaux, des équipements de traitement d'air ou des dispositifs de pilotage. Enfin, la troisième partie s'intéresse aux dimensions humaines, organisationnelles et conservatoires de la régulation énergétique en interrogeant les usages et pratiques climatiques en place, les conditions d'un ajustement raisonné des consignes, ainsi que l'importance du suivi des collections pour garantir une transition énergétique compatible avec les exigences de conservation.

I/ Le décret tertiaire : un levier réglementaire pour accélérer la transition écologique des établissements culturels

Dans un contexte où la transition énergétique s'impose comme un impératif collectif, les établissements culturels doivent pleinement s'engager dans les politiques de performance énergétique. Dans cette perspective, le décret dit « tertiaire » marque un tournant majeur, en fixant des objectifs de réduction des consommations pour l'ensemble des bâtiments tertiaires de plus de 1 000 m². Son application soulève toutefois des enjeux spécifiques pour les institutions patrimoniales, où les contraintes de conservation, d'usage et d'architecture peuvent rendre l'atteinte des objectifs plus complexe.

Cette première partie s'attachera à analyser la mise en œuvre du dispositif dans le secteur culturel. Une première sous-partie rappellera le contexte réglementaire de la transition énergétique et ses échos dans les politiques culturelles. La seconde approfondira les mécanismes et modalités d'application du décret tertiaire. Enfin, une troisième sous-partie proposera des pistes pour aider les établissements culturels à s'approprier ces exigences, en construisant une trajectoire de sobriété compatible avec leur mission de conservation.

A) Un contexte en mutation : entre enjeux environnementaux, cadre législatif et engagements culturels

a. Pressions énergétiques et réchauffement climatique : quels impacts pour la culture ?

Les tensions géopolitiques récentes, notamment la guerre en Ukraine depuis 2022, ont brutalement révélé la vulnérabilité énergétique de l'Europe et la forte dépendance de nombreux pays aux énergies fossiles. En France, où le gaz naturel est majoritairement importé, les répercussions ont été immédiates. Depuis 2021, le prix du gaz a augmenté en moyenne de 79 % pour les entreprises, tandis que celui de l'électricité a bondi de 80 %¹¹. Cette flambée des coûts a directement impacté les dépenses énergétiques des institutions culturelles, déjà contraintes par des budgets limités, tout en devant garantir des conditions de conservation optimales pour leurs collections.

¹¹ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, *Chiffres clés de l'énergie – Édition 2024*, Paris, Service des données et études statistiques (SDES), 2024, disponible en ligne : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2024> (consulté le 17/04/2025), p.8.

Dans ce contexte d'instabilité énergétique, la transition vers des sources plus durables s'impose comme une priorité stratégique, non seulement pour renforcer la souveraineté énergétique, mais aussi pour répondre à l'urgence climatique. En effet, la dépendance aux énergies fossiles contribue directement au réchauffement de la planète, dont les effets sont désormais perceptibles. Selon le sixième rapport du GIEC, publié en 2023, la température mondiale devrait augmenter de 1,5 °C d'ici 2030 par rapport à l'ère préindustrielle, et pourrait atteindre entre 2,4 °C et 3,5 °C d'ici la fin du siècle sans action forte^{12, 13}. Selon le CSTB, en France, le secteur du bâtiment représentait en 2019 près de 25 % de l'empreinte carbone annuelle¹⁴, principalement du fait de sa consommation énergétique et le secteur tertiaire, à lui seul, concentre 16 % de la consommation d'énergie finale du pays¹⁵, en raison d'un parc immobilier souvent ancien et mal isolé. Ces chiffres rappellent l'ampleur du défi et l'urgence d'accélérer la transition vers des pratiques plus sobres et durables.

La crise climatique entraîne des répercussions directes sur le secteur de la culture et du patrimoine. En effet, la multiplication des événements extrêmes, tels que les vagues de chaleur, les inondations ou les incendies, menace les établissements culturels en France comme à l'étranger. L'incendie dévastateur du Palisades Fire en janvier 2025, qui a mis en danger le Getty Center à Los Angeles, ou le cyclone Chido ayant frappé Mayotte en décembre 2024 et causé d'importants dégâts aux institutions culturelles, illustrent cette vulnérabilité croissante. Mais au-delà de ces catastrophes ponctuelles, la hausse générale des températures et de l'humidité complique au quotidien la conservation des œuvres, en imposant une régulation

¹² Gouvernement français, *Ce qu'il faut retenir du 6e rapport d'évaluation du GIEC*, Paris, 2023, disponible en ligne : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20250_4pages-GIEC-2.pdf (consulté le 17/04/2025), p.2.

¹³ Depuis la publication du sixième rapport du GIEC, les données climatiques ont confirmé que le seuil de +1,5 °C a déjà été atteint sur 12 mois glissants. En janvier 2024, le service Copernicus annonçait que l'année 2023 avait atteint une moyenne de +1,48 °C par rapport à l'ère préindustrielle, et que ce seuil avait été franchi début 2024 sur une période annuelle mobile. Il s'agit pour l'instant d'un dépassement temporaire, mais les projections indiquent qu'il pourrait devenir durable dès les prochaines années. Source : 2023 : the hottest year on record, dans : *Copernicus Climate Change Service* [en ligne], communiqué du 9 janvier 2024, disponible en ligne : <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> (consulté le 06/07/2025).

¹⁴ Gouvernement français, *Feuille de route de décarbonation de la filière bâtiment – Article 301 de la loi « Climat et Résilience »*, Paris, DICOM, 2023, disponible en ligne : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/23064_feuille-de-route-decarbonation-batiment_BATweb.pdf (consulté le 17/04/2025), p.2.

¹⁵ Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, *Chiffres clés de l'énergie – Édition 2024*, op. cit., p.7.

toujours plus fine des systèmes de traitement d'air, eux-mêmes parfois fortement consommateurs d'énergie.

Ainsi, le défi pour le secteur culturel est double. Il doit s'adapter aux nouvelles contraintes économiques et environnementales, en contribuant aux efforts globaux de réduction des consommations énergétiques et des émissions de CO₂, tout en maintenant l'environnement des biens culturels à un niveau assurant leur conservation. En ce sens, la maîtrise énergétique des établissements ne passe pas uniquement par l'amélioration technique des bâtiments, mais aussi par une réévaluation des usages et des consignes climatiques appliquées aux collections et aux espaces d'exposition, ainsi que par l'évaluation rigoureuse de l'impact de ces ajustements sur l'état de conservation des œuvres. De plus, cette évolution s'accompagne d'un arbitrage budgétaire complexe puisque la hausse des coûts de l'énergie impose de limiter les dépenses, tandis que l'adoption de solutions plus sobres et résilientes nécessite parfois des investissements importants. Dans un contexte de volatilité accrue des prix, les institutions culturelles sont ainsi contraintes de concilier préservation patrimoniale et gestion pragmatique de leurs ressources.

Ainsi, la transition énergétique, longtemps perçue comme un enjeu essentiellement industriel et économique, s'impose désormais à l'ensemble des secteurs, y compris celui du patrimoine et de la culture. Pour accompagner cette évolution, les gouvernements ont progressivement renforcé le cadre législatif et réglementaire accélérant la réduction des consommations d'énergie. En France, cette dynamique a abouti à l'adoption du décret tertiaire en 2019, qui impose aux bâtiments du secteur tertiaire, dont les établissements culturels, une trajectoire obligatoire de diminution de leurs consommations énergétiques.

b. De l'Europe à la France : un cadre réglementaire renforcé pour la transition énergétique du secteur tertiaire

Depuis les années 2000, le cadre réglementaire encadrant la performance énergétique des bâtiments s'est progressivement renforcé sous l'impulsion des engagements européens et nationaux. Lancé en 2019, le Pacte vert pour l'Europe¹⁶ a fixé des objectifs ambitieux, visant notamment une réduction de 55 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, avec un

¹⁶ Pacte vert pour l'Europe, dans : *Conseil européen. Conseil de l'Union européenne* [en ligne], dernière révision en 2025, disponible en ligne : <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/european-green-deal/#:~:text=le%20pacte%20vert-,Qu'est%2Dce%20que%20le%20pacte%20vert%20pour%20l',climatique%20%C3%A0%20l'horizon%202050> (consulté le 15/04/2025).

accent particulier sur la rénovation des bâtiments énergivores. Dans cette continuité, la Directive 2024/1275¹⁷, adoptée en mai 2024, a encore durci les exigences en matière d'efficacité énergétique, en imposant aux États membres d'accélérer la rénovation des bâtiments les plus consommateurs et de réduire leur empreinte carbone, notamment dans les secteurs public et tertiaire.

En France, ces orientations européennes ont été progressivement transposées dans la législation nationale pour améliorer la performance énergétique des bâtiments. La réglementation thermique RT 2012¹⁸ a constitué une première étape, en fixant un plafond de 50 kWh/m².an pour la consommation d'énergie primaire des constructions neuves, tout en promouvant le recours aux énergies renouvelables. Remplaçant la RT 2012, la réglementation environnementale RE 2020¹⁹, entrée en vigueur en 2022 et actualisée en 2024, adopte une approche plus globale en intégrant l'empreinte carbone des bâtiments sur l'ensemble de leur cycle de vie. En effet, elle impose des exigences renforcées pour réduire les consommations d'énergie et limiter les émissions de gaz à effet de serre dès la conception.

Cependant, ces réglementations, centrées sur les bâtiments neufs, laissent de côté l'enjeu majeur de la rénovation du parc existant, souvent vétuste et énergivore, freinant ainsi l'atteinte des objectifs climatiques nationaux. Or, le secteur tertiaire, qui représente environ 25 % du parc immobilier français, concentre une part importante de ces bâtiments à forte consommation. Pour répondre à ce défi, plusieurs dispositifs ont été mis en place pour accélérer la rénovation énergétique du parc existant. La loi Grenelle 2²⁰ de 2010 a amorcé cette dynamique en imposant des travaux d'amélioration de la performance énergétique dans les bâtiments tertiaires, avec

¹⁷ Directive (UE) 2024/1275 du Parlement européen et du Conseil du 24 avril 2024 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), dans : *Journal officiel de l'Union européenne* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32024L1275> (consulté le 17/04/2025).

¹⁸ Réglementation thermique RT2012, dans : *Ministère de la transition écologique de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche* [en ligne], 2012, disponible en ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/reglementation-thermique-rt2012> (consulté le 26/02/2025).

¹⁹ Réglementation environnementale RE2020, dans : *Ministère de la transition écologique de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche* [en ligne], 2020, disponible en ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/reglementation-environnementale-re2020> (consulté le 09/03/2025).

²⁰ LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (1), dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2021, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022470434> (consulté le 17/04/2025).

une première échéance fixée à 2020. La loi de transition énergétique pour la croissance verte²¹ de 2015 a ensuite renforcé ces obligations, en fixant des objectifs de réduction progressive de la consommation d'énergie finale, visant une baisse d'au moins 60 % d'ici 2050 par rapport à 2010.

Toutefois, c'est avec la loi ÉLAN²², promulguée en 2018, que le cadre réglementaire a véritablement évolué vers une approche plus pragmatique et progressive. Plutôt que d'imposer des travaux ponctuels, elle a introduit un suivi annuel des consommations énergétiques des bâtiments tertiaires de plus de 1 000 m², permettant d'évaluer les évolutions réelles et d'ajuster les stratégies en fonction des meilleures techniques disponibles. Cette évolution a conduit à l'adoption du décret tertiaire²³ (DEET) en 2019, qui marque un tournant majeur dans la transition énergétique du secteur. Contrairement aux réglementations précédentes, centrées sur la seule performance intrinsèque des bâtiments, le DEET adopte une approche globale, combinant optimisation des équipements, gestion active des installations et évolution des usages. Ce changement de paradigme fait de la performance énergétique une démarche continue de gestion, et non plus seulement un enjeu de travaux ponctuels. Les différents leviers d'action ainsi que les modalités concrètes d'application du décret seront développés dans la partie suivante de ce mémoire²⁴.

Dans cette logique d'optimisation des équipements et de pilotage intelligent, le décret dit BACS²⁵ (« Building Automation and Control System »²⁶), adopté en 2021, ainsi que le

²¹ LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1), dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2022, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385> (consulté le 17/04/2025).

²² LOI n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (1), dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2023, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037639478> (consulté le 17/04/2025).

²³ Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2019, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038812251/> (consulté le 17/04/2025).

²⁴ Cf. Chapitre I/ Section B) Le décret tertiaire : contrainte ou levier pour les institutions culturelles ? p.14.

²⁵ Décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur, 2020, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2020, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000042128488/> (consulté le 17/04/2025).

²⁶ « Systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments », traduction personnelle.

décret n° 2023-259²⁷, imposent progressivement la mise en place de systèmes de régulation dans les bâtiments tertiaires afin d'améliorer leur gestion énergétique. Ces dispositifs, souvent intégrés dans des systèmes de gestion technique du bâtiment (GTB), permettent une supervision automatisée des équipements essentiels tels que le chauffage, la ventilation, la climatisation (CVC) et l'éclairage. En centralisant les données et en automatisant les réglages, ils offrent la possibilité d'une gestion plus dynamique et en temps réel des équipements, contribuant ainsi à une meilleure maîtrise des consommations.

Intégrés au secteur tertiaire, les établissements culturels doivent donc désormais concilier efficacité énergétique et préservation du patrimoine. Si cette préoccupation existait déjà avec les premières réglementations, le décret tertiaire (DEET) marque un tournant en élargissant le champ d'action et en intégrant non seulement le bâti mais aussi les équipements, les usages et les pratiques quotidiennes. La transition énergétique du secteur culturel s'impose ainsi comme une démarche globale, associant modernisation technique, adaptation des modes de conservation et développement de pratiques plus durables.

c. Des pratiques climatiques aux stratégies durables : l'adaptation des établissements culturels aux exigences énergétiques et écologiques

Dans la transition écologique des établissements culturels, la régulation climatique des espaces de conservation apparaît comme un levier prioritaire. Souvent identifiée comme l'un des principaux postes de consommation énergétique, notamment dans les réserves muséales, les magasins d'archives ou les bibliothèques, elle conduit à interroger à la fois les dispositifs techniques existants et les consignes climatiques qui orientent leur fonctionnement.

Toutefois, la remise en question des paramètres climatiques ne découle pas uniquement des préoccupations énergétiques récentes mais s'inscrit plutôt dans une évolution plus ancienne des pratiques de conservation, marquée par un affinement progressif des connaissances scientifiques et des stratégies de préservation. Longtemps, les consignes climatiques ont été dictées par une forme de standardisation héritée notamment des travaux de Gary Thomson²⁸ dans les années 1970-1980, qui ont largement contribué à installer la doctrine du 20 °C et 50 %

²⁷ Décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires, 2023, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2023, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000047422489/> (consulté le 17/04/2025).

²⁸ THOMSON, Garry, *The Museum Environment*, 2^e éd., Londres, Butterworth-Heinemann, 1986 [1978].

d'humidité relative comme référence universelle. Si cette approche a structuré la conservation préventive pendant plusieurs décennies, ses limites sont peu à peu apparues. En effet, cette pratique ignore les spécificités matérielles des collections et des contextes, et repose sur des systèmes techniques lourds et énergivores.

Depuis les années 2000, les pratiques climatiques des institutions patrimoniales ont ainsi été progressivement réinterrogées, comme le résume Florence Larcher dans son mémoire²⁹. L'affinement des connaissances sur le comportement des matériaux patrimoniaux a montré que beaucoup d'entre eux pouvaient supporter des variations d'humidité et de température plus larges que les seuils traditionnellement imposés, à condition que ces variations restent lentes et contrôlées. Cette évolution a été consolidée par la norme européenne EN 15757³⁰, publiée en 2010, qui recommande d'adapter les consignes climatiques au « climat historique » des collections et de privilégier la limitation des fluctuations rapides, identifiées comme les plus dommageables. En parallèle, des recommandations internationales, portées notamment par le Groupe Bizot, ont également favorisé cette évolution. Réunissant depuis les années 2000 les directeurs des plus grands musées, ce groupe a proposé dès 2009, puis dans une actualisation en 2023³¹, d'élargir les plages climatiques admissibles pour les matériaux compatibles, en préconisant une humidité relative comprise entre 40 % et 60 %, avec des variations journalières maximales de 10 %, et des températures situées entre 16 °C et 25 °C.

Néanmoins, si ces principes sont aujourd'hui largement connus et diffusés, leur mise en œuvre demeure parfois complexe³². En effet, de nombreuses résistances subsistent, en raison de contraintes institutionnelles, d'habitudes de travail ancrées ou de craintes liées à la conservation des collections. Plusieurs initiatives récentes témoignent toutefois d'une volonté d'accompagner les établissements dans cette transition. L'initiative « Prenons le contrôle du

²⁹ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, mémoire en génie climatique et énergétique dirigé par B. Flament, Institut national des sciences appliquées de Strasbourg, 2016, p.7-8.

³⁰ NF EN 15757 Conservation des biens culturels - Spécifications applicables à la température et à l'humidité relative pour limiter les dommages mécaniques causés par le climat aux matériaux organiques hygroscopiques, dans : *Afnor Editions* [en ligne], 2010, disponible en ligne : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-15757/conservation-des-biens-culturels-specifications-applicables-a-la-temperatur/fa155134/36398> (consulté le : 17/04/2025).

³¹ BIZOT Group, *The Bizot Green Protocol*, 2023, disponible en ligne : https://www.cimam.org/documents/238/Bizot_Green_Protocol_-_2023_refresh_-_Sept_2023.pdf (consulté le 17/04/2025), p.5-6.

³² Cf. Chapitre III/ Section B) a. Préparer l'expérimentation climatique : entre prudence, méthode et connaissance des matériaux, p.60.

climat »³³, portée par ICOM France et Ki Culture, engage ainsi dix musées dans une réflexion sur la gestion du climat intérieur, en expérimentant notamment l'élargissement des plages climatiques ou l'arrêt périodique des systèmes de traitement d'air. Le projet SILICAGEL³⁴, mené par le C2RMF, s'inscrit dans la même dynamique en proposant des outils pratiques pour favoriser une gestion localisée des microclimats, en utilisant du gel de silice pour limiter la consommation énergétique. Enfin, les recommandations publiées par l'ICOM Suisse³⁵ en 2024 rappellent l'importance d'une plus grande transparence dans les contrats de prêts d'œuvres, afin d'adapter les exigences climatiques aux conditions réelles des établissements d'accueil et au climat historique des objets, évitant ainsi des investissements techniques et des consommations énergétiques disproportionnées.

Ainsi, si les questions climatiques ont longtemps constitué le principal point d'entrée des réflexions environnementales dans les établissements culturels, elles ne représentent aujourd'hui qu'un volet d'une transition plus globale. En effet, les institutions patrimoniales élargissent progressivement leur champ d'action en engageant une remise en question de l'ensemble de leurs pratiques professionnelles, soutenues en cela par les politiques publiques, comme en témoignent les récentes productions du ministère de la Culture^{36,37}. Cette dynamique se reflète également dans les référentiels internationaux, notamment à travers la mise à jour du Bizot Green Protocol en 2023, qui encourage l'intégration des principes d'écoconception et de gestion raisonnée des ressources dans les projets d'exposition³⁸. L'élaboration en cours d'une

³³ Ce projet a pour objectif d'aider les musées à réduire leurs consommations énergétiques par divers leviers d'action comme la modification de leurs consignes climatiques ou leurs accords de prêt. Dix musées, répartis sur l'ensemble du territoire français, participent à ce programme d'action et de formation. (Prenons le contrôle du climat !, dans *ICOM France* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://www.icom-musees.fr/actualites/prenons-le-controle-du-climat>, consulté le 17/04/2025).

³⁴ Ce projet a pour objectif de donner des clés facilitant l'emploi et la mise en œuvre du gel de silice dans les institutions culturelles afin de gérer le climat dans les vitrines sans avoir recours à des appareils électriques. (SILICAGEL (2024-2026). Vers une gestion plus responsable du climat dans les vitrines, dans *C2RMF* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://c2rmf.fr/actualite/silicagel-2024-2026>, consulté le 17/04/2025).

³⁵ ICOM Suisse, *Recommandations pour la surveillance climatique dans les musées*, Zurich, Suisse, 2024, disponible en ligne : https://www.icom-musees.fr/sites/default/files/2025-02/recommandations_surveillance-climatique-dans-les-musee_icom_20241212.pdf (consulté le 07/05/2025), p.9.

³⁶ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit.

³⁷ Ministère de la Culture, *Etude des leviers juridiques facilitant l'inscription des activités culturelles dans l'économie circulaire*, Paris, 2025, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/transition-ecologique/Centre-de-ressources-Transition-ecologique-de-la-Culture/Outils-de-mesure-guides/etude-des-leviers-juridiques-facilitant-l-inscription-des-activites-culturelles-dans-l-economie-circulaire> (consulté le 07/05/2025).

³⁸ BIZOT Group, *The Bizot Green Protocol*, op. cit., p.4.

norme dédiée à l'écoconception des expositions vient également renforcer cette évolution, en offrant aux professionnels un cadre méthodologique pour structurer des pratiques plus durables. Enfin, dans cette perspective, le projet de recherche « Ça va cartonner »³⁹ du C2RMF illustre concrètement les pistes explorées, en expérimentant l'usage du carton comme alternative aux matériaux pétrosourcés et aux caisses jetables dans le transport des œuvres, conciliant ainsi respect des collections et réduction de l'empreinte environnementale.

Ainsi, les établissements culturels amorcent une véritable transformation de leurs pratiques, portée par une approche plus globale de la transition écologique. Le décret tertiaire s'inscrit pleinement dans cette dynamique et peut alors constituer un levier stratégique pour accélérer les évolutions engagées, en incitant à repenser usages, équipements et modes de fonctionnement à l'échelle du bâtiment.

B) Le décret tertiaire : contrainte ou levier pour les institutions culturelles ?

a. Les principes et la portée du décret tertiaire : vers une réduction énergétique progressive et adaptée à chaque bâtiment

Le décret n° 2019-771⁴⁰ du 23 juillet 2019, dit décret tertiaire ou Dispositif Éco Énergie Tertiaire (DEET), impose aux bâtiments tertiaires de plus de 1 000 m² une réduction progressive de leurs consommations énergétiques en kWh/m².an, avec des objectifs fixés à 2030, 2040 et 2050. Entré en vigueur le 1^{er} octobre 2019, il s'inscrit dans une volonté de modernisation du parc immobilier tertiaire, tout en prenant en compte la diversité des activités et des usages concernés.

Dès sa publication en 2019, le cadre du DEET a été progressivement précisé par différents arrêtés⁴¹, détaillant ses modalités d'application et fixant des objectifs adaptés aux spécificités des bâtiments concernés. En effet, plutôt que d'imposer des seuils uniformes, le décret adopte une approche différenciée, tenant compte de la diversité des activités tertiaires,

³⁹ L'objectif de ce projet est d'étudier les propriétés chimiques et physiques des cartons dans le contexte de la protection des œuvres lors de leur transport et de leur stockage. (Ca va cartonner (2025-2026), dans : C2RMF [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://c2rmf.fr/actualite/ca-va-cartonner-2025-2026> consulté le 17/04/2025).

⁴⁰ Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2019, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038812251/> (consulté le 17/04/2025).

⁴¹ Il s'agit des arrêtés du 10 avril 2020, et les arrêtés « modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 » dont celui du 24 novembre 2020, 29 septembre 2021, 13 avril 2022, 28 novembre 2023, 20 février 2024 et 5 juillet 2024. Un nouvel arrêté est prévu en 2025. L'arrêté relatif au secteur culturel est celui du 5 juillet 2024.

qu'il s'agisse d'administration, de commerce, d'éducation ou de culture. Les objectifs de réduction énergétique sont ainsi définis de manière individualisée, en fonction de la configuration réelle des bâtiments et des exigences propres à chaque activité, afin de garantir des cibles à la fois ambitieuses et réalistes.

Reposant sur une obligation de résultats et non de moyens, le DEET laisse aux assujettis une large marge de manœuvre pour définir les solutions à mettre en œuvre. Cette souplesse permet d'adapter les stratégies d'amélioration énergétique aux caractéristiques techniques, économiques et fonctionnelles de chaque établissement. Dans cette démarche, l'optimisation de l'enveloppe thermique constitue un premier levier fondamental, en agissant sur l'isolation, les menuiseries et l'étanchéité à l'air pour limiter les déperditions et renforcer l'inertie thermique. L'amélioration des équipements techniques, notamment des systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation (CVC) et d'éclairage, représente un second axe essentiel, permettant d'optimiser les consommations tout en maintenant les conditions de confort ou de conservation requises. Enfin, la rationalisation des usages repose sur l'implication active des occupants, à travers des actions de sensibilisation et l'adoption de pratiques vertueuses, garantissant dans le temps la pérennité des gains énergétiques.

Mais, bien que principalement centré sur le parc immobilier existant, le DEET s'applique également aux projets de construction neuve ou de rénovation. Tout bâtiment neuf ou rénové devra ainsi intégrer dès sa conception les exigences de réduction énergétique fixées pour 2030, 2040 et 2050. Le décret constitue alors un impératif pour toute opération immobilière future, imposant d'adopter des solutions performantes dès la conception pour garantir la trajectoire énergétique sur le long terme. Ainsi, le cadre du DEET est évolutif, s'adaptant aux avancées techniques pour garantir la pertinence des objectifs jusqu'en 2050. Cette approche dynamique inscrit le décret tertiaire dans une logique d'amélioration continue, où les objectifs de réduction sont par ailleurs définis selon une méthode de calcul individualisée et automatisée, afin de mieux refléter les spécificités de chaque site.

b. Les méthodes de calcul des objectifs de réduction énergétique : une approche adaptée à chaque établissement

Dans le cadre du décret tertiaire, les objectifs de réduction des consommations énergétiques sont déterminés selon deux modalités : la valeur relative et la valeur absolue. En 2030, chaque assujetti devra atteindre au moins l'un de ces deux objectifs pour être conforme

au DEET, avant que de nouveaux seuils ne soient recalculés pour 2040 et 2050 selon les mêmes principes.

L'objectif en valeur relative impose une réduction de la consommation énergétique d'au moins 40 % en 2030, 50 % en 2040 et 60 % en 2050, par rapport à une année de référence propre à l'établissement. Cette année de référence correspond à l'année la plus consommatrice entre 2010 et 2022⁴², permettant de fixer un objectif plus favorable. Ce mode de calcul se base uniquement sur l'historique des consommations, sans prendre en compte l'activité ou la configuration du bâtiment. Il se révèle particulièrement avantageux pour les établissements énergétiquement peu performants qui prévoient des travaux d'isolation ou pour ceux ayant engagé des travaux de rénovation récents. Par exemple, un établissement ayant consommé 249 kWh/m².an en 2013, son année de référence, et réduit, grâce à des travaux, sa consommation à 145 kWh/m².an en 2024, a déjà atteint son objectif de 2030, en ayant dépassé la réduction de 40 % exigée.

Contrairement à l'objectif en valeur relative, la valeur absolue repose sur la configuration réelle du bâtiment et les activités qui y sont exercées. Elle s'appuie sur des valeurs étalons dites USE et CVC qui correspondent à la performance théorique de bâtiments neufs équipés des meilleures technologies disponibles. La valeur USE concerne les consommations énergétiques liées aux usages tandis que la valeur CVC reflète les besoins énergétiques nécessaires au maintien des conditions climatiques et au renouvellement d'air. Définies par arrêtés, ces valeurs varient selon les sous-catégories d'activités du secteur tertiaire, telles que bureaux, halls d'accueil, auditoriums ou salles d'exposition⁴³. Par exemple, une salle d'exposition à Paris devra viser une consommation maximale de 82 kWh/m².an, répartis entre 68 kWh/m².an pour le CVC (maintien des conditions de conservation et renouvellement d'air pour le public) et 14 kWh/m².an pour l'USE (éclairage uniquement). En comparaison, un bureau pourra atteindre 107 kWh/m².an, avec 57 kWh/m².an pour le CVC (confort thermique et renouvellement d'air) et 50 kWh/m².an pour l'USE (éclairage et équipements informatiques). L'objectif en valeur

⁴² Pour les bâtiments mis en exploitation après 2022, l'année de référence correspondra à la première année pleine d'exploitation.

⁴³ Une page type issue d'un arrêté d'application du décret tertiaire, présentant les valeurs étalon USE et CVC pour une sous-catégorie d'activité, est présentée et commentée en Annexe 2 - Figure 1 « *Tableau présentant les valeurs étalons USE et CVC pour la sous-catégorie des salles d'exposition de musées (issu de l'arrêté du 5 juillet 2024 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020, p.42.)* », p.15.

absolue est ainsi déterminé par la somme des valeurs étalons qui lui correspondent pondérées par les différentes surfaces d'activités du bâtiment. Ce mode de calcul est particulièrement adapté aux bâtiments déjà performants, pour lesquels une réduction de 40 % serait difficile à atteindre. Il leur offre ainsi un cadre plus cohérent, aligné sur les standards énergétiques des constructions neuves et mieux ajusté à leur configuration réelle.

Ces deux modalités de calcul permettent donc de fixer des objectifs réalistes et adaptés à chaque établissement, qu'ils reposent sur leur historique de consommation ou sur leur configuration réelle. Pour se conformer aux exigences du décret tertiaire, l'assujetti devra atteindre l'un ou l'autre de ces objectifs d'ici 2030. En cas de non-respect, des sanctions sont prévues, pouvant aller jusqu'à 1 500 € pour les personnes physiques et 7 500 € pour les personnes morales, ainsi que l'application d'une procédure de « Name & Shame » consistant à rendre publiques les entités n'ayant pas respecté leurs obligations.

Néanmoins, au-delà de l'obligation d'atteindre les objectifs, le DEET institue un cadre structuré de suivi des consommations énergétiques. Ce dispositif offre aux établissements une opportunité de mieux analyser leurs consommations, de construire des stratégies adaptées à leurs spécificités et d'engager une gestion plus proactive et optimisée de leurs flux énergétiques.

c. Déclarer, suivre et moduler ses objectifs : une opportunité pour mieux gérer ses consommations

La mise en œuvre opérationnelle du décret tertiaire repose sur la plateforme nationale en ligne OPERAT⁴⁴, gérée par l'ADEME. Outil central du dispositif, OPERAT assure la collecte des données déclarées par les établissements assujettis, le calcul des objectifs et le suivi des progrès réalisés. Chaque année, les établissements doivent y enregistrer leurs consommations énergétiques, à la fois pour l'année écoulée et, si nécessaire, pour les années antérieures jusqu'à 2010. Ces données permettent de déterminer automatiquement l'année de référence servant au calcul de l'objectif en valeur relative. Les établissements doivent également préciser les sous-catégories d'activités présentes dans leur bâtiment (zones de conservation, salles d'exposition, bureaux, auditoriums, etc.) et les surfaces correspondantes, indispensables pour définir

⁴⁴ La plateforme OPERAT (OPERAT, dans : *OPERAT* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://operat.ademe.fr/public/home>, consulté le 26/04/2025) met à disposition une documentation complète ainsi qu'une foire aux questions détaillée sur le décret tertiaire. Elle constitue ainsi une ressource précieuse pour comprendre ses enjeux, sa mise en œuvre et les modalités de mise en conformité.

l'objectif en valeur absolue. La qualité et la précision des données saisies conditionnent ainsi la pertinence des objectifs fixés et leur adéquation avec la réalité de chaque site.

Mais la plateforme OPERAT ne se limite pas à l'enregistrement des données et au calcul des objectifs. À l'issue de chaque déclaration annuelle, elle délivre une attestation récapitulative précisant les objectifs de réduction et intégrant un graphique retraçant l'évolution des consommations au fil des années. Cet outil permet aux établissements d'évaluer leurs progrès et d'ajuster leur stratégie en mettant en place, si nécessaire, des actions correctives adaptées. Un autre aspect essentiel du dispositif repose sur la normalisation des consommations en fonction des conditions météorologiques. Les écarts de température d'une année sur l'autre peuvent en effet fausser l'évaluation des progrès puisqu'une année froide accroît les besoins en chauffage, tandis qu'une année caniculaire intensifie le recours à la climatisation ou à la déshumidification. Pour éviter ces biais, OPERAT ajuste les données afin de garantir leur comparabilité d'une année sur l'autre, indépendamment du climat extérieur. La plateforme prend également en compte les évolutions du volume d'activité déclaré par l'assujetti. Par exemple, si les amplitudes horaires d'ouverture changent, l'objectif en valeur absolue est recalibré pour intégrer ces nouvelles conditions.

Malgré les mécanismes d'ajustement prévus, certains établissements peuvent rencontrer des difficultés rendant l'atteinte des objectifs particulièrement complexe. Le décret tertiaire prévoit dans ce cas la possibilité de demander une modulation des objectifs initiaux. Cette demande repose sur un dossier technique rigoureux, élaboré par des professionnels spécialisés (bureaux d'études, architectes, ingénieurs) et fondé notamment sur un audit énergétique conforme aux exigences du DEET⁴⁵. Le dossier doit démontrer de manière argumentée l'impossibilité d'atteindre les objectifs, en raison de contraintes technologiques, patrimoniales ou économiques⁴⁶. Les établissements doivent déposer leur dossier sur la plateforme OPERAT

⁴⁵ Il s'agit par exemple du fascicule de documentation AFNOR FD X30-125 Accompagnement pour la mise en œuvre du dispositif Éco Énergie Tertiaire, dans : *Afnor Editions* [en ligne], 2023, disponible gratuitement en ligne : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/fd-x30125/accompagnement-pour-la-mise-en-uvre-du-dispositif-eco-energie-tertiaire/fa205776/351128> (consulté le 17/04/2025).

⁴⁶ Certaines structures culturelles de taille intermédiaire ou modeste pourraient rencontrer des difficultés à atteindre les objectifs du décret tertiaire, en raison de ressources limitées ou de contraintes spécifiques de conservation. Si la plateforme OPERAT centralise les données déclarées, elle ne permet pas toujours de rendre compte de la diversité des situations rencontrées. Dans ce contexte, les professionnels de la conservation préventive pourraient devenir des interlocuteurs utiles pour éclairer les enjeux de conservation dans le cadre d'une demande de modulation, en apportant leur connaissance fine des collections, des risques et des conditions climatiques requises.

avant le 30 septembre 2027 et, en cas d'acceptation, les objectifs de réduction seront ajustés à la baisse dans le respect d'un cadre défini par les autorités compétentes.

Le décret tertiaire peut ainsi représenter une véritable opportunité pour les établissements assujettis. En structurant la collecte et l'analyse des données énergétiques, il constitue un levier pour mieux comprendre les consommations et identifier des marges d'amélioration. De plus, en favorisant un suivi régulier et une approche proactive, il permet l'élaboration de stratégies adaptées, générant à terme des bénéfices tant écologiques qu'économiques. Cette dynamique revêt une importance particulière pour les établissements culturels, où la performance énergétique doit s'articuler avec les exigences de conservation patrimoniale.

d. Le DEET : implications et opportunités pour les établissements culturels

Par sa conception et sa mise en œuvre, le DEET adapte les objectifs de réduction énergétique aux différentes activités du secteur tertiaire. Les établissements culturels, pleinement concernés, bénéficient ainsi d'objectifs en valeur absolue tenant compte de leurs contraintes spécifiques, définis à partir de valeurs étalons USE et CVC adaptées. Pour ce faire, ils disposent de sous-catégories d'activités dédiées, telles que les salles d'exposition, les salles de lecture ou les zones de conservation, avec ou sans contrôle climatique complet. À titre d'exemple, en Île-de-France, une zone de conservation avec contrôle climatique complet (température et humidité) devra viser une consommation maximale de 65 kWh/m².an, répartie entre 57 kWh/m².an pour le CVC, en raison des exigences de traitement d'air, et 8 kWh/m².an pour l'USE, ces espaces étant généralement peu occupés et faiblement éclairés.

Un autre aspect important de l'application du DEET aux établissements culturels concerne la possibilité d'opter pour des sous-catégories d'activité intégrant la mention « protection patrimoniale ». Cette option permet d'appliquer automatiquement un objectif de réduction énergétique 20 % moins contraignant pour la valeur absolue, sans qu'il soit nécessaire de constituer un dossier technique, bien que cette démarche reste ouverte. Cette spécificité vise à reconnaître les contraintes spécifiques des bâtiments protégés, où les travaux d'amélioration énergétique peuvent s'avérer particulièrement complexes. Avec les salles de spectacle, les musées sont les seuls établissements du secteur tertiaire à bénéficier de cet assouplissement, en raison de la forte proportion de bâtiments patrimoniaux dans ce secteur. Ainsi, le DEET, grâce

à des aménagements spécifiques, aide à mieux concilier les objectifs énergétiques et les exigences de conservation.

Plus généralement, le décret tertiaire invite les établissements culturels à mieux comprendre leurs consommations énergétiques et à engager une réflexion plus large sur leurs pratiques quotidiennes. En imposant une déclaration annuelle sur la plateforme OPERAT, il invite les structures concernées à s'interroger sur la disponibilité, l'accessibilité et la fiabilité de leurs données énergétiques. L'enquête menée dans le cadre de ce mémoire⁴⁷ auprès de 118 établissements révèle ainsi que seuls 23 % des répondants disposent d'un accès direct à ces informations. À l'inverse, 43 % déclarent rencontrer des difficultés, voire en être totalement privés, les données étant souvent gérées en externe (24 %), notamment par leur tutelle ou leur propriétaire. Enfin, 25 % des répondants ignorent si leur établissement a accès à ses propres données, illustrant l'opacité qui persiste encore largement sur ce sujet dans les institutions culturelles. Dans ce contexte, le DEET constitue un levier stratégique pour renforcer le dialogue entre établissements culturels, tutelles et propriétaires, mais aussi pour structurer la coopération entre les différents corps de métier. Au-delà de l'accès aux données énergétiques, il engage une mobilisation collective, fondée à la fois sur l'évolution des pratiques quotidiennes et sur la planification de travaux ou de projets de rénovation. Mais, si le décret offre une réelle opportunité d'organiser ces dynamiques autour de l'optimisation énergétique, son appropriation par l'ensemble des acteurs reste néanmoins un défi pour de nombreux établissements culturels.

Au-delà de l'obligation déclarative, le DEET engage donc les établissements culturels dans une réflexion plus large sur la maîtrise énergétique, en les incitant à mieux connaître, piloter et optimiser leurs consommations. Cette démarche invite à dépasser le simple constat pour interroger usages, équipements, habitudes et choix organisationnels. Dans les institutions patrimoniales, le traitement d'air est souvent identifié comme le principal poste de consommation, une idée qui mérite néanmoins d'être questionnée, d'autres postes pouvant représenter des gisements d'économie d'énergie significatifs.

⁴⁷ Cf. Annexe 1 - Graphique 5 : « Accès des établissements culturels à leurs consommations énergétiques », p.6.

C) Quels leviers d'économie d'énergie pour les établissements culturels ?

a. Le traitement d'air : un poste de consommation à relativiser

Dans les établissements culturels, le traitement d'air est souvent perçu comme l'un des postes les plus énergivores. Cette représentation s'explique en partie par l'héritage de pratiques anciennes, où les exigences de conservation justifiaient l'emploi d'équipements puissants, parfois peu sobres énergétiquement. La forte visibilité des gaines, centrales de traitement d'air et armoires de climatisation dans les espaces renforce aussi inconsciemment cette perception, en donnant l'impression d'installations lourdes et consommatrices. À cela s'ajoutent des constats réels de dysfonctionnements techniques, liés à des conceptions inadaptées, un pilotage mal maîtrisé ou un défaut d'entretien, qui participent à entretenir l'idée d'un traitement d'air systématiquement problématique sur le plan énergétique.

Ces considérations générales méritent toutefois d'être nuancées à la lumière des résultats de l'enquête menée dans le cadre de ce mémoire. Interrogés sur leur perception de la consommation énergétique de leur système de traitement d'air⁴⁸, les 98 répondants se montrent partagés⁴⁹. Seuls 13 % estiment que leur installation ne surconsomme pas, 15 % la jugent légèrement trop énergivore et 14 % la considèrent comme beaucoup plus consommatrice que ce qu'elle ne devrait être. Toutefois, l'élément le plus significatif réside dans les 58 % de participants ayant répondu « Je ne sais pas ». Ce chiffre élevé souligne à la fois une méconnaissance persistante des consommations réelles liées au traitement d'air et une certaine prudence dans les jugements portés. Ces résultats traduisent surtout une évolution des représentations. Le traitement d'air n'apparaît plus comme le responsable unique des surconsommations, et sa réputation d'équipement systématiquement très énergivore semble aujourd'hui plus nuancée. Ils révèlent aussi une prise de conscience progressive de la complexité énergétique des établissements culturels, où le traitement d'air n'est qu'un poste parmi d'autres, dont l'impact réel mérite d'être mieux objectivé.

⁴⁸ Cf. Annexe 1 – Graphique 6 « *Ressentis des professionnels sur la consommation d'énergie liée au traitement d'air* », p.6.

⁴⁹ Cette question, comme l'ensemble de l'enquête, s'adressait à des professionnels du patrimoine dont la majorité ne sont pas spécialistes des questions techniques ou énergétiques. Les réponses exprimées traduisent donc des perceptions subjectives, influencées par des niveaux variables de sensibilisation et d'accès aux données de consommation.

Les résultats d'une autre enquête, menée dans le cadre d'un stage au sein du SIAF⁵⁰, semblent confirmer cette tendance. Comme l'indique le *Graphique 1*⁵¹, les magasins de conservation représentent en moyenne 67 % de la surface totale des bâtiments d'archives départementales, contre seulement 10 % dans les bibliothèques et médiathèques, davantage orientées vers l'accueil du public. Cette répartition des surfaces, bien que très contrastée, ne se traduit pas pour autant par une différence notable de consommations énergétiques (*Graphique 2*)⁵². En effet, les bâtiments les plus sobres comme les plus énergivores se répartissent indifféremment entre services d'archives et bibliothèques. Autrement dit, la présence majoritaire d'espaces de conservation dans les archives n'entraîne pas nécessairement une surconsommation énergétique. Cette observation suggère que les espaces de conservation, bien qu'importants en surface, ne constituent pas à eux seuls le principal poste de consommation. Elle souligne la nécessité d'élargir les réflexions autour de la sobriété à l'ensemble des postes énergétiques.

En effet, les espaces publics ou de travail sont également chauffés, ventilés et parfois climatisés, non pas pour garantir des conditions conservatoires, mais pour assurer le confort des professionnels et des visiteurs. Ce constat rappelle qu'un bâtiment avec peu de réserves mais une forte fréquentation ou de grandes surfaces ouvertes peut consommer tout autant, voire davantage, qu'un bâtiment à dominante patrimoniale. Autrement dit, ce n'est pas parce qu'un bâtiment dispose d'une forte proportion d'espaces de conservation qu'il est nécessairement plus énergivore. Cette constatation invite à dépasser les représentations qui associent conservation préventive et forte consommation, en réaffirmant que d'autres postes, notamment ceux liés à l'accueil du public, participent également de manière significative aux besoins énergétiques globaux. Si le traitement d'air reste un levier stratégique, il ne doit donc pas occulter une approche globale visant à mieux comprendre les spécificités de chaque bâtiment et à objectiver les principaux axes d'optimisation avant d'engager des actions ciblées.

⁵⁰ Cette étude avait pour objectif de recueillir, auprès d'un panel de bâtiments d'archives départementales, de bibliothèques et de médiathèques, les données relatives aux consommations énergétiques annuelles de l'année 2022 ainsi que la répartition des surfaces selon les activités (conservation, bureaux, accueil du public). Le contexte, le périmètre et la méthodologie de l'enquête sont détaillés en Annexe 3, p.17.

⁵¹ Cf. Annexe 3 – Graphique 23 « *Surface (%) allouée aux magasins de conservation dans des bâtiments d'archives départementales et de bibliothèques/médiathèques - Enquête du SIAF (avril à juillet 2024)* », p.18.

⁵² Cf. Annexe 3 – Graphique 24 « *Consommations énergétiques totales réelles des archives départementales et bibliothèques/médiathèques-en 2022 en kWh/m².an - Enquête du SIAF (avril à juillet 2024)* », p.19.

b. Mieux connaître ses consommations pour mieux agir : mesurer, diagnostiquer, piloter

Face aux objectifs de réduction énergétique, il est essentiel d'adopter une approche globale, prenant en compte à la fois les caractéristiques du bâtiment, ses équipements, ainsi que les pratiques et usages, notamment en lien avec la conservation des collections. Cette vision d'ensemble permet de mieux comprendre les postes de consommation et d'identifier les leviers d'économie d'énergie les plus pertinents, tout en maintenant comme exigence centrale la préservation de l'intégrité des biens conservés. Une telle démarche suppose cependant des moyens humains, temporels, logistiques et financiers, ainsi qu'une coordination étroite entre les différents acteurs. La transition énergétique ne peut dès lors s'envisager que comme une dynamique collective, fondée sur une lecture partagée des enjeux énergétiques et patrimoniaux de l'établissement.

Dans cette démarche, affiner la connaissance des consommations énergétiques constitue une première étape essentielle. Si les factures, lorsqu'elles sont accessibles, permettent une estimation globale, elles ne renseignent ni sur la répartition par usage ni sur d'éventuelles anomalies ou surconsommations spécifiques. Le recours au sous-comptage, en distinguant les consommations par postes (chauffage, traitement d'air, éclairage, etc.), représente ainsi un levier majeur pour mieux comprendre les dynamiques énergétiques d'un site. Cette précision est d'autant plus nécessaire que certaines consommations peuvent être surestimées ou sous-estimées dans les représentations internes, conduisant parfois à cibler les mauvais postes. Pourtant, l'enquête menée dans le cadre de ce mémoire montre que cette pratique reste encore marginale⁵³ : seuls 18 % des établissements disposent d'un sous-comptage dédié au traitement d'air, et parmi eux, à peine 6 % exploitent pleinement ces données. Ce constat témoigne d'une marge de progression importante, d'autant que 47 % des répondants jugent cet outil pertinent, tandis que 32 % ignorent même s'il est installé dans leur bâtiment.

Dans ce contexte, des solutions d'instrumentation dites « ponctuelles » se développent, permettant de mesurer les consommations de manière ciblée et temporaire, sans nécessiter d'investissements lourds. Le CEREMA propose à ce sujet, dans une fiche technique⁵⁴ de 2017,

⁵³ Cf. Annexe 1 – Graphique 7 « *Suivi énergétique spécifique au système de traitement d'air pour les espaces de conservation* », p.7.

⁵⁴ CEREMA, *L'instrumentation : quels enjeux, quels outils, quelle stratégie ?*, Lyon, 2017, disponible en ligne : <https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2018-11/Cerema%20fiche%205.pdf> (consulté le 02/05/2025), p.4-5.

un ordre de grandeur des dispositifs disponibles et de leurs coûts. Bien que ces données soient aujourd'hui partiellement dépassées, elles restent utiles pour appréhender le coût d'une première phase de mesure avant d'envisager, si besoin, un plan de comptage plus pérenne. Ces dispositifs offrent également un moyen efficace de vérifier l'impact réel des actions engagées et de suivre l'évolution des consommations dans le temps. Leur déploiement doit toutefois être encadré avec soin, en veillant à couvrir des périodes représentatives (hiver, été, intersaison) et à accompagner la campagne de mesures d'une analyse rigoureuse et d'une valorisation effective des données collectées. Certaines institutions culturelles disposent également de systèmes de gestion technique (GTC/GTB) permettant un suivi automatisé des consommations⁵⁵. Ces outils offrent un potentiel important, à condition d'être associés à un plan de comptage adapté et d'être réellement exploités. Dans les configurations les plus avancées, ils permettent de remonter des données précises par poste ou par zone. Toutefois, de nombreuses GTB se limitent encore à des données globales peu exploitables ou ne sont pas configurées pour une lecture fine des usages. Ce potentiel reste donc souvent sous-utilisé, en raison d'un manque de capteurs adaptés, d'une insuffisance de ressources internes ou d'une faible priorité donnée à l'analyse énergétique dans le pilotage quotidien des établissements. Enfin, sans nécessiter d'instrumentation spécifique, Fanny Valembois propose dans son rapport *Mesurer et réduire les consommations d'énergie en bibliothèque*⁵⁶ une méthode simple de relevé des consommations électriques, fondée sur la mesure de la « puissance appelée »⁵⁷. Ce protocole consiste à observer la puissance résiduelle affichée sur le compteur électrique après l'arrêt successif des différents équipements (éclairage, informatique, CTA, chauffage électrique, etc.). Cette approche peut permettre d'obtenir des indications précieuses sur le fonctionnement réel des installations et d'identifier les principaux postes de consommation.

Ainsi, différentes méthodes peuvent être mobilisées pour suivre les consommations des équipements techniques. Ceci peut permettre d'identifier les espaces ou activités les plus énergivores et d'ajuster plus finement les actions à mener selon les besoins réels. Encore peu développée dans les établissements culturels, cette démarche offrirait pourtant des clés

⁵⁵ Cf. Chapitre II/ Section C) a. Centraliser, automatiser, superviser : les apports de la GTB, p.48.

⁵⁶ VALEMBOIS, Fanny, *Mesurer et réduire les consommations d'énergie en bibliothèque*, Paris, Le Bureau des Acclimations, 2025, disponible en ligne : <https://bdza.fr/wp-content/uploads/2025/04/Mesurer-et-reduire-les-consommations-denergie-en-bibliotheque-Fanny-Valembois-14-avril-2025.pdf> (consulté le 27/04/2025).

⁵⁷ *Ibid.*, p.18.

précieuses pour mieux cibler les leviers d'économie d'énergie et objectiver la part réellement imputable à la conservation des collections.

Au-delà de la seule mesure des consommations, l'audit énergétique constitue un outil précieux pour établir un diagnostic global du bâtiment. Il permet de croiser l'analyse des équipements, des usages et de l'enveloppe bâtie, afin d'identifier les principales sources de consommation et les leviers d'optimisation possibles. Dans les établissements culturels, il représente aussi une opportunité d'interroger l'articulation entre les dispositifs techniques et les exigences de conservation. Encadrés par la norme NF EN 16247⁵⁸, ces audits reposent sur une méthodologie structurée et standardisée, mais restent souvent peu adaptés aux spécificités patrimoniales. Les enjeux liés à la stabilité climatique, à la sensibilité des matériaux ou aux contraintes de conservation ne sont généralement pas centraux dans l'analyse. Sensibiliser les bureaux d'études à ces réalités permettrait d'améliorer la pertinence des diagnostics et des préconisations formulées. Dans cette perspective, les professionnels de la conservation préventive peuvent jouer un rôle de conseil en apportant un éclairage complémentaire sur les exigences propres aux collections. Leur expertise, mobilisée en amont ou en accompagnement des audits, pourrait contribuer à une meilleure articulation entre performance énergétique et exigences conservatoires. Lorsqu'un dialogue étroit est établi entre les auditeurs et les équipes en charge des collections, l'audit peut offrir une vision d'ensemble plus fine du fonctionnement énergétique du bâtiment et aider à hiérarchiser les actions, de l'optimisation des systèmes existants à de possibles interventions techniques. Le recours à des simulations thermiques dynamiques peut également venir enrichir cette analyse. Pour autant, certains ajustements nécessitent d'interroger plus largement les pratiques de conservation elles-mêmes, à la lumière des enjeux de sobriété énergétique.

Ainsi, au-delà des seuls aspects techniques, toute réflexion sur la réduction des consommations énergétiques dans les établissements culturels, en particulier dans les espaces de conservation, invite à questionner les politiques de conservation mises en œuvre. Si les conditions climatiques constituent un levier important, elles ne sont qu'un paramètre parmi d'autres. L'organisation des réserves, la répartition des collections ou encore les pratiques

⁵⁸ NF EN 16247 Audits énergétiques, dans : *Afnor Editions* [en ligne], 2012, disponible en ligne : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-162471/audits-energetiques-partie-1-exigences-generales/fa167938/1270> (consulté le 17/04/2025).

d'accès et d'usage influencent aussi les besoins énergétiques. Cette réflexion interroge également les stratégies d'acquisition, chaque nouvel objet impliquant potentiellement de nouveaux besoins en stockage, en régulation et donc en énergie⁵⁹. En ce sens, le ministère de la Culture s'engage, dans son plan 2023–2027 à « mieux apprécier, lors des commissions scientifiques d'acquisition, les conditions de conservation d'un bien culturel avant son acquisition et la charge que cela représente »⁶⁰. Cette approche globale de la sobriété doit alors être fondée sur un dialogue étroit entre conservation, régie et gestion technique.

En somme, mieux connaître ses consommations ne consiste pas seulement à mesurer des kilowattheures. C'est aussi questionner l'adéquation entre les besoins réels des collections, les caractéristiques du bâtiment, les pratiques professionnelles et les moyens techniques disponibles. Ce croisement est indispensable pour inscrire les actions envisagées dans une démarche à la fois efficace sur le plan énergétique et rigoureuse du point de vue patrimonial. Une fois cet état des lieux réalisé, il devient possible d'engager des leviers d'optimisation concrets, qu'ils portent sur les équipements ou les usages quotidiens.

c. Au-delà du traitement d'air : quels leviers pour les autres postes de consommation ?

La consommation énergétique d'un bâtiment culturel ne dépend pas uniquement du traitement d'air. D'autres postes, parfois plus discrets mais tout aussi significatifs, comme le chauffage, l'éclairage, les équipements électriques ou encore les usages numériques, contribuent également aux dépenses énergétiques. Si les travaux de rénovation ou l'installation d'équipements performants restent des leviers majeurs, ils exigent des investissements lourds et s'inscrivent dans un temps long. En parallèle, des actions simples et peu coûteuses peuvent être mises en œuvre à court terme pour produire des effets rapides et durables.

Dans les espaces de conservation, l'éclairage constitue un poste souvent sous-estimé, alors qu'il peut générer des consommations significatives en cas d'usage prolongé ou inadapté comme en témoignera un exemple chiffré présenté ci-après. Conçus avant tout pour préserver les collections, les espaces de conservation ne devraient être éclairés que ponctuellement, lors

⁵⁹ SIX, Manon, « Repenser les acquisitions des musées à l'heure de la transition écologique : quelques pistes de réflexion », dans : *Musée Dévoilé, Musée de Bretagne* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://musee-devoile.blog/2024/04/15/repenser-les-acquisitions-des-musees-a-lheure-de-la-transition-ecologique-quelques-pistes-de-reflexion/> (consulté le 17 avril 2025).

⁶⁰ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit., p.58.

d'interventions ciblées. En pratique pourtant, les habitudes de travail, les réorganisations fréquentes ou des usages détournés conduisent souvent à un allumage prolongé des installations d'éclairage dans les espaces de conservation. Ce constat invite à rappeler que les réserves ou les magasins ne sont pas des lieux de travail classiques⁶¹, et que leur gestion énergétique impose un encadrement rigoureux des usages et de la présence humaine, d'autant que ces éléments influent également sur la stabilité du climat. Indépendamment de cette vigilance sur les pratiques, des mesures simples peuvent limiter les consommations sans compromettre les interventions comme l'installation de détecteurs de présence, la mise en place d'un éclairage sectorisé pour les grands espaces, ou des interrupteurs extérieurs avec voyants lumineux pour éviter les oublis. Le passage à un éclairage LED représente également un levier majeur, permettant des économies d'énergie et une meilleure régulation thermique, les LED émettant peu de chaleur. Une étude menée en 2013 dans une salle d'exposition a ainsi montré que le remplacement d'halogènes par des LED divisait par six la consommation électrique et les émissions de CO₂, tout en réduisant les coûts de maintenance⁶². Ces gains sont probablement encore amplifiés aujourd'hui, compte tenu des progrès technologiques depuis dix ans. Au-delà des espaces de conservation, d'autres pistes simples peuvent être explorées comme la réduction des horaires d'éclairage extérieur en soirée, porteuse d'économies mais aussi d'une valeur symbolique dans les démarches de transition énergétique des établissements culturels⁶³.

Le chauffage des espaces de travail et des zones accueillant du public représente un poste de consommation majeur dans les établissements culturels, d'autant plus délicat à optimiser qu'il touche directement au confort des usagers. Comme le souligne Martin Bugnicourt⁶⁴ dans son mémoire, la perception du confort thermique reste largement subjective, rendant les

⁶¹ D'un point de vue réglementaire, les lieux de conservation, sont assimilées à des lieux de stockage. À ce titre, elles ne relèvent pas des obligations du Code du travail applicables aux locaux de travail, notamment en matière de renouvellement d'air, de température et de confort. Cette distinction interroge cependant les pratiques professionnelles, dans la mesure où de nombreux agents effectuent des tâches prolongées dans les réserves ou magasins (récolement, préparation d'expositions, conditionnement, etc.), rendant parfois floue la frontière entre stockage et lieu de travail.

⁶² PEDRO, Luis, TAVARES, Paulo, COELHO, Dulce, « Efficient lighting design for a museum exhibition room », communication au colloque « *Energy for Sustainability* », Coimbra (8 au 10 septembre 2013), dactyl, p.5.

⁶³ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit., p.32.

⁶⁴ BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, mémoire pour le diplôme de conservateur de bibliothèque dirigé par Reine Bürki, École nationale supérieure des sciences de l'information et des bibliothèques, Villeurbanne, 2025, 107 p.

arbitrages parfois complexes. Néanmoins, le *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture* rappelle que l'une des premières pistes d'action consiste à ajuster les niveaux et les plages horaires de chauffage et de climatisation⁶⁵. Il préconise⁶⁶ ainsi des consignes de 19 °C en hiver et de 26 °C en été, fixées comme seuils de déclenchement des appareils de régulation, ainsi qu'une adaptation des consignes aux horaires et jours d'ouverture. Fanny Valembois propose également d'autres leviers⁶⁷, comme l'ajustement saisonnier de l'usage des espaces, afin de limiter le chauffage ou la climatisation de zones peu fréquentées.

Les autres postes de consommation, notamment liés aux usages numériques et aux équipements informatiques, ne seront pas développés ici. Pourtant, de nombreuses solutions existent, recensées dans le *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture* ou d'autres ressources, et peuvent constituer des leviers complémentaires dans une approche plus globale de réduction des consommations. Plus largement, la littérature récente invite les institutions culturelles à inscrire leur action dans une logique de sobriété, voire de décroissance, en s'inspirant notamment des huit « R » théorisés par Serge Latouche⁶⁸, ou encore de la journée professionnelle de l'ICOM du 27 septembre 2024 intitulée « Penser le musée de demain, la décroissance en questions »⁶⁹.

Ainsi, les marges de manœuvre en matière d'économie d'énergie dans les établissements culturels ne se limitent pas au seul traitement d'air, souvent perçu à tort comme le principal poste de consommation. Dans le cadre du décret tertiaire et plus largement des objectifs de transition énergétique, une approche globale, combinant connaissance fine des consommations, adaptation des équipements et évolution des usages, apparaît indispensable pour construire des stratégies pertinentes et ajustées aux spécificités de chaque site. Pour autant, lorsqu'il est mal

⁶⁵ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit., p.30.

⁶⁶ Ces recommandations sont elles-mêmes issues des orientations gouvernementales présentées dans le communiqué de presse de l'Hôtel de Matignon du 26 juillet 2022, alors sous la direction de la Première ministre Élisabeth Borne, dans le cadre du plan de sobriété énergétique.

⁶⁷ VALEMBOIS, Fanny, *Mesurer et réduire les consommations d'énergie en bibliothèque*, op. cit., p.31-34.

⁶⁸ LATOUCHE, Serge, « Muséologie et décroissance », dans : *La Lettre de l'OCIM*, n°196, 2021, p.38-43.

⁶⁹ ICOM France, « Penser le musée de demain. La décroissance en question », retranscription de la journée professionnelle « Penser le musée de demain. La décroissance en question », Médiathèque Jean Falala de Reims (27 septembre 2024), dactyl.

conçu, mal piloté ou mal entretenu, le traitement d'air peut devenir une source importante de surconsommations, tout en ne remplissant pas correctement ses fonctions de conservation. C'est pourquoi la seconde partie de ce mémoire s'attachera plus précisément aux leviers techniques d'optimisation liés à ce poste, afin d'identifier des pistes concrètes d'amélioration énergétique dans les espaces de conservation.

II/ Concilier conservation préventive et économies d'énergie : leviers techniques du traitement d'air et du bâtiment

La mise en œuvre du décret tertiaire repose sur la capacité des établissements à activer des leviers d'optimisation énergétique à l'échelle du bâtiment et de ses équipements. Dans les espaces de conservation, la priorité porte sur les systèmes de traitement d'air, souvent responsables de surconsommations et de dérives climatiques en raison de dysfonctionnements ou de vétusté. Mais la performance énergétique dépend aussi de la qualité du bâtiment, du bon dimensionnement des installations et de l'efficacité des dispositifs de régulation. Qu'il s'agisse d'une construction neuve ou d'une rénovation, la conservation préventive doit donc guider les choix techniques pour concilier les exigences des collections et celles du bâti.

Cette deuxième partie explorera les leviers d'économie d'énergie liés aux équipements de traitement d'air. La première sous-partie analysera le rôle de l'architecture dans la performance climatique, en soulignant l'importance d'anticiper les usages et de promouvoir une collaboration interdisciplinaire autour du préventeur. La deuxième examinera les systèmes techniques, leurs erreurs de conception fréquentes et les technologies d'optimisation. Enfin, seront abordés les outils de pilotage, en mettant l'accent sur la gestion technique du bâtiment (GTB) et le suivi du climat.

A) Construire ou rénover autrement : poser les bases d'une conservation économe en énergie

a. Vers une architecture passive et raisonnée des espaces de conservation

L'énergie la plus économique restant celle qui n'est pas consommée, l'enveloppe du bâtiment, en particulier son étanchéité et son isolation hygrothermique, constitue un enjeu prioritaire. En effet, un bâtiment bien isolé réduit la sollicitation des équipements de traitement d'air, souvent poussés dans leur limites pour compenser les déperditions et apports incontrôlés. Selon l'enquête menée pour ce mémoire⁷⁰, seuls 17 % des établissements disposant d'un traitement d'air jugent leur isolation optimale, 21 % la considèrent insuffisante et 59 % l'estiment correcte mais perfectible. Cependant, si la nécessité de rénover est largement

⁷⁰ Cf. Annexe 1 – Graphique 8 « Ressenti des professionnels sur l'isolation et l'étanchéité de leurs espaces de conservation disposant d'un système de traitement d'air », p.7.

reconnue, la dépendance à des services externes ou à une tutelle limite la capacité d'action directe et rallonge les délais de décision et d'intervention. De plus, la concrétisation d'un projet de rénovation dépend aussi des moyens financiers disponibles et de la capacité des établissements à mobiliser les dispositifs d'aide existants. En effet, plusieurs sources peuvent être sollicitées, comme l'a montré le mémoire de Martin Bugnicourt⁷¹. Parmi elles figurent le Fonds européen de développement régional (FEDER)⁷², qui a cofinancé à 82,2 % la rénovation énergétique du FRAC Centre-Val de Loire⁷³, ou le plan France Relance⁷⁴, qui a soutenu les rénovations du Palais de la Porte Dorée⁷⁵ et de la bibliothèque de l'Arsenal de l'université de Toulouse⁷⁶.

Mais au-delà de la rénovation du parc existant, les projets de construction neuve ou de réhabilitation tendent également à une plus grande frugalité, notamment par l'emploi de matériaux assurant une gestion passive de l'hygrométrie. La médiathèque James Baldwin, a ainsi opté pour un revêtement intérieur en terre crue coulée « qui assurera un rôle régulateur hygrométrique permettant de maintenir des températures fraîches en été et de stocker la chaleur des rayons du soleil en hiver dans un volume qui ne sera pas chauffé »⁷⁷. De leur côté, les réserves externalisées de Poitiers misent sur l'usage du béton brut⁷⁸ pour assurer une certaine

⁷¹ BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, op. cit., p.20-21.

⁷² Fonds européen de développement régional, dans : *L'Europe s'engage en France* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/fonds-europeens-2014-2020/fonds-europeen-developpement-regional-feder> (consulté le 22/04/2025).

⁷³ Transition énergétique en Centre-Val de Loire : Rénovation des lycées grâce à REACT-EU, dans : *L'Europe s'engage en France* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/projets/transition-energetique-en-centre-val-loire-renovation-lycees-grace-react-eu> (consulté le 22/04/2025).

⁷⁴ France Relance : construire la France de demain, dans : *info.gouv.fr* [en ligne], dernière révision en 2025, disponible en ligne : <https://www.info.gouv.fr/grand-dossier/france-relance> (consulté le 22/04/2025).

⁷⁵ France Relance : les travaux ont déjà bien commencé au Palais de la Porte Dorée, dans : *La préfecture et les services de l'Etat en région Île-de-France* [en ligne], dernière révision en 2021, disponible en ligne : <https://www.prefectures-regions.gouv.fr/ile-de-france/Region-et-institutions/L-action-de-l-Etat/Economie-et-finances-publiques/Finances-publiques2/France-Relance-les-travaux-ont-deja-bien-commence-au-Palais-de-la-Porte-Doree> (consulté le 22/04/2025).

⁷⁶ Plan de relance bibliothèque de l'Arsenal, dans : *Université Toulouse Capitole* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.ut-capitole.fr/accueil/campus/chantiers-de-luniversite/plan-de-relance-bu-arsenal> (consulté le 22/04/2025).

⁷⁷ Médiathèque James Baldwin et Maison des Réfugiés, dans : *Paris, mairie du 19^e* [en ligne], dernière révision en 2024, disponible en ligne : <https://mairie19.paris.fr/pages/une-mediatheque-pour-le-19e-premiers-retours-12947> (consulté le 22/04/2025).

⁷⁸ Réserves des musées de Poitiers, dans : *Hugues Fontenas Architectes* [en ligne], 2019, disponible en ligne : <https://www.huguesfontenas.com/projet/reserves-des-musees-de-poitiers/> (consulté le 22/04/2025).

stabilité climatique passive. Enfin, certains projets vont plus loin en renonçant totalement aux systèmes de traitement d'air, misant uniquement sur l'optimisation de l'enveloppe et de la conception architecturale. C'est le cas des réserves du musée Condé, présentées comme « une nouvelle étape vers une gestion patrimoniale durable et adaptée aux défis contemporains »⁷⁹, où l'emploi de matériaux naturels comme le chaux-chanvre privilégie l'inertie climatique tout en respectant l'intégrité du bâti historique. Si ces réalisations sont encore trop récentes pour tirer des bilans définitifs, la thèse de Marta Kristine Leskard⁸⁰ semble apporter une validation scientifique à ces approches passives. Son étude ayant suivi sur huit ans le Hempcrete Museum Store au Royaume-Uni, construit en béton de chanvre, montre qu'un bâtiment bien conçu alliant solutions passives et traitement d'air peut maintenir une humidité relative dans une plage de 40 à 60 % avec des variations très progressives tout en réduisant les coûts d'exploitation d'au moins 30 %.

Cette approche rejoint les principes du diagramme bioclimatique de Givoni⁸¹, qui utilise les données psychrométriques pour croiser les plages de confort et les stratégies passives de régulation. Cet outil pourrait être applicable aux réserves comme aux espaces d'exposition, afin d'allier conservation des œuvres, confort thermique et performance environnementale dès la phase de conception. D'autres dispositifs architecturaux renforcent cette logique, comme l'enfouissement ou le semi-enfouissement des réserves, l'implantation et l'orientation du bâtiment, ou encore la création de zones tampons, qu'il s'agisse de volumes intermédiaires non chauffés ou d'espaces végétalisés. De même, la végétalisation des toitures et des façades peut améliorer l'isolation tout en favorisant l'intégration paysagère. Ces solutions exigent cependant une grande vigilance sur l'étanchéité pour prévenir tout risque d'infiltration ou de désordre à

⁷⁹ Les nouvelles réserves du musée Condé : un projet exemplaire au service du patrimoine durable, dans : *Drac Hauts-de-France* [en ligne], dernière révision en 2024, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/regions/drac-hauts-de-france/politique-et-actions-des-services/pole-patrimoines-et-architecture/musees-des-hauts-de-france/les-nouvelles-reserves-du-musee-conde-un-projet-exemplaire-au-service-du-patrimoine-durable> (consulté le 22/04/2025).

⁸⁰ LESKARD, Marta, Kristine, *Validating the techno-economic viability of hemp lime construction for passive and low energy moisture control in museum storage*, thèse de doctorat en philosophie, département d'architecture et d'ingénierie civile, Université de Bath, 2021, 377p.

⁸¹ Pour une présentation synthétique du diagramme de Givoni et de son usage dans la conception bioclimatique des bâtiments, voir : GIVONI, Baruch, « Comfort climate analysis and building design guidelines », dans : *Energy and Buildings*, Vol.18, 1992, p.11–23. Une application concrète de cette approche dans des archives brésiliennes est proposée par KRÜGER, Eduardo, Leite, DINIZ, Wivian, « Relationship between indoor thermal comfort conditions and the Time Weighted Preservation Index (TWPI) in three Brazilian archives », dans : *Applied Energy*, Vol.88, N°3, 2011, p.712–723.

long terme. Néanmoins, la mise en place de ces dispositifs architecturaux doit avant tout répondre aux besoins réels de conservation reposant sur une connaissance fine des collections et une réflexion approfondie sur les usages des espaces.

b. Anticiper les usages pour une conservation sobre et adaptée

La performance énergétique d'un espace de conservation ne peut être dissociée de l'anticipation précise de ses usages. Il ne s'agit pas seulement de concevoir un bâtiment économe en énergie, mais de créer un outil de conservation adapté à ses fonctions, au plus près des spécificités des collections et de leur gestion. La collection constitue en effet la principale occupante de la réserve ou du magasin, et c'est en fonction de ses besoins que l'espace doit être conçu.

Or, les espaces de conservation tendent aujourd'hui à s'ouvrir, à travers le développement des réserves visitables ou l'amélioration des conditions de travail des personnels. Cette évolution, porteuse d'opportunités en matière de médiation et d'usage, modifie cependant les contraintes initiales qui présidaient à la conception des réserves. En effet, elle introduit de nouveaux besoins comme un renouvellement d'air réglementaire accru⁸², une présence humaine plus fréquente et l'entrée d'une lumière naturelle, qui peuvent créer des tensions avec les exigences de stabilité essentielles à la conservation préventive. Dans ce contexte, il est fondamental de définir clairement les usages attendus des réserves dès la phase de programmation, afin de pouvoir faire des choix techniques raisonnés et établir des compromis adaptés entre ouverture, confort d'usage et préservation des collections. Certaines expériences, comme l'intégration de vitrages haute performance dans les réserves du Cnap ou au Sammlungszentrum de Zurich⁸³, montrent que des solutions existent pour concilier partiellement ces objectifs, même si elles restent aujourd'hui marginales. Dans tous les cas, il convient de rappeler que, du point de vue conservatoire, une réserve optimale demeure un espace hermétique, protégé de la lumière naturelle, et limitant autant que possible les variations climatiques et la fréquentation humaine. En ce sens, l'impact réel des

⁸² L'article R4222-6 du code du travail impose un débit minimal d'air neuf par occupant de 25m³ par heure dans les bureaux et locaux sans travail physique. (Code du travail, dans : *Légifrance* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018488858/, consulté le 22/04/2025).

⁸³ LADONNE, Frédéric, « La programmation des réserves : fonctionnalités et réalités », in. DAYNES-DIALLO, Sophie, VASSAL, Hélène (dir.), *Manuel de régie des œuvres. Gérer, conserver et exposer les collections*, Paris, La Documentation Française, 2022, p.134.

perspectives d'ouverture de ces espaces sur la conservation, tout comme sur les consommations d'énergie, mériterait d'être davantage documenté afin d'éclairer les choix futurs.

Au-delà de la définition des usages, l'optimisation des espaces de conservation peut constituer un levier important pour réduire les besoins énergétiques. En effet, regrouper des collections aux besoins climatiques similaires, densifier le stockage par des rayonnages adaptés ou mutualiser certains espaces peut permettre de réduire le nombre de zones climatisées et de concentrer les efforts de régulation sur des volumes plus restreints. Cette approche suppose toutefois une connaissance fine des typologies, des matériaux et des historiques des collections, afin de mieux appréhender leurs sensibilités respectives. Dans les bibliothèques, une logique de sectorisation entre collections patrimoniales et documents courants est déjà mise en œuvre dans plusieurs établissements, afin de réserver les contraintes climatiques aux seuls fonds précieux. Ce principe pourrait également être étendu aux musées puisqu'un sondage de l'ICCROM mené en 2011⁸⁴ montrait qu'un musée sur cinq stockait encore, dans ses réserves, un volume important d'objets sans statut patrimonial. Plus d'une décennie plus tard, si la gestion des réserves a évolué, la question de l'occupation des espaces reste d'actualité. Enfin, comme le souligne Florence Larcher, la maîtrise du climat est généralement plus aisée dans de petits espaces fermés que dans de grands volumes⁸⁵, ce qui renforce l'intérêt d'une sectorisation fine et d'une densification raisonnée des réserves.

Il convient également de souligner que certains dispositifs de conditionnement peuvent aussi contribuer à stabiliser le climat au plus près des objets. Une étude menée par Kompatscher⁸⁶ sur un dépôt d'archives aux Pays-Bas a montré que les boîtes de conservation atténuent et retardent les variations hygrothermiques ambiantes, créant des microclimats plus stables que l'air environnant. Ce phénomène est lié à l'hygroscopicité des matériaux et au volume d'air réduit à l'intérieur des contenants. Toutefois, cet effet reste limité puisque les boîtes sont rarement hermétiques et permettent des échanges rapides avec l'air extérieur. Le

⁸⁴ ICCROM, UNESCO, *Sondage international ICCROM-UNESCO sur les réserves 2011. Résumé des résultats*, 2011, disponible en ligne : https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/10_21storagesurveyresults_fr.pdf (consulté le 27/04/2025).

⁸⁵ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p. 31.

⁸⁶ KOMPATSCHER, Karin, KRAMER, Rick, ANKERSMIT, Bart, SCHELLEN, Henk, « Indoor Airflow Distribution in Repository Design : Experimental and Numerical Microclimate Analysis of an Archive », dans: *Buildings*, vol. 11, n°152, 2021, p.1-27.

conditionnement ne peut donc participer à la stabilité hygrothermique locale que dans un environnement globalement maîtrisé.

Ainsi, la définition précise des usages, l'optimisation des espaces et la mise en œuvre de solutions adaptées peuvent constituer autant de leviers pour concilier performance énergétique et exigences de conservation. Toutefois, pour atteindre cet équilibre, un dialogue étroit doit être instauré entre les différents acteurs du projet, où le rôle du préventeur s'impose comme une interface essentielle entre les objectifs de conservation et les choix de conception. C'est dans cette mise en commun des compétences, des contraintes et des visions d'usage qu'émergent les compromis les plus adaptés, ni figés, ni idéalistes, mais ancrés dans les réalités d'un terrain, d'une équipe et d'un usage à venir.

c. Collaborer en phase projet : le préventeur comme interface entre conservation et conception

Dans le cadre d'un projet de construction ou de rénovation d'un espace de conservation, plusieurs ressources de référence peuvent guider les réflexions et signaler les points de vigilance essentiels. Parmi elles, les *Règles de base pour la construction et l'aménagement d'un bâtiment d'archives*⁸⁷ du SIAF, *Concevoir et construire une bibliothèque : du projet à la réalisation*⁸⁸ du SLL, ou encore l'*Aide-mémoire technique. Projet de centre de conservation et d'étude*⁸⁹ de la DGPA constituent des outils précieux. À ces documents s'ajoutent *La réserve d'un musée de France, mode d'emploi*⁹⁰ du SMF, et *Les réserves des musées - Écologies des collections*⁹¹ dirigé par Tiziana Beltrame et Yaël Kreplak, qui offrent des approches plus spécifiques aux contextes muséaux. Ces publications, à la fois complémentaires et de niveaux techniques variables, constituent une base documentaire que tout acteur impliqué dans la conception d'un

⁸⁷ Service interministériel des Archives de France, *Règles de base pour la construction et l'aménagement d'un bâtiment d'archives*, Paris, Ministère de la Culture, 5^e révision, 2023.

⁸⁸ Service du livre et de la lecture, *Concevoir et construire une bibliothèque. Du projet au fonctionnement*, Paris, Ministère de la Culture, 2^e édition, 2016.

⁸⁹ Direction générale des patrimoines et de l'architecture, *Aide-mémoire technique. Projet de centre de conservation et d'étude*, Paris, Ministère de la Culture, 2024.

⁹⁰ Service des musées de France, *La réserve d'un musée de France, mode d'emploi*, Paris, Ministère de la Culture, 2020, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/musees/pour-les-professionnels/construire-un-musee/conduire-un-projet-architectural-museographique/la-reserve-d-un-musee-de-france-mode-d-emploi> (consulté le 07/05/2025).

⁹¹ BELTRAME, Tiziana, KREPLAK, Yaël, *Les réserves des musées. Écologies des collections*, Paris, Les presses du réel – Œuvres en sociétés, 2024.

lieu de conservation se doit de consulter. Concernant les systèmes de traitement d'air, l'ouvrage *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*⁹² dirigé par Alain Soret constitue une référence majeure.

L'un des principaux défis des projets de construction ou de rénovation dans le domaine culturel réside dans la capacité des parties prenantes à collaborer, malgré des logiques professionnelles différentes. Cette collaboration suppose l'adoption d'un langage commun, indispensable pour partager les enjeux techniques et patrimoniaux et construire des compromis éclairés. Dans ce contexte, la présence croissante de professionnels de la conservation préventive, qu'ils soient intégrés aux institutions ou associés à l'équipe de programmation, à la maîtrise d'ouvrage ou d'œuvre, constitue un levier structurant. En effet, comme l'a souligné Stéphanie Kuhn "la conservation préventive traite de problématiques transverses et sur la durée du projet"⁹³ et ne peut donc se réduire à une estimation des surfaces nécessaires ou à des recommandations ponctuelles relatives au climat ou aux matériaux. Si les préventeurs ne sont ni ingénieurs, ni techniciens en génie climatique, leur rôle est néanmoins essentiel. Garants des exigences de conservation, ils doivent pouvoir alerter à chaque étape du projet sur les paramètres susceptibles de compromettre l'intégrité des collections. Cela suppose une bonne compréhension du fonctionnement et des limites des équipements techniques, afin de pouvoir dialoguer efficacement avec les professionnels de la conception, du pilotage et de l'entretien. En phase projet comme en phase d'exploitation, leur connaissance des contraintes patrimoniales, associée à leur capacité à anticiper les besoins réels et les exigences techniques, peut permettre d'assurer la cohérence entre ambitions de conservation, choix techniques et usages à venir.

Dans ce contexte, le préventeur pourrait endosser le rôle de « maître d'usage », tel que formulé par Laurent Pérat dans son mémoire *L'architecture des bibliothécaires*⁹⁴. Selon lui, le maître d'usage tire sa légitimité au sein du projet architectural de sa connaissance des usages

⁹² SORET, Alain, et al., *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, Paris, Ministère de la Culture, 2017.

⁹³ KUHN, Stéphanie, « L'intégration de la conservation préventive dans les phases de la programmation architecturale », dans : *In Situ*, Vol.19, 2012, disponible en ligne : <http://journals.openedition.org/insitu/9980> (consulté le 23/04/2025), p.6.

⁹⁴ PÉRAT, Laurent, *L'Architecture des bibliothécaires. Fonctions spécifiques d'un corps de métier dans le processus architectural*, mémoire pour le diplôme de conservateur de bibliothèque dirigé par Pascal Robert, École nationale supérieure des sciences de l'information et des bibliothèques, Villeurbanne, 2017, 239 p.

réels et de sa capacité à représenter l'intérêt des usagers et des collections. Ainsi, fort de sa connaissance fine des contraintes d'exploitation, des exigences de conservation et des réalités techniques, le préventeur pourrait "favoriser l'interaction entre architectes, professionnels et usagers"⁹⁵ tout en veillant à maintenir l'intérêt des collections au cœur des décisions. Cette exigence de dialogue est particulièrement cruciale pour la conception des systèmes de traitement d'air, à l'interface des choix architecturaux et des objectifs de conservation. Elle s'étend également à l'exploitation future des équipements, dont la réussite dépendra de la capacité des équipes de maintenance à maîtriser ces installations dans le temps. Il convient ici de souligner que la prise en charge des équipements ne relèvent souvent pas des compétences des équipes au sein des institutions, qui ne disposent ni de la formation ni du mandat nécessaire pour en assurer la gestion, quand bien même ce souhait est fréquemment exprimé. Le témoignage de Maud Auffret⁹⁶, directrice d'une médiathèque, illustre les risques d'une déconnexion entre conception technique et mise en œuvre. Dans son établissement, une pompe à chaleur, pourtant performante sur le plan énergétique⁹⁷, est restée inopérante en raison d'une absence de coordination entre concepteurs, installateurs et équipe en charge de la faire fonctionner, ainsi que d'un défaut de formation des équipes de maintenance aboutissant à l'impossibilité d'une prise en main immédiate.

Ainsi, la collaboration entre les différents acteurs, portée notamment par le préventeur, est essentielle pour garantir la qualité et la soutenabilité des espaces de conservation. En ancrant les choix de conception dans une compréhension fine des usages, elle participe à renforcer la cohérence du projet. Mais assurer la performance climatique et énergétique suppose aussi de comprendre les équipements techniques eux-mêmes, afin de pouvoir dialoguer efficacement avec l'ensemble des parties prenantes et orienter les choix de manière éclairée.

⁹⁵ PÉRAT, Laurent, *L'Architecture des bibliothécaires. Fonctions spécifiques d'un corps de métier dans le processus architectural*, op.cit., p.45.

⁹⁶ BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, op. cit., p.42.

⁹⁷ Cf. Chapitre II/ Section B) a. Dispositifs techniques de régulation climatique : innovations, apports et limites, p.38.

B) Optimiser les systèmes techniques de traitement d'air : entre exigence de conservation et performance énergétique

Cette partie n'a pas vocation à établir des recommandations normatives ni à être exhaustive, mais à fournir des éléments de compréhension sur les technologies existantes, afin d'en anticiper les effets, tant en matière de performance énergétique que de compatibilité avec les exigences de conservation préventive.

a. Dispositifs techniques de régulation climatique : innovations, apports et limites

Les technologies en matière de traitement d'air évoluent en permanence, offrant des solutions de plus en plus performantes, tant sur le plan énergétique qu'en matière de régulation climatique. Lorsqu'elles sont installées dans un bâtiment bien conçu, notamment en ce qui concerne l'enveloppe, ces innovations peuvent constituer un levier efficace pour réduire la consommation d'énergie tout en améliorant la régularité des conditions de conservation. Il convient toutefois d'en comprendre les fonctionnements pour en évaluer correctement la pertinence, anticiper leurs limites et garantir leur adéquation aux besoins spécifiques de conservation.

Avant d'examiner les systèmes de régulation du climat, il convient de s'attarder sur les dispositifs de diffusion de l'air, dont dépend l'homogénéité effective des conditions atteintes. En effet, un air parfaitement traité sur le plan thermique et hygrométrique, mais mal distribué, peut générer des déséquilibres locaux (zones de stagnation, stratifications thermiques ou poches d'humidité), susceptibles de compromettre la conservation ou de favoriser le développement de micro-organismes. Parmi les dispositifs reconnus pour leur efficacité, les gaines à haute induction sont de plus en plus utilisées dans les établissements patrimoniaux comme aux Archives nationales de Pierrefitte-sur-Seine ou au centre de conservation du Louvre à Liévin. Conçues sur le principe d'induction, inspiré de l'effet Venturi⁹⁸, ces gaines métalliques perforées permettent de « brasser l'air à un débit moindre, tout en restant aussi performant qu'avec des gaines plus classiques »⁹⁹. En effet, chaque micro-jet d'air en sortie de gaine aspire l'air ambiant, favorisant un mélange rapide et homogène entre l'air soufflé et l'air intérieur. Cette diffusion douce limite les courants d'air directs, assure un brassage optimal et permet de

⁹⁸ En traversant une section resserrée, un fluide voit sa vitesse augmenter et sa pression diminuer.

⁹⁹ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit., p.57.

réduire les débits de soufflage, entraînant une baisse de la puissance des ventilateurs et ainsi des consommations énergétiques¹⁰⁰. Sur le même principe, les gaines textiles de diffusion offrent une alternative plus légère et moins coûteuse à l'installation, mais nécessitent une vigilance accrue en matière de maintenance en raison de leur sensibilité à l'empoussièrement¹⁰¹.

Si les dispositifs de diffusion assurent une bonne répartition de l'air dans les espaces de conservation, leur efficacité dépend également du volume et du débit d'air mis en circulation. Dans certains contextes, il peut être pertinent d'envisager le remplacement d'un système à débit constant (CAV) par un système à débit variable (VAV), afin de mieux ajuster les débits d'air aux besoins et conditions réelles et de réduire la consommation énergétique. Cette démarche peut également contribuer à améliorer la stabilité climatique, à condition toutefois que le système soit précisément paramétré, régulièrement entretenu et rigoureusement suivi. En effet, si les systèmes CAV offrent une régulation simple, leur rigidité peut entraîner une surconsommation ainsi que des dérives climatiques en cas de conditions extérieures extrêmes, notamment lorsque l'air neuf est très chargé en humidité. À l'inverse, les systèmes VAV permettent une modulation plus fine des débits selon la température, l'humidité ou la qualité de l'air mesurées, sous réserve d'une régulation soigneusement calibrée. Aux archives de Pierrefitte-sur-Seine, par exemple, la centrale de traitement de l'air neuf fonctionne en débit variable avec une activation conditionnée par les taux d'humidité extérieure, arrêtée dès que le poids d'eau dépasse 11 g/kg d'air ou descend sous 5 g/kg d'air, afin de ne pas trop solliciter les équipements et de garantir une régulation efficace¹⁰². Cet exemple montre que, bien maîtrisé, un système VAV peut constituer un levier intéressant pour concilier exigences de conservation et sobriété énergétique.

Mais avant d'être diffusé dans les espaces de conservation, l'air doit préalablement être traité en température et en humidité afin de répondre aux consignes climatiques. Ce traitement est généralement assuré par une centrale de traitement d'air (CTA), intégrant des batteries chaude et froide ou des dispositifs de régulation de l'humidité. Dans une logique de sobriété énergétique, de nouveaux équipements passifs peuvent être intégrés aux CTA pour récupérer

¹⁰⁰ SORET, Alain, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, op. cit., p.20.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 21.

¹⁰² *Ibid.*, p.80.

l'énergie de l'air extrait et la transférer à l'air neuf, limitant ainsi la sollicitation des dispositifs actifs et réduisant les consommations. En effet, les systèmes souvent appelés "double flux", basés sur des échangeurs à plaques ou des roues thermiques, permettent de transférer la chaleur ou la fraîcheur de l'air extrait vers l'air entrant, réduisant les besoins énergétiques liés au conditionnement de l'air neuf. Ce principe de récupération thermique se révèle particulièrement pertinent dans les espaces de conservation, où un apport contrôlé d'air neuf est nécessaire pour garantir la qualité de l'air ou assurer une régulation minimale. Plusieurs institutions patrimoniales ont déjà adopté ces dispositifs, comme les Archives départementales du Nord à Lille¹⁰³, conçues comme un bâtiment à énergie positive, ou encore le Musée du Louvre-Lens, équipé de six CTA avec échangeur thermique assurant le traitement d'air de ses vastes espaces d'exposition¹⁰⁴.

Néanmoins, ces systèmes d'échangeur thermique ne suffisent pas, à eux seuls, à garantir le climat requis dans les espaces de conservation. Le recours à des batteries froides reste souvent indispensable, notamment pour assurer la déshumidification, ce qui impose aussi une réflexion sur leurs performances énergétiques et opérationnelles, tant dans les centrales de traitement d'air (CTA) que dans les armoires de climatisation locales (ACL). Selon un rapport technique de Jack Hopkins comparant différents types de batteries froides¹⁰⁵, les batteries alimentées par des réseaux d'eau glacée apparaissent comme la solution la plus fiable pour maintenir des conditions stables, y compris lorsque les besoins en déshumidification sont changeants, ce qui correspond souvent aux exigences patrimoniales. Leur efficacité reste toutefois dépendante de la qualité du réseau hydraulique, qui doit être correctement dimensionné et isolé pour permettre une mutualisation du froid et une réelle optimisation des consommations. En parallèle, les batteries à détente directe (DX), fonctionnant sans réseau hydraulique, offrent une mise en œuvre plus simple et une bonne efficacité ponctuelle, notamment pour des besoins plus intenses ou réactifs. Toutefois, leur régulation, souvent en

¹⁰³ SORET, Alain, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, op. cit., p.125.

¹⁰⁴ CIAT réalise le traitement de l'air du Louvre-Lens, dans : *Industrie* [en ligne], 2013, disponible en ligne : <https://www.industrieweb.fr/news/2859-ciat-r%C3%A9alise-le-traitement-de-l%E2%80%99air-du-louvre-lens> (consulté le 23/04/2025).

¹⁰⁵ HOPKINS, Jack, « Cooling Coils: A Comparison of Dehumidification Performance », rapport technique dans *Applied Engineering*, 2020, accessible en ligne : <https://appeng.com/wp-content/uploads/2020/08/Coils.pdf> (consulté le 25/04/2025).

mode "tout ou rien", ainsi que les difficultés de dimensionnement, peuvent provoquer des variations climatiques brutales, peu compatibles avec les exigences de stabilité des collections. La comparaison entre batteries à eau glacée et batteries à détente directe mériterait ainsi d'être envisagée au regard des spécificités propres à chaque établissement patrimonial. Le choix de l'un ou l'autre système dépend en effet de plusieurs facteurs, tels que les niveaux d'humidité relative et de température à atteindre, la configuration du bâtiment, ou encore la taille et le nombre de réserves à climatiser. Les batteries à détente directe sont généralement privilégiées dans les structures de petite taille, disposant de peu de réserves, ou dans les contextes nécessitant une humidité relative basse toute l'année, impliquant l'usage de batteries très froides. À l'inverse, les réseaux d'eau glacée offrent des possibilités de mutualisation et une régulation plus fine, mieux adaptées à des ensembles plus vastes et aux exigences de stabilité propres aux grandes institutions patrimoniales.

Ainsi, l'évolution constante des dispositifs de traitement climatique offre aux établissements patrimoniaux des solutions de plus en plus diversifiées pour concilier conservation et performance énergétique. Néanmoins cette sophistication renforce aussi la dépendance aux équipements mécanisés et à l'expertise technique. Mais au-delà des technologies elles-mêmes, le choix des sources d'énergie constitue un levier essentiel pour limiter l'impact environnemental des bâtiments culturels.

b. Diversification et adaptation des sources d'énergie dans les bâtiments culturels

Afin d'alimenter les équipements de traitement d'air en chaleur ou en froid, les établissements culturels s'appuient sur différentes sources d'énergie, choisies en fonction des caractéristiques du bâtiment, de la disponibilité des ressources, des contraintes budgétaires et des compétences techniques mobilisables. L'enquête conduite au printemps 2024 au sein du SIAF¹⁰⁶ a permis de recenser les sources d'énergie utilisées dans divers bâtiments d'archives et de les mettre en relation avec leurs consommations énergétiques pour l'année 2022, exprimées en kWh/m².an¹⁰⁷. Si les données recueillies ne permettent pas d'établir de corrélation statistique robuste entre type d'énergie et niveau de consommation, quelques tendances peuvent

¹⁰⁶ Cf. Annexe 3 : Enquête menée au SIAF dans le cadre des négociations des valeurs cibles de réduction des consommations énergétiques du décret tertiaire (04/2024 à 07/2024), p.17.

¹⁰⁷ Cf. Annexe 3 – Graphique 25 « *Consommation énergétique totale réelle des bâtiments d'archives départementales et de bibliothèques/médiathèques et sources de chauffage – Enquête du SIAF (avril à juillet 2024)* », p.20.

néanmoins être dégagées. Les installations reposant sur des chaudières au gaz semblent présenter des consommations supérieures à la moyenne, tandis que les équipements intégrant des pompes à chaleur géothermiques apparaissent, dans plusieurs cas, plus sobres. À l'inverse, les bâtiments alimentés uniquement en électricité ou raccordés à un réseau de chaleur urbain se répartissent de manière plus hétérogène, figurant parmi les plus et les moins consommateurs. Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence car le graphique issu de l'enquête ne prend pas en compte des paramètres déterminants tels que la qualité de la régulation des installations, leur adéquation aux besoins réels ou encore la régularité de la maintenance. Comme l'illustrera un exemple tiré d'archives départementales¹⁰⁸, ces facteurs peuvent en effet jouer un rôle central dans le niveau de consommation observé. Par ailleurs, il convient de rappeler qu'il s'agit ici de la consommation énergétique totale du bâtiment, incluant d'autres postes que les seuls systèmes de traitement d'air.

Néanmoins, ces résultats, même partiels, rappellent l'importance du choix des sources d'énergie dans la performance globale du bâtiment. Dans un contexte de transition énergétique, il apparaît préférable d'orienter autant que possible les choix vers des sources renouvelables ou à faible impact environnemental. Toutefois, dans les établissements patrimoniaux, ces choix doivent rester compatibles avec les exigences de conservation car certaines technologies, bien que vertueuses sur le plan environnemental, peuvent s'avérer inadaptées si elles ne garantissent pas de manière fiable les conditions climatiques requises. Ainsi, il semble intéressant de réfléchir à des approches hybrides pour concilier sobriété énergétique et sécurité conservatoire.

Si le gaz naturel reste encore largement utilisé, certaines alternatives émergent, comme le biométhane, produit par méthanisation de déchets organiques. Compatible avec les chaudières existantes, il représente une piste intéressante pour amorcer une transition, d'autant plus que son développement s'accélère. Selon l'ADEME, entre 500 et 1 400 sites pourraient injecter du biométhane dans le réseau d'ici 2030, pour atteindre environ 16 % du gaz distribué¹⁰⁹. Cependant, en tant qu'énergie de combustion émettant du CO₂, le biométhane doit

¹⁰⁸ Cf. Chapitre III/ Section C) b. La maintenance des installations : un levier stratégique à encadrer, p.69.

¹⁰⁹ Biométhane : une source d'énergie renouvelable, dans : *GRDF* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.grdf.fr/gaz-vert/production-gaz-renouvelable/biomethane-energie-renouvelable> (consulté le 24/04/2025).

être considéré comme une solution transitoire, à intégrer dans une stratégie plus large de réduction des besoins et de diversification énergétique.

Bien que la production de chaleur demeure centrale dans les stratégies énergétiques, les établissements culturels doivent également répondre aux exigences spécifiques de maîtrise de l'humidité relative, nécessitant fréquemment le recours au froid. Comme le rappelle Alain Soret, les équipements installés dans les bâtiments patrimoniaux sont souvent conçus par des professionnels peu familiers des contraintes de conservation, qui, dans une logique de sobriété énergétique, privilégient parfois des dispositifs limités au traitement de la température¹¹⁰. Parmi les solutions mobilisées pour la production de chaud et de froid, les pompes à chaleur (PAC) occupent aujourd'hui une place croissante. Ces systèmes thermodynamiques, souvent réversibles, c'est-à-dire pouvant assurer le chauffage en hiver et le rafraîchissement en été¹¹¹, valorisent des ressources locales (air, nappes phréatiques, géothermie) et permettent, pour un apport électrique limité, de produire une quantité d'énergie thermique supérieure à celle consommée. Cependant, dans les espaces patrimoniaux, leur usage rencontre des limites. Les PAC réversibles classiques, conçues pour fonctionner en mode alternatif chaud/froid, ne permettent pas de satisfaire simultanément les besoins en froid pour la déshumidification et de réchauffage post-déshumidification, comme cela est souvent requis pour le traitement d'air, notamment en période estivale. Cette contrainte implique le recours à des dispositifs complémentaires comme des PAC réversibles supplémentaires ou des chaudières, ce qui peut limiter l'intérêt énergétique global de l'installation. Pour répondre à ces enjeux, certains fabricants ont développé des équipements plus adaptés, comme les thermofrigopompes¹¹², capables de produire simultanément de l'eau glacée et de l'eau chaude. Ce type de dispositif, installé notamment aux Archives départementales du Rhône¹¹³, aux Archives nationales de Pierrefitte-sur-Seine¹¹⁴ et au centre de conservation de Liévin, permet d'assurer le traitement thermique et hygrométrique de l'air neuf à partir d'un seul équipement centralisé. Ces installations peuvent en effet répondre de manière cohérente aux objectifs de stabilité

¹¹⁰ SORET, Alain, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, op. cit., p.73.

¹¹¹ *Ibid.*, p.73.

¹¹² *Ibid.*, p.74.

¹¹³ *Ibid.*, p.105.

¹¹⁴ *Ibid.*, p.80.

climatique et de sobriété énergétique, sous réserve d'un dimensionnement précis, d'une implantation adaptée et d'une intégration rigoureuse dans le système technique global du bâtiment.

Sans recourir à des installations complexes, certains établissements peuvent valoriser la chaleur dégagée par leur groupe froid existant. En effet, dans les bâtiments culturels, la production de froid repose encore souvent sur des groupes classiques, relativement énergivores en l'absence de récupération thermique. L'ajout d'un échangeur sur le circuit du condenseur peut permettre de capter cette chaleur, habituellement rejetée, pour alimenter un circuit de chauffage ou de préchauffage. Ce type de récupération énergétique a notamment été mis en œuvre de manière volontaire et sans contrainte particulière dans certains établissements, comme les Archives départementales des Landes ou de l'Isère, à une époque où les thermofrigopompes étaient encore peu développées. Ainsi, bien qu'elle soit moins performante qu'une thermofrigopompe, cette solution offre également une piste d'optimisation concrète pour améliorer le rendement énergétique, notamment dans les bâtiments patrimoniaux où les marges de manœuvre sont limitées. Au-delà de ces pistes d'optimisation sur des équipements existants, certains établissements culturels s'engagent également dans des démarches plus prospectives, en explorant le potentiel des énergies renouvelables produites sur site. C'est le cas de la future extension des Archives nationales de Pierrefitte-sur-Seine¹¹⁵, ou encore des archives départementales du Nord qui ont installé 300m² de panneaux photovoltaïques¹¹⁶ sur leur toit terrasse végétalisé.

Toutefois, qu'il s'agisse de la production thermique ou du traitement de l'air, l'efficacité de ces dispositifs repose avant tout sur la qualité de leur conception, de leur intégration et de leur pilotage au sein du bâtiment. Il s'agit là de points de vigilance essentiels à prendre en compte dès les premières phases d'un projet d'installation ou de rénovation.

¹¹⁵ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit., p.57.

¹¹⁶ SORET, Alain, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, op. cit., p.125.

c. Concevoir des systèmes fiables : un enjeu de conservation et de performance énergétique

Aucun professionnel de la conservation n'échappe durablement aux dysfonctionnements des systèmes de traitement d'air, dont les répercussions sur les collections et la consommation énergétique peuvent être majeures. Cette double conséquence impose une attention accrue dès la conception. Le préventeur, sans être spécialiste technique, peut à ce titre jouer un rôle essentiel en anticipant les sources de dysfonctionnement, en interrogeant les choix techniques et en renforçant le dialogue avec les équipes. Toutefois, le comportement réel des espaces ne se révélant pleinement qu'à l'exploitation, et les contraintes architecturales limitant souvent les marges de manœuvre, une conception prudente et adaptée demeure indispensable. Cette exigence est d'autant plus importante que, dans la pratique, les systèmes de traitement et de diffusion d'air sont rarement correctement évalués dès les premières phases des projets, tant sur le plan technique que financier ce qui implique souvent « des installations dans un état de vétusté avancé, sous-dimensionnées et qui présentent parfois des erreurs de conception »¹¹⁷.

Parmi les causes fréquentes de dérives climatiques et de surconsommations, le dimensionnement inadapté des installations occupe une place centrale. En effet, un équipement mal calibré, qu'il soit sous-dimensionné ou surdimensionné, peut générer des instabilités majeures, même avec une régulation fonctionnelle. Si les effets d'un dispositif insuffisamment puissant sont bien connus, le surdimensionnement est parfois perçu à tort comme une garantie de sécurité. Pourtant, comme le souligne Florence Larcher, le surdimensionnement peut lui aussi générer des dérives climatiques¹¹⁸. Elle rapporte notamment le cas du musée d'Orsay, où une centrale de traitement d'air, équipée d'un humidificateur surdimensionné fonctionnant en mode « tout ou rien », provoquait des élévations brutales de l'humidité relative à chaque fois qu'il s'activait, malgré des seuils de consigne correctement paramétrés. Face à cette situation, le musée n'a pas choisi de compenser mécaniquement par un refroidissement ou une déshumidification intensive, coûteuse en énergie. Il a opté pour une stratégie d'inertie maîtrisée en laissant progressivement monter la température intérieure jusqu'à 22 °C, seuil à partir duquel un apport d'air neuf, plus frais et plus sec, permettait de rétablir l'équilibre hygrométrique. Ce choix exploitait un phénomène physique bien connu : plus la température de l'air augmente,

¹¹⁷ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.30.

¹¹⁸ *Ibid.*, p.31-33.

plus il peut contenir de vapeur d'eau et ainsi diminuer l'humidité relative. Cette approche témoigne d'une volonté de sobriété énergétique assumée, au prix de fluctuations climatiques temporaires mais régulières. Elle souligne surtout combien un dimensionnement adapté dès l'origine aurait permis d'éviter ces compromis entre performance conservatoire et sobriété énergétique.

D'autres défauts de conception, comme le positionnement des équipements de diffusion de l'air, peuvent compromettre la stabilité climatique des espaces de conservation. Un emplacement inadapté des grilles de soufflage et de reprise, observé dans certains musées, favorise des stratifications thermiques, créant des déséquilibres sensibles au sein d'un même espace¹¹⁹. Ce phénomène peut affecter directement la conservation des collections, en particulier pour les œuvres de grand format. Plusieurs entretiens informels et visites d'espaces de conservation menés dans le cadre de ce mémoire ont confirmé ces constats. Le positionnement des bouches de soufflage reste souvent mal adapté aux configurations réelles et à l'implantation du mobilier de stockage. L'air est parfois insufflé perpendiculairement aux épis de rangement, créant des flux concentrés susceptibles d'engendrer des déséquilibres climatiques localisés, voire des altérations physiques sur les objets exposés en première ligne. Ces dérives rappellent l'importance d'une coordination étroite entre architectes, ingénieurs et professionnels de la conservation en phase projet, afin d'assurer une véritable adéquation entre choix techniques et usages réels. Dans d'autres configurations, le problème réside dans l'ordre d'implantation des dispositifs au sein de la chaîne de traitement d'air de la CTA. Florence Larcher évoque par exemple le cas d'un humidificateur placé en amont de la batterie froide, rendant l'humidification difficile en période hivernale¹²⁰. Dans ces situations, où corriger physiquement l'installation impliquerait des investissements lourds, une réflexion approfondie doit être menée avec les équipes techniques pour optimiser le pilotage du système en l'état et limiter les impacts sur la régulation climatique et la facture énergétique.

Ainsi, au-delà de la nature des équipements, c'est leur fonctionnement en synergie qui conditionne l'efficacité globale du système climatique. Dans de nombreux établissements, plusieurs dispositifs coexistent comme des centrales de traitement d'air (CTA), armoires de climatisation locales (ACL), déshumidificateurs ou chauffages d'appoint. Si ces équipements

¹¹⁹ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p. 36-37.

¹²⁰ *Ibid.*, p. 37.

ne sont pas conçus de manière cohérente ou régulés ensemble, ils peuvent générer des effets contradictoires, créant des cycles de compensation permanents, sources d'instabilité climatique et de surconsommation. L'exemple de la BULAC¹²¹, qui a choisi d'arrêter ses ACL pour ne conserver que la CTA, illustre combien la multiplication des dispositifs peut parfois complexifier le pilotage au lieu d'apporter de la souplesse. Toutefois, les résultats de l'enquête menée pour ce mémoire invitent à nuancer ce constat¹²². Parmi les établissements combinant CTA et ACL, près de trois quarts estiment leur climat intérieur « plutôt adapté », ce qui suggère qu'une coexistence de ces équipements reste possible si la régulation est maîtrisée. La question de la cohérence des équipements doit également être posée lorsqu'il s'agit d'installer des dispositifs non spécifiques au sein des espaces de conservation, comme les ventilo-convecteurs. Conçus pour le confort thermique, ces appareils fonctionnent par simple recyclage d'air, sans filtration ni régulation hygrométrique, et peuvent induire des flux localisés, des stratifications thermiques ou des condensations ponctuelles, fragilisant ainsi la stabilité du climat de conservation. Leur utilisation doit donc faire l'objet d'une évaluation rigoureuse en amont et, si elle est retenue, être accompagnée d'un suivi technique renforcé.

Ces différents exemples rappellent que des risques de dysfonctionnement peuvent émerger à chaque étape de la conception des équipements techniques. Il est donc essentiel d'analyser chaque choix avec attention, afin d'en comprendre les enjeux et d'en anticiper les dérives potentielles. Toutefois, même avec des équipements bien conçus et correctement installés, la stabilité climatique dépendra aussi de la manière dont ces derniers seront paramétrés, pilotés et suivis au quotidien. C'est sur cet ultime levier que repose, en pratique, la maîtrise durable des conditions de conservation.

C) Régulation climatique, supervision et pilotage : vers une gestion fine et continue

Aussi performants soient-ils, les équipements techniques ne peuvent garantir à eux seuls la stabilité climatique ni la maîtrise des consommations sans un pilotage précis et adapté aux usages et conditions réelles. Dans les espaces de conservation, la régulation quotidienne joue

¹²¹ Cf. Chapitre III/ Section A) c. Coopérer pour ajuster : retours croisés sur deux démarches de sobriété, p.57.

¹²² Cf. Annexe 1 – Graphique 9 : « Ressenti des professionnels dont le système de traitement d'air est constitué d'une combinaison de CTA et d'ACL sur le respect des consignes climatiques dans leurs espaces de conservation », p.8.

un rôle déterminant puisqu'une installation mal paramétrée peut dériver de manière insidieuse, fonctionner en décalage avec les besoins, ou compenser de façon excessive, au détriment des collections comme des objectifs énergétiques. Des dysfonctionnements peuvent également apparaître entre les différents modules d'une même installation, avec des actions non coordonnées, voire contradictoires, compromettant la stabilité climatique et la performance énergétique globale. Dès lors, la qualité de la supervision, de l'ajustement et du suivi dans le temps apparaît comme un facteur-clé de performance.

a. Centraliser, automatiser, superviser : les apports de la GTB

Dans une logique de maîtrise énergétique et de stabilisation climatique, la Gestion Technique du Bâtiment (GTB) constitue un levier essentiel pour les établissements culturels. Selon son niveau de sophistication, elle permet de centraliser les données de consommation¹²³, d'automatiser certains réglages, de déclencher des alertes en cas de dysfonctionnement ou de dépassement de seuils, et d'adapter dynamiquement le pilotage des équipements aux conditions réelles. La GTB repose sur un réseau de capteurs déployés dans le bâtiment, mesurant en continu des paramètres tels que la température, l'humidité relative ou la qualité de l'air. Ces données sont transmises au système central, qui les analyse et, en fonction des besoins détectés et des consignes préalablement paramétrées, pilote directement les équipements techniques par l'intermédiaire d'automates programmables. Cette régulation en temps réel permet un fonctionnement fin des installations (centrales de traitement d'air, humidificateurs, protections solaires motorisées), participant ainsi au maintien de la stabilité climatique nécessaire à la conservation tout en optimisant les consommations énergétiques.

La présence de GTB tend à se développer dans le secteur culturel. Comme le montre le *Graphique 6*¹²⁴, parmi les 98 répondants à l'enquête disposant d'un système de traitement d'air, 60 % déclarent être équipés d'une GTB. Toutefois, 22 % indiquent ne pas savoir si un tel dispositif est installé dans leur établissement, ce qui suggère une relative méconnaissance, ou un manque d'accessibilité à l'information technique au sein des équipes. Cette situation peut constituer un frein à une exploitation optimale des installations, notamment lorsque la

¹²³ Article R175-3 du Code de la construction et de l'habitation, dans : *Légifrance* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000047427508 (consulté le 25/04/2025).

¹²⁴ Cf Annexe 1 – Graphique 10 « *Présence d'une GTB ou d'une GTC dans les établissements disposant d'un système de traitement d'air pour les espaces de conservation* », p.8.

communication entre services techniques et métiers de conservation n'est pas suffisamment instaurée. L'encadrement réglementaire devrait cependant accélérer cette dynamique, notamment avec l'entrée en vigueur du décret BACS¹²⁵, dont l'objectif est d'équiper l'ensemble des bâtiments tertiaires, existants comme neufs, de systèmes d'automatisation et de régulation. Cette obligation s'appliquera progressivement à compter du 1^{er} janvier 2025 pour les bâtiments disposant de systèmes techniques supérieurs à 290 kW, puis à partir du 1^{er} janvier 2027 pour ceux équipés de systèmes dépassant les 70 kW.

Cependant, la seule présence d'une GTB ne suffit pas à garantir une gestion optimale. Mal exploitée, elle peut au contraire devenir source de dysfonctionnements, en générant une surcharge d'informations, en se révélant trop complexe à paramétrer pour les équipes, ou encore en reposant sur des capteurs défectueux. Ces situations peuvent conduire à des dérives climatiques ou à une surconsommation énergétique notable. Le déploiement réussi d'une GTB doit ainsi s'accompagner de la qualité de la programmation initiale, de la fiabilité des capteurs installés et de la pertinence du positionnement des sondes.

b. Bien comprendre pour bien réguler : scripts, capteurs et réalité du terrain

Au-delà des fonctionnalités de supervision, la performance d'un système de gestion technique repose en grande partie sur la qualité des scripts et scénarios de régulation qui y sont intégrés. Ces scénarios définissent le comportement des équipements en réponse aux variations mesurées par les capteurs et traduisent, en langage automatisé, les besoins spécifiques du bâtiment. Les automates programmables permettent ainsi d'activer ou d'ajuster certains équipements tels que le soufflage d'air, l'humidification, la déshumidification ou encore l'éclairage, en fonction de seuils climatiques ou de plages horaires prédéfinies. Dans son ouvrage *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*¹²⁶, Alain Soret présente plusieurs études de cas illustrant diverses utilisations de la GTB. Cette approche ouvre des perspectives intéressantes en matière d'optimisation énergétique, particulièrement lorsqu'elle s'appuie sur une compréhension fine des besoins propres à la conservation.

¹²⁵ Décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur, dans : *Légifrance* [en ligne], 2020, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042128488> (consulté le 17/04/2025).

¹²⁶ SORET, Alain, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, op. cit.

Toutefois, la mise en œuvre des scripts de régulation, bien qu'essentielle, demeure une opération hautement technique, généralement confiée à des prestataires spécialisés lors de la livraison du bâtiment ou de la rénovation des installations. En effet, la programmation initiale repose sur des hypothèses définies en amont du projet, mais elle nécessite un suivi attentif dans les premiers mois d'exploitation. C'est durant cette phase que se révèlent les écarts entre les conditions projetées et les conditions réelles, rendant souvent indispensables des ajustements. À cet égard, l'optimisation des scripts et leur adaptation progressive aux usages réels devraient idéalement être prévues dans les documents contractuels, afin d'assurer un accompagnement technique durable et réactif. En effet, un défaut de suivi durant cette période critique peut conduire à des dérives climatiques ou à des surconsommations difficiles à détecter sans expertise spécifique. La plupart du temps, les équipes internes ne disposent ni du temps ni des compétences nécessaires pour intervenir directement sur les automates, ce qui rend d'autant plus indispensable un dialogue étroit et prolongé avec les prestataires.

Un autre enjeu, souvent sous-estimé, concerne le positionnement des capteurs, élément pourtant essentiel au bon fonctionnement de la régulation automatisée. Mal installés, ces capteurs peuvent fausser les mesures et provoquer des réponses inadaptées des équipements. Un entretien informel mené dans une bibliothèque universitaire a permis d'illustrer clairement cette problématique. Dans cet établissement, une gaine de soufflage orientée perpendiculairement à un rayonnage limitait fortement le brassage de l'air. Placé au centre de la salle, le capteur de régulation ne percevait pas l'effet réel du soufflage, ce qui poussait la centrale de traitement d'air à surcompenser en intensifiant son action, afin de finir par atteindre les seuils mesurés par le capteur. Cette surcompensation, invisible pour le système, exposait en réalité les collections situées à proximité des bouches à des variations dommageables. Bien que le repositionnement du capteur soit techniquement possible, il reste encore entravé aujourd'hui par la lourdeur des procédures internes et par la surcharge de travail des équipes techniques au sein de l'université, révélant des obstacles récurrents dans la gestion des bâtiments culturels.

Ainsi, la précision des scripts et la pertinence du positionnement des capteurs sont des éléments décisifs pour garantir une régulation fine et respectueuse à la fois des impératifs de conservation et des objectifs de sobriété énergétique. La réussite de cette régulation automatisée repose sur une collaboration étroite entre équipes techniques, prestataires spécialisés et professionnels de la conservation, chacun apportant une compréhension complémentaire des enjeux. En ceci, le préventeur peut jouer un rôle central en transformant les exigences de

conservation en paramètres techniques compréhensibles par les équipes. Cependant, pour pouvoir dialoguer efficacement, le préventeur doit pouvoir s'appuyer sur des données climatiques précises et indépendantes, renforçant l'intérêt de mettre en place un suivi climatique autonome.

c. Assurer un suivi climatique autonome au service de la conservation préventive

Pour les préventeurs, disposer d'un système autonome de suivi climatique constitue un enjeu fondamental. Tout d'abord, il s'agit de pouvoir contrôler en temps réel la fiabilité des conditions climatiques au sein des espaces de conservation, sans dépendre exclusivement des services techniques. Un suivi indépendant permet également d'implanter les capteurs aux emplacements jugés les plus représentatifs ou critiques, afin de conduire des analyses plus fines, adaptées aux spécificités des collections. Cette autonomie s'avère d'autant plus essentielle que, dans de nombreuses institutions, seuls les techniciens ont accès aux données issues de la GTB ou des équipements techniques, limitant ainsi la capacité des équipes de conservation à piloter efficacement leurs exigences climatiques et à comprendre les données relevées. En outre, en fonction du positionnement des sondes techniques, les données fournies par la GTB peuvent parfois diverger sensiblement des conditions réellement subies par les collections.

L'enquête menée auprès de 118 participants confirme cette nécessité d'appropriation des données climatiques¹²⁷. Si 46 % des répondants se considèrent capables d'analyser ces données et de lire les courbes associées, ils expriment encore le besoin d'un accompagnement pour relier leurs observations à un éventuel dysfonctionnement du système de traitement d'air. Seuls 25 % estiment maîtriser pleinement ces analyses de manière autonome, tandis que 18 % se déclarent peu ou pas du tout capables d'exploiter ces données. Cette hétérogénéité souligne que l'interprétation des données climatiques reste un domaine technique, qui gagnerait à être facilité par de meilleurs outils de visualisation, d'alerte et de diagnostic. Il convient de préciser que les répondants appartiennent à des corps de métier variés¹²⁸, dont certains n'ont reçu que peu ou pas de formation à l'analyse des données climatiques. Toutefois, dans de nombreux établissements, l'absence de préventeur ou d'équivalent conduit ces professionnels à devoir assumer, parfois seuls, la responsabilité du suivi climatique, ce qui les expose directement à ces

¹²⁷ Cf. Annexe 1 – Graphique 11 « *Ressenti des professionnels sur leur capacité à analyser les données et les courbes climatiques et à les relier au fonctionnement du système de traitement d'air* », p.9.

¹²⁸ Cf. Annexe 1 – Graphique 2 « *Poste occupé par les répondants* », p.4.

enjeux. Les échanges menés dans le cadre de ce travail ont également mis en évidence plusieurs limites, telles que des capteurs installés mais rarement relevés, des données extraites mais peu analysées, ou encore l'absence d'alerte automatique en cas de dérive. Dans de nombreux cas, les écarts climatiques ne sont ainsi constatés que tardivement, souvent à la lecture différée des courbes, lorsque les marges d'intervention sont devenues limitées, voire inexistantes.

De ce fait, de nouvelles solutions émergent aujourd'hui pour rendre le suivi climatique plus accessible. Plusieurs dispositifs innovants permettent de générer automatiquement des courbes climatiques, de paramétrer des seuils d'alerte en temps réel et d'assurer l'archivage durable des données. Certains fabricants proposent également des formules en location intégrant maintenance, calibrage et mise à jour logicielle, ce qui réduit les contraintes techniques et limite les risques d'obsolescence pour les établissements. Ces évolutions rendent désormais possible, même pour des institutions disposant de moyens humains ou techniques limités, d'assurer un suivi minimal mais stratégique des environnements de conservation. Dans ce contexte, l'ICOM Suisse rappelle, dans ses recommandations récentes¹²⁹, que la surveillance climatique constitue un outil essentiel, à la fois pour documenter et optimiser la conservation, mais aussi pour accompagner progressivement l'élargissement des plages climatiques, lorsque cela est possible, dans une logique de durabilité. Le suivi devient ainsi un levier central pour concilier exigences patrimoniales et pragmatisme énergétique.

Ainsi, si l'optimisation énergétique repose sur une conception soignée du bâtiment, un choix rigoureux des équipements liés au traitement d'air et un suivi climatique structuré, elle ne peut se dissocier d'un pilotage attentif et adapté aux besoins réels des collections. En effet, dans les espaces de conservation, la gestion quotidienne des systèmes de traitement d'air, la pertinence des consignes appliquées et la capacité d'ajustement des équipes deviennent autant de leviers essentiels pour concilier exigences de conservation et sobriété énergétique. La troisième partie de ce mémoire s'attachera à explorer ces dynamiques d'ajustement, en s'intéressant aux stratégies de réduction des consommations compatibles avec la préservation des collections, ainsi qu'à l'importance d'une veille sanitaire rigoureuse pour accompagner ces évolutions.

¹²⁹ ICOM Suisse, *Recommandations pour la surveillance climatique dans les musées*, op.cit.

III/ La performance énergétique au prisme de la gestion humaine : vers une régulation concertée et conservatoire

Si les équipements techniques et les infrastructures peuvent directement influencer les consommations énergétiques et la stabilité des conditions de conservation, leur performance réelle dépend largement de la manière dont ils sont paramétrés et suivis au quotidien. En effet, même un équipement bien conçu et performant, s'il est mal exploité, peut entraîner à la fois des surconsommations d'énergie et des dérives climatiques susceptibles de compromettre la préservation des collections. L'usage réel des systèmes de traitement d'air apparaît ainsi comme un levier déterminant, qui nécessite une collaboration étroite entre équipes techniques et équipes de conservation, une réflexion renouvelée sur les pratiques de conservation préventive liées au climat, ainsi qu'une attention continue portée à la surveillance des équipements comme à l'état des collections.

Cette troisième partie s'attachera à explorer la place centrale de la gestion humaine dans la maîtrise énergétique des espaces de conservation. La première sous-partie analysera le rôle essentiel de la collaboration dans l'exploitation quotidienne des systèmes de traitement d'air. La seconde abordera la réflexion nécessaire autour des pratiques de conservation face aux enjeux conjoints de sobriété énergétique et de stabilité climatique. Enfin, la troisième sous-partie mettra en lumière l'importance de la surveillance et des contrôles, qu'il s'agisse du fonctionnement des équipements ou de l'état sanitaire des collections.

A) Mieux comprendre pour mieux coordonner : poser les bases d'une régulation maîtrisée

a. Entre accès restreint aux systèmes et dynamique d'implication à soutenir

Assurer une bonne gestion énergétique et climatique des espaces de conservation implique non seulement de pouvoir intervenir rapidement en cas de dérive mais aussi de comprendre précisément le fonctionnement des équipements techniques. Cette maîtrise repose sur la complémentarité entre les expertises techniques, portées par les équipes en charge des installations, et les savoirs conservatoires, détenus par les professionnels de la conservation et les préventeurs, qui définissent les exigences climatiques nécessaires à la préservation des collections. Pour atteindre les objectifs communs de sobriété énergétique et de stabilité climatique, il est donc indispensable de favoriser une collaboration étroite entre ces différents acteurs durant l'exploitation.

Pourtant, dans de nombreux établissements culturels, cette capacité reste aujourd'hui limitée en raison d'une organisation souvent cloisonnée et d'une circulation incomplète de l'information entre services. Selon l'enquête menée dans le cadre de ce mémoire¹³⁰, seuls 13 % des établissements déclarent pouvoir intervenir directement sur leur système de traitement d'air sans difficulté. Dans la majorité des cas (55 %) toute action nécessite de passer par un service externe ou une entreprise extérieure, tandis que 28 % des répondants ne sont pas du tout associés à cette gestion. Cette forte dépendance réduit la réactivité face aux dérives climatiques et maintient une distance importante entre les professionnels de la conservation et les équipements qui conditionnent pourtant la stabilité des collections. À cette difficulté d'accès s'ajoute une compréhension encore partielle du fonctionnement des systèmes¹³¹. Ainsi, si 55 % des répondants se disent plutôt à l'aise pour interpréter les informations techniques, seuls 17 % estiment pouvoir dialoguer facilement avec les techniciens et comprendre pleinement les mécanismes en jeu. À l'inverse, 23 % ne maîtrisent que quelques notions de base, limitant leur capacité à participer activement au pilotage climatique.

Dans ce contexte, renforcer la communication entre les services techniques et les équipes de conservation apparaît fondamental. Il ne s'agit pas de transformer les professionnels de la conservation en ingénieurs ou en techniciens en génie climatique, mais de favoriser une interconnaissance suffisante pour que chacun puisse comprendre les enjeux spécifiques de l'autre. Cette communication vise d'abord à partager une compréhension commune des contraintes et des objectifs liés à la gestion climatique des espaces, avant de pouvoir ouvrir la voie à une réflexion conjointe sur les opportunités d'optimisation énergétique compatibles avec la préservation patrimoniale. Cependant, cette transparence reste difficile à instaurer dans de nombreux établissements. Lorsqu'ils sont externalisés, les services techniques disposent souvent de peu de temps pour se consacrer aux spécificités des espaces culturels, limitant ainsi les échanges approfondis et, lorsqu'ils relèvent d'une organisation interne, la diversité des missions et la complexité hiérarchique peuvent également freiner le dialogue entre techniciens et professionnels de la conservation. Les échanges informels réalisés dans le cadre de ce mémoire mettent en évidence une situation particulièrement marquée dans les bibliothèques

¹³⁰ Cf. Annexe 1 – Graphique 12 « *Ressenti des professionnels sur la facilité d'intervenir sur le fonctionnement du système de traitement d'air dans les espaces de conservation* », p.9.

¹³¹ Cf. Annexe 1 – Graphique 13 « *Ressenti des professionnels sur leur capacité à interpréter les informations techniques et prendre des décisions liées au système de traitement d'air dans les espaces de conservation* », p.10.

universitaires, où la stratification des responsabilités et l'éloignement des services techniques rendent souvent difficile la mise en place d'une gestion concertée des espaces de conservation. Le mémoire de Martin Bugnicourt illustre ce cloisonnement. Dans de nombreuses bibliothèques, qu'elles conservent ou non des collections patrimoniales, les professionnels *in situ* ont parfois une connaissance très éloignée des équipements techniques¹³².

Ainsi, l'accès limité aux équipements, conjugué à une connaissance encore incomplète de leur fonctionnement, demeure un frein important à l'optimisation de la gestion des espaces de conservation. Toutefois, le potentiel d'implication révélé par l'enquête témoigne de l'intérêt des équipes pour ces enjeux et ouvre des perspectives pour construire, à travers une meilleure circulation de l'information et une collaboration renforcée, une approche plus cohérente et plus durable au service de la conservation préventive et de la sobriété énergétique.

b. Vers une meilleure articulation entre conservation et technique

La complémentarité entre les savoirs techniques et conservatoires ne peut pleinement porter ses fruits que si elle s'appuie sur des échanges structurés et sur une compréhension mutuelle des contraintes de chacun. Face aux obstacles identifiés, plusieurs leviers émergent pour favoriser cette collaboration. Si la nécessité de disposer, dès la phase projet, d'un interlocuteur capable de faire le lien entre les différentes parties prenantes a déjà été soulignée¹³³, il reste tout aussi crucial d'organiser, dans la gestion quotidienne, des modalités de dialogue et de montée en compétence adaptées aux enjeux spécifiques des espaces de conservation.

Dans cette perspective, la désignation d'un référent doté d'une double compétence apparaît comme un facteur structurant. Florence Larcher souligne l'intérêt qu'il y aurait à disposer, au sein des institutions culturelles, d'un acteur capable d'assurer le lien entre conservation, exploitation technique et pilotage énergétique. Ce référent, idéalement formé au génie climatique tout en étant sensibilisé aux impératifs de la conservation préventive, constituerait un relais privilégié pour fluidifier les échanges et favoriser des décisions concertées¹³⁴. Cependant, dans la réalité actuelle des institutions, une telle fonction dédiée reste

¹³² BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, op. cit., p.65.

¹³³ Cf. Chapitre II/ Section A) c. Collaborer en phase projet : le préventeur comme interface entre conservation et conception, p.35.

¹³⁴ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.42.

rare. Le rôle d'interface est le plus souvent assuré de manière informelle, en fonction des compétences, des sensibilités ou des disponibilités des équipes. Dans les musées, il peut parfois être pris en charge par des régisseurs ou des préventeurs lorsque ces postes existent, mais leur formation initiale ne leur permet pas toujours d'appréhender pleinement les spécificités techniques des systèmes de gestion climatique. Dans d'autres cas, notamment au sein des services d'archives ou des bibliothèques, ce sont les chefs d'établissement, les conservateurs, voire certains agents, qui endossent ponctuellement cette mission, selon la taille des équipes et les moyens humains disponibles. Ce fonctionnement au cas par cas, s'il témoigne d'une capacité d'adaptation, ajoute une charge supplémentaire aux fonctions existantes et limite la structuration d'un véritable pilotage concerté des environnements de conservation. Il pourrait être intéressant, à l'avenir, de mieux intégrer cette fonction de coordination dans les fiches de poste, afin de reconnaître pleinement la nécessité de ce lien transversal entre conservation préventive et gestion technique.

Certaines institutions ont toutefois engagé des démarches concrètes pour rapprocher les équipes en charge des installations techniques et celles responsables des collections. Au musée du Louvre, des rendez-vous pédagogiques avaient été instaurés entre les services techniques et les membres des pôles de conservation¹³⁵. À travers des entretiens personnalisés, les conservateurs étaient sensibilisés au fonctionnement des installations climatiques qui concernaient directement les collections dont ils avaient la charge. Si ces actions nécessitaient un investissement personnel conséquent, elles permettaient de lever de nombreux doutes et de répondre aux interrogations qui freinaient parfois l'optimisation de la gestion climatique. De manière complémentaire, Fanny Valembois¹³⁶ recommande d'organiser des visites communes des locaux techniques avec les bibliothécaires et les agents de maintenance. Ces moments de rencontre offrent l'opportunité de visualiser concrètement les équipements, de comprendre leurs modes de fonctionnement et d'échanger directement avec les techniciens. En reconnectant les professionnels aux réalités matérielles des installations, ils favorisent une appropriation plus fine des enjeux énergétiques et climatiques. Bien que formulée dans un contexte de bibliothèque, cette approche pourrait utilement être étendue à tous types d'établissements culturels disposant d'espaces de conservation. Cependant, pour que ces échanges soient

¹³⁵ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.41.

¹³⁶ BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, op. cit., p. 66.

réellement efficaces, un travail spécifique sur les modalités de communication s'avère nécessaire. En effet, des écarts de langage subsistent entre les métiers techniques et les métiers de la conservation, générant parfois des incompréhensions. Ainsi, construire un socle commun de vocabulaire, expliciter les notions complexes et éviter le recours excessif au jargon technique sont autant de leviers pour favoriser une meilleure compréhension mutuelle. Cette attention au langage est d'autant plus importante que les milieux techniques restent parfois marqués par des biais de genre, et que certaines voix, notamment féminines, peuvent peiner à se faire entendre¹³⁷.

Créer un environnement d'échange respectueux, valorisant la diversité des interlocuteurs et reconnaissant la complémentarité des compétences, est donc indispensable pour construire une gouvernance climatique plus concertée, au service de la conservation préventive et de la sobriété énergétique.

c. Coopérer pour ajuster : retours croisés sur deux démarches de sobriété

Une articulation efficace entre conservation et technique repose autant sur la qualité de la coopération que sur la préparation des acteurs impliqués. Pour mieux comprendre les conditions de réussite, ou d'échec, d'une telle articulation, deux retours d'expérience permettent d'en saisir les enjeux concrets.

Dans une optique de sobriété énergétique et d'amélioration des conditions de conservation, l'exemple de la Bibliothèque universitaire des langues et civilisations¹³⁸ (BULAC) est particulièrement éclairant. Si les solutions mises en œuvre ne sont pas transposables telles quelles, car étroitement liées aux spécificités du bâtiment et de ses équipements, elles montrent combien une collaboration étroite entre direction, service technique et pôle conservation peut constituer un levier décisif. Il convient d'abord de rappeler quelques éléments de contexte ayant également contribué à la réussite de cette démarche. En effet, la BULAC dispose d'une autonomie de gestion qui lui permet d'intervenir directement sur ses systèmes techniques, en lien avec un responsable du bâtiment particulièrement impliqué. Ce fonctionnement repose sur un bâtiment conçu dès l'origine avec de fortes exigences en

¹³⁷ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.45.

¹³⁸ Les éléments décrits ici s'appuient sur une visite technique de la BULAC et de ses installations réalisée le 20 décembre 2024 avec la responsable technique du bâtiment Vincent Chagniot et la responsable adjointe du pôle conservation et patrimoine Saïra Munir Qureshi, ainsi que sur un entretien conduit le 15 avril 2025 avec la directrice de l'établissement Marie-Lise Tsagouria.

matière d'inertie thermique, d'isolation et de conservation préventive. La participation conjointe de la directrice et du responsable du bâtiment dès la phase projet, ainsi que leur présence tout au long de l'exploitation, garantit une continuité rare entre conception et usage. Il convient également de noter que la BULAC ne conserve pas ou très peu de fonds particulièrement fragiles, ce qui autorise une certaine souplesse dans les consignes climatiques. Cette souplesse reste toutefois limitée par l'absence d'accès aux données issues du logiciel de suivi des thermohygromètres, les relevés se faisant alors ponctuellement et manuellement par les équipes.

Mis en service en 2011, le bâtiment est équipé, pour ses espaces de conservation, d'une CTA double flux traitant l'air neuf en température, et de 30 ACL régulant l'humidité relative dans les magasins. Couplé à un groupe froid et au chauffage urbain, ce système s'est rapidement révélé énergivore et peu satisfaisant. En effet, les ACL produisaient une chaleur excessive et le climat restait instable. Selon le rapport annuel 2023, les consommations atteignaient environ 2,4 GWh d'électricité et 1,2 GWh de chauffage¹³⁹ en 2019. En 2020, face aux incertitudes techniques et à l'impossibilité d'intervenir rapidement en cas de dysfonctionnement en période de confinement liée au covid-19, la décision a été prise de couper l'ensemble des systèmes. Reposant sur l'inertie du bâtiment et des veilles sanitaires régulières, cette stratégie a permis de réduire les consommations à environ 1,8 GWh pour l'électricité et à moins de 1 GWh pour le chauffage, sans effet constaté sur les collections. En 2021, avec la remise en fonctionnement des équipements, un rebond des consommations a conduit l'équipe à engager une réflexion de fond sur la régulation technique. Ainsi, depuis 2022, les ACL et le groupe froid ont été arrêtés, les lumières des magasins sont éteintes hors présence du personnel, et la CTA ne fonctionne plus que 12 heures par jour, lorsque l'air extérieur est le plus favorable. En 2023, les consommations ont alors atteint un nouveau palier avec moins de 1,6 GWh pour l'électricité et 0,7 GWh pour le chauffage, soit une baisse d'environ 33 % par rapport à 2019. Ce fonctionnement n'a été rendu possible que par la coopération active entre la direction, le responsable du bâtiment et les équipes de conservation. L'arrêt des ACL a toutefois modifié la diffusion de l'air, désormais soufflé directement par les unités elles-mêmes et non plus par les gaines, ce qui peut compromettre l'homogénéité du brassage. De ce fait, des veilles sanitaires

¹³⁹ BULAC, *Rapport d'activité 2023, 2024*, disponible en ligne : <https://www.bulac.fr/rapport-dactivite-2023-de-la-bulac> (consulté le 07/05/2025), p.27-28.

sont régulièrement menées dans les zones les plus enclavées des magasins et à ce jour, aucune altération des collections n'a été constatée. Il serait également pertinent de débloquent l'accès aux données climatiques afin, notamment, de mieux suivre les conditions nocturnes, et d'envisager l'installation de capteurs supplémentaires pour évaluer l'efficacité du brassage de l'air à différents endroits des magasins.

Dans la continuité de ce constat, l'exemple d'une médiathèque conservant des collections patrimoniales, évoqué au cours d'un échange informel, témoigne de l'intérêt croissant de plusieurs collectivités pour ce type d'expérimentations. Ainsi, dans cet établissement, un test d'arrêt des ACL a été préconisé par le service technique de la ville et mis en œuvre durant la période estivale sur des magasins conservant des documents d'intérêt moindre. Cette expérimentation temporaire avait pour objet de mesurer l'impact de l'arrêt des ACL sur les conditions climatiques et de réfléchir en parallèle aux consommations énergétiques. Bien que des thermohygromètres supplémentaires, des capteurs de CO₂ et des sous-compteurs ont été installés à cette occasion, l'expérimentation a été vécue comme un test intéressant, mais a simultanément semblé insuffisamment encadrée en termes de méthodologie et de communication, suscitant parfois des craintes. L'expérimentation a finalement été interrompue après deux mois, en raison de la montée progressive de l'humidité relative, des risques pour les collections, et des effets induits par la modification du renouvellement d'air, susceptibles d'impacter les conditions de travail en magasin du fait des taux de CO₂. Pour l'équipe, cette expérience a mis en lumière la tension entre les objectifs de sobriété énergétique et les exigences de conservation.

Ainsi, ces deux exemples rappellent qu'une coopération étroite entre conservation et technique, appuyée sur une bonne compréhension des équipements, constitue une condition essentielle à toute évolution maîtrisée. Cette démarche appelle également à revisiter les exigences conservatoires elles-mêmes, qu'il s'agisse des consignes climatiques, du renouvellement d'air ou des arrêts ponctuels des installations, pour mieux identifier les marges de manœuvre compatibles avec la sobriété énergétique.

B) Ajuster les pratiques de régulation climatique dans une logique de sobriété raisonnée

a. Préparer l'expérimentation climatique : entre prudence, méthode et connaissance des matériaux

Requestionner les usages en matière de gestion climatique implique de réinterroger en profondeur les pratiques et les exigences de conservation. Cet exercice se heurte souvent à des résistances légitimes, tant le climat est un paramètre essentiel à la préservation des matériaux, en particulier ceux sensibles aux variations d'humidité relative ou à la corrosion. La crainte de compromettre l'intégrité des collections rend ainsi l'idée même de compromis difficilement acceptable, même dans une perspective de sobriété énergétique. Les résultats de l'enquête menée dans le cadre de ce mémoire illustrent bien cette tension. A la question « Avez-vous pris la décision d'arrêter le système de traitement d'air dans les espaces de conservation pour réaliser des économies d'énergie ? »¹⁴⁰, 46 % des répondants jugent cette option impensable, tandis que 42 % se disent prêts à en explorer les implications dans le cadre d'une expérimentation. Ce partage d'opinions révèle la coexistence de postures prudentes et de dynamiques d'ouverture, rappelant qu'un changement de pratiques exige toujours une préparation approfondie, tant technique que culturelle.

Dans cette perspective, les établissements engagés dans cette réflexion peuvent trouver dans le projet « Prenons le contrôle du climat ! »¹⁴¹ une source d'inspiration utile, susceptible de leur fournir des repères méthodologiques et des pistes d'action concrètes. Déjà expérimenté dans plusieurs pays, il a donné lieu à des retours d'expérience documentés et instructifs¹⁴². Structuré en trois phases, il insiste sur l'importance de réunir l'ensemble des parties prenantes, de les former et de définir collectivement un objectif clair, condition essentielle à la création d'une dynamique d'expérimentation. Ce socle partagé permet ensuite d'identifier des leviers d'action compatibles avec les exigences de conservation, tout en cadrant les aspects techniques et organisationnels de la mise en œuvre. En ce sens, il semble essentiel d'engager la démarche

¹⁴⁰ Cf. Annexe 1 – Graphique 14 « *Décision d'arrêter le système de traitement d'air dans les espaces de conservation pour réaliser des économies d'énergie* », p.10.

¹⁴¹ Cf. Chapitre I/ Section A) c. Des pratiques climatiques aux stratégies durables : l'adaptation des établissements culturels aux exigences énergétiques et écologiques, p.11.

¹⁴² Getting Climate Control Under Control, dans : *Ki futures* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://kifutures.com/getting-climate-control-under-control/> (consulté le 03/05/2025).

de manière progressive, en s'appuyant sur une préparation méthodique inscrite dans une logique de conservation préventive. Le choix d'une période test, idéalement située en saison intermédiaire, peut alors constituer un compromis pertinent entre variations observables et conditions climatiques modérées. De même, commencer par un espace ciblé, techniquement isolable et représentatif des conditions de conservation habituelles peut permettre d'évaluer les effets de l'expérimentation dans un cadre maîtrisé, avant d'envisager une extension à d'autres zones sur la base des résultats obtenus.

Mais toute expérimentation sur l'assouplissement des consignes climatiques repose également sur une bonne compréhension des collections concernées et de la manière dont les matériaux hygroscopiques réagissent aux variations d'humidité, un aspect développé dans le mémoire de Florence Larcher¹⁴³. En effet, les phénomènes d'adsorption et de désorption se déploient dans le temps selon des dynamiques lentes, asymétriques et parfois irréversibles. En moyenne, 70 % des échanges entre le matériau et son nouvel environnement se produiraient dans les deux premiers jours, mais l'équilibre complet peut prendre plusieurs semaines¹⁴⁴. Le phénomène d'hystérésis¹⁴⁵ montre, par exemple, qu'un matériau ne retrouve pas nécessairement son état initial après un cycle d'adsorption et désorption. Ce comportement impose de maîtriser avec vigilance l'amplitude et la fréquence des variations climatiques, particulièrement dans un cadre expérimental d'élargissement des consignes. Le choix des œuvres entrant dans ce cadre doit ainsi prendre en compte la nature des matériaux, leur état de conservation, d'éventuelles restaurations anciennes, ou leur caractère composite. En ce sens, l'identification d'un objet référent, lorsque cela est pertinent, peut permettre un suivi plus ciblé¹⁴⁶. Plusieurs outils théoriques peuvent accompagner cette réflexion, comme les courbes isopermes¹⁴⁷ ou des calculettes numériques¹⁴⁸ qui estiment l'impact combiné de la température et de l'humidité relative sur la durée de vie de certains matériaux, notamment le papier. Dans son mémoire, Florence Larcher combine ces approches avec l'analyse d'un diagramme

¹⁴³ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.8-10.

¹⁴⁴ *Ibid*, p. 10.

¹⁴⁵ *Ibid.*, p. 11.

¹⁴⁶ Cf. Chapitre III/ Section C) a. Surveiller les effets du climat sur les collections : l'enjeu du suivi sanitaire, p.67.

¹⁴⁷ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p. 13.

¹⁴⁸ Dew Point Calculator, dans : *Dew Point Calculator* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <http://www.dpcalc.org/> (consulté le 03/05/2025).

psychrométrie, afin de déterminer, de manière théorique, le poids d'eau optimal pour la pérennité des objets concernés¹⁴⁹. De manière complémentaire, les travaux de Marco Martens¹⁵⁰ proposent une méthode rigoureuse d'évaluation des risques climatiques fondée sur les données mesurées ou simulées de température et d'humidité relative. En s'appuyant sur les propriétés physiques des matériaux (temps de réponse, seuils d'élasticité, risques biologiques, chimiques et mécaniques), cette méthode permet de quantifier objectivement les risques encourus par des objets spécifiques en fonction du climat réellement "ressenti" par ceux-ci.

Ainsi, l'expérimentation ne peut s'envisager sans une phase préparatoire solide, fondée sur une compréhension fine des collections et des mécanismes de dégradation. Ce n'est qu'à cette condition que pourra s'envisager, de manière argumentée, un éventuel élargissement des marges de tolérance climatiques.

b. Élargir les consignes climatiques : entre efficacité énergétique et exigences de conservation

Les résultats de l'enquête menée dans le cadre de ce mémoire¹⁵¹ montrent une répartition presque égale entre les établissements ayant choisi d'élargir leurs consignes climatiques, qui représentent 51 %, et ceux maintenant un climat fixe (47 %)¹⁵². Cette proximité des réponses révèle une situation de bascule, marquée à la fois par une volonté d'adaptation aux nouvelles recommandations et aux enjeux de sobriété énergétique, et par une forme de prudence reposant sur des repères établis de longue date, encore largement perçus comme garants de la sécurité des collections. Ce constat invite à interroger plus finement les consignes aujourd'hui appliquées dans les institutions patrimoniales, mais aussi à mieux comprendre ce qu'implique concrètement leur éventuel élargissement, tant du point de vue des consommations énergétiques que de celui de la conservation des collections.

Dans ce contexte, l'un des intérêts souvent avancés en faveur de l'élargissement des consignes climatiques réside dans la possibilité de réduire la sollicitation des équipements

¹⁴⁹ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.19.

¹⁵⁰ MARTENS, Marco, *Climate risk assessment in museums : degradation risks determined from temperature and relative humidity data*, thèse de doctorat en environnement bâti, Technische Universiteit Eindhoven, 2012, 214 p.

¹⁵¹ Cf Annexe 1 – Graphique 15 « *Consignes climatiques appliquées dans les espaces de conservation* », p.11.

¹⁵² La répartition des politiques climatiques selon le type d'établissement est disponible en Annexe 1 – Graphique 22 « *Répartition des politiques climatiques selon le type d'établissement parmi ceux disposant d'un traitement d'air* », p.14.

techniques. En effet, des plages de température et d'humidité plus larges peuvent permettre de rapprocher le climat intérieur des conditions extérieures, limitant ainsi les écarts à compenser et allégeant la sollicitation des systèmes de traitement d'air. Moins contraints, ces systèmes sont susceptibles de fonctionner de manière plus souple, avec des régulations moins fréquentes, ce qui peut contribuer à réduire les risques de dysfonctionnement et à prolonger leur durée de vie. Cette approche pourrait également favoriser une plus grande stabilité du climat intérieur, en autorisant des variations progressives plutôt que des corrections brutales, potentiellement plus bénéfiques pour les collections. L'exemple du Louisiana Museum of Modern Art¹⁵³, qui a élargi ses consignes dans le cadre d'une stratégie globale d'optimisation énergétique, montre qu'une telle démarche peut conduire à une baisse significative des consommations tout en maintenant un climat stable et compatible avec les exigences de conservation. À moyen terme, de tels ajustements peuvent ainsi contribuer à concilier performance énergétique et préservation des collections.

Toutefois, si ces ajustements techniques peuvent s'avérer efficaces sur le plan énergétique, leur mise en œuvre ne saurait faire abstraction des exigences propres à la conservation. L'élargissement des consignes climatiques, tel que celui promu par le groupe Bizot, avec une température comprise entre 16 °C et 24 °C et une humidité relative entre 40 et 60 %, ne peut être envisagé de manière systématique. En effet, son application dépend étroitement de la nature des matériaux, de leur état de conservation, ainsi que de leur sensibilité aux variations hygrométriques. Par exemple, certains objets, comme les métaux sujets à la corrosion ou les œuvres composites déjà fragilisées, nécessitent des environnements plus stables, aux seuils plus resserrés. À ce titre, plusieurs institutions internationales soulignent l'importance de ne pas appliquer ces consignes de manière uniforme. La norme britannique PAS 198 recommande ainsi une évaluation fondée sur les risques, prenant en compte les caractéristiques du climat local, du bâtiment et des collections¹⁵⁴. Le Doerner Institut, de son côté, défend une approche similaire en appelant à privilégier la stabilité relative des conditions plutôt que des seuils rigides, et en estimant qu'une plage de 16 °C à 25 °C et de 40 % à 60 % d'humidité relative peut être acceptable dans de nombreux cas, si elle repose sur une analyse

¹⁵³ Ki Culture, *Case Study – Louisiana Museum of Modern Art: Climate Control*. KI Futures Climate Control Program, 2024, disponible en ligne : <https://kifutures.com>. (consulté le 03/05/2025).

¹⁵⁴ BICKERSTETH, Julian, « Environmental conditions for safeguarding collections : What should our set points be ? », dans : *Studies in Conservation*, vol. 59, n°4, 2014, p.219.

conservatoire fine¹⁵⁵. Ces prises de position invitent à dépasser les postures trop tranchées en matière de seuils climatiques, et à privilégier des dispositifs adaptatifs, attentifs au comportement réel des matériaux. Cette évolution conceptuelle, bien qu'encore débattue, pourrait constituer une opportunité pour concilier plus finement exigences patrimoniales et sobriété énergétique.

Par ailleurs, comme le rappelle Florence Larcher¹⁵⁶, au-delà de l'élargissement des plages climatiques, il importe de prêter une attention particulière aux combinaisons spécifiques de température et d'humidité relative qui s'y trouvent. En effet, certains couples peuvent, en théorie, s'avérer dommageables pour certains matériaux, même lorsqu'ils restent situés à l'intérieur des seuils élargis. Dans cette perspective, si une stratégie d'assouplissement est envisagée, il pourrait être pertinent d'intégrer une réflexion plus fine sur le poids d'eau présent dans l'air, en veillant à ce que celui-ci demeure aussi stable que possible afin de limiter les sollicitations sur les matériaux hygroscopiques. Ces éléments rappellent que l'élargissement des marges climatiques ne peut être envisagé que comme un ajustement raisonné, fondé sur une connaissance approfondie des œuvres, leur comportement face à l'humidité, ainsi que le poids d'eau optimal à maintenir dans leur environnement immédiat. En tout état de cause, une telle stratégie suppose que les variations climatiques s'opèrent de manière lente et progressive, afin de limiter les risques d'altérations différées ou cumulées. Le groupe Bizot préconise à cet égard de maintenir les fluctuations quotidiennes dans une amplitude maximale de 10 % d'humidité relative et 4 °C, seuils considérés comme acceptables pour limiter les sollicitations physiques sur les matériaux sensibles.

Ainsi, toute démarche d'assouplissement des consignes climatiques doit être finement calibrée en fonction des matériaux et de l'état de conservation des collections. Une attention particulière doit être portée aux variations quotidiennes qui doivent rester aussi progressives et lentes que possible, pour limiter les contraintes sur les objets. Mais au-delà des seuils eux-mêmes, l'usage qui est fait des équipements techniques mérite aussi d'être interrogé, notamment en matière de temporalité de fonctionnement ou de renouvellement d'air.

¹⁵⁵ BURMESTER, Andreas et EIBL, Melanie, *Stable is safe. The Munich Position on Climate and Cultural Heritage*, Munich, Doerner Institut, 2014, disponible en ligne : <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/thenetexperts-pinakothek-cms/06/statement-doerner-bizot-en.pdf> (consulté le 18/05/2025).

¹⁵⁶ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, *op. cit.*, p. 18.

c. Repenser le fonctionnement des systèmes entre débit minimal et arrêt maîtrisé

Dans un premier temps, il semble essentiel de s'intéresser aux débits d'air soufflé dans les espaces de conservation, en particulier à la part d'air neuf. D'après les résultats de l'enquête¹⁵⁷, environ 70 % des établissements insufflent de l'air neuf dans leurs réserves, qu'il soit utilisé seul ou en mélange avec de l'air recyclé. Cette pratique repose principalement sur des considérations sanitaires, mais aussi sur la volonté de limiter l'accumulation de composés volatils émis par certains matériaux constitutifs ou contenant. Pourtant, les réserves n'étant pas, en théorie, des espaces de travail permanents, les exigences en matière de qualité de l'air pour les occupants sont moindres que dans des espaces régulièrement fréquentés¹⁵⁸. Dans ce contexte, une réduction contrôlée du renouvellement d'air neuf permettrait de solliciter moins intensément les moteurs et de réduire les besoins liés au traitement climatique de l'air neuf, ce qui représente un levier non négligeable d'économie d'énergie. Afin de garantir que ce moindre apport d'air reste compatible avec la santé humaine, l'installation de capteurs de CO₂¹⁵⁹ dans les réserves peut constituer un compromis pertinent. Comme le rappelle le *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture*, un renouvellement partiel est acceptable tant que la concentration de CO₂ ne dépasse pas 400 ppm au-dessus de la valeur atmosphérique dans un espace clos¹⁶⁰. Le faible débit d'air neuf toléré pour garantir la sécurité des personnes dans les réserves correspond d'ailleurs pleinement aux besoins des collections, qui nécessitent, dans la majorité des cas, un renouvellement encore plus limité. Dans le cas des magasins d'archives, Alain Soret recommande ainsi un débit de 0,1 volume d'air neuf par heure, tout en précisant que les équipements doivent pouvoir atteindre ponctuellement 0,3 vol/h en cas d'infestation, d'inondation ou de dégagement important de polluants¹⁶¹. Il souligne également que, lorsque les conditions climatiques extérieures sont particulièrement défavorables, il peut être préférable d'interrompre totalement l'entrée d'air neuf pendant quelques heures, voire plusieurs semaines.

¹⁵⁷ Cf. Annexe 1 – Graphique 16 « Air soufflé dans les espaces de conservation », p.11.

¹⁵⁸ Cf. Chapitre II/ Section A) b. Anticiper les usages pour une conservation sobre et adaptée, p.33.

¹⁵⁹ VALEMBOS, Fanny, *Mesurer et réduire les consommations d'énergie en bibliothèque*, op. cit., p.28-29.

¹⁶⁰ Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, op. cit., p.31.

¹⁶¹ SORET, Alain, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, op. cit., p.18.

Dans le prolongement de cette réflexion, se pose la question de l'arrêt périodique de tout ou partie des systèmes de traitement d'air, qui constitue un autre levier potentiel d'économie d'énergie. Outre les recommandations visant à suspendre l'apport d'air neuf en cas de conditions climatiques extérieures trop contraignantes, il semble également envisageable de couper ponctuellement le fonctionnement global ou partiel des systèmes, de manière contrôlée. Pourtant, selon notre enquête, seuls 3 % des établissements déclarent avoir mis en place un tel arrêt périodique¹⁶². Une étude récemment coordonnée par le SIAF avec l'aide du CSTB sur plusieurs bâtiments d'archives, dont les résultats ne sont pas publiés à ce jour, semble cependant indiquer que des coupures trop courtes et trop fréquentes peuvent avoir des effets indésirables sur la qualité de l'air des magasins d'archives, chaque redémarrage de l'installation entraînant en effet un pic de COV. Pour éviter ces variations brutales et répétées, il apparaît préférable d'opter pour des interruptions plus longues et plus espacées, par exemple sur des plages de douze heures, en journée ou durant la nuit. Cela est déjà mis en œuvre avec succès dans plusieurs institutions, comme au National Maritime Museum de Greenwich¹⁶³, où une extinction nocturne du système traitant les réserves, combinée à un suivi du microclimat, a permis de maintenir des conditions stables, tout en réduisant de 70 % la facture énergétique. Parallèlement, une recherche menée aux Pays-Bas sur des magasins d'archives¹⁶⁴ a montré qu'une stratégie d'intermittence bien conçue, reposant sur des arrêts du système pendant les périodes de non-occupation, comme les nuits ou les week-ends, pouvait être efficace sans compromettre la conservation, à condition que l'enveloppe du bâtiment soit performante et que soient évitées des consignes trop strictes à la remise en route du système. En effet, une reprise brutale visant à retrouver rapidement des paramètres très rigides peut générer des cycles de fonctionnement intenses, provoquer des chocs thermiques ou hygrométriques, et annuler en partie les économies visées tout en mettant sous tension les matériaux. Ces résultats convergent

¹⁶² Cf. Annexe 1 – Graphique 14 « *Décision d'arrêter le système de traitement d'air dans les espaces de conservation pour réaliser des économies d'énergie* », p.10.

¹⁶³ BASTIDAS-SPENCE, Maria, « Sustainable Practices Applied to the Environmental Management of Archival Collection Storage Spaces at the Southwest Wing in the National Maritime Museum in London, UK », dans : *Journal of the American Institute for Conservation*, 2023, p. 1-16.

¹⁶⁴ KOMPATSCHER, Karin, KRAMER, Rick, ANKERSMIT, Bart, SCHELLEN, Henk, « Intermittent conditioning of library archives : Microclimate analysis and energy impact », dans : *Building and Environment*, vol. 147, 2019, p.50-66.

vers un modèle d'intermittence raisonnée, particulièrement adapté aux réserves présentant une forte inertie thermique et une stabilité passive favorable.

Ainsi, l'élargissement des plages climatiques et la modulation du fonctionnement des systèmes peuvent apparaître comme des leviers efficaces de réduction des consommations, à condition d'être mis en œuvre avec méthode, afin de ne pas compromettre la conservation des collections. Leur déploiement nécessite néanmoins un suivi attentif, portant à la fois sur les conditions environnementales, l'état des collections et le fonctionnement des équipements.

C) Maîtriser et pérenniser la régulation : suivi, maintenance et innovation

a. Surveiller les effets du climat sur les collections : l'enjeu du suivi sanitaire

Lorsqu'une démarche d'élargissement des plages climatiques ou de modulation du traitement d'air est engagée, et même en dehors de tout projet expérimental, il demeure essentiel d'accorder une attention soutenue à l'état sanitaire des collections. Certaines altérations liées aux variations d'humidité relative peuvent en effet se manifester de manière discrète mais évoluer de façon significative à moyen ou long terme. Les résultats de l'enquête¹⁶⁵ montrent que les conditions climatiques au sein des réserves restent souvent sujettes à des conditions changeantes puisque même si 54 % des répondants estiment que le climat est plutôt adapté, malgré quelques variations, 26 % le jugent peu adapté et 3 % pas du tout adapté, en raison de dépassements fréquents des consignes et de fortes fluctuations. Ainsi, même en l'absence d'expérimentation volontaire, les collections se trouvent parfois exposées à des conditions instables, ce qui renforce la nécessité d'un suivi attentif de leur comportement face à l'environnement. Ce besoin de vigilance s'avère d'autant plus important que certaines expérimentations peuvent entraîner des effets indésirables. Selon une enquête du C2RMF¹⁶⁶, plusieurs établissements (5 %) ayant tenté d'élargir leurs consignes climatiques ont constaté l'apparition de moisissures, soulignant les risques associés à un assouplissement insuffisamment encadré.

¹⁶⁵ Cf. Annexe 1 – Graphique 17 « *Ressenti des professionnels sur l'atteinte des conditions climatiques au sein des espaces de conservation disposant d'un système de traitement d'air* », p.12.

¹⁶⁶ Conservation préventive : sobriété énergétique, dans : C2RMF [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://c2rmf.fr/actualite/conservation-preventive-sobriete-energetique> (consulté le 04/05/2025).

Dans les musées danois engagés dans le programme *Getting Climate Control Under Control*¹⁶⁷, des œuvres témoins ont été sélectionnées afin d'assurer un suivi ciblé des effets des expérimentations climatiques. Ce choix reposait sur la sensibilité des objets à l'humidité, leur état de conservation et leur localisation dans les zones testées. Le suivi mis en place s'est appuyé sur des constats visuels réguliers et sur des prises de vue photographiques réalisées avant, pendant et après les ajustements, généralement assurés par les restaurateurs. Si ces méthodes présentent l'avantage d'être simples à mettre en œuvre et adaptées aux ressources internes, elles reposent entièrement sur l'expertise humaine et la comparaison d'images, sans recours à des instruments d'observation optique ou d'analyse matérielle. Cette absence de mesures plus poussées peut limiter la détection des altérations discrètes ou évolutives, notamment à moyen et long terme. Ces retours d'expérience soulignent l'importance d'une documentation rigoureuse, mais aussi la nécessité de renforcer les outils de suivi si ces démarches venaient à se généraliser.

En complément d'un suivi visuel classique, la National Gallery of Victoria, à Melbourne, a mis en place un protocole d'analyse avancée en partenariat avec le Getty Conservation Institute pour évaluer les effets d'un élargissement des consignes climatiques sur un retable flamand du XVI^e siècle¹⁶⁸. La méthode repose sur la surveillance par émissions acoustiques, capable de détecter en temps réel l'apparition de micro-fissures dans le bois. Six capteurs ont été installés sur des zones sensibles de l'œuvre, selon leur nature, leur accessibilité et leur historique de restauration. Ce dispositif non intrusif, complété par des macrophotographies, a permis de suivre les micro-variations sur deux ans. Les résultats n'ont révélé ni dommages visibles, ni corrélation significative entre les signaux acoustiques et les variations climatiques, les changements de surface restant inférieurs à 0,56 mm² par mois. Sans aller jusqu'à des protocoles aussi sophistiqués, qui supposent souvent des moyens humains, techniques et financiers conséquents, il serait néanmoins pertinent de renforcer les dispositifs de veille sanitaire à une échelle plus fine, notamment en documentant de manière microscopique les changements pouvant affecter les objets témoins. L'implémentation de suivis réguliers à l'aide

¹⁶⁷ *Getting Climate Control Under Control*, dans : *Ki futures* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://kifutures.com/getting-climate-control-under-control/> (consulté le 03/05/2025).

¹⁶⁸ VARCOE-COCKS, Michael, LELYVELD, MaryJo, BREARE, *et al.*, « Implementing an adaptive climate control strategy: collection monitoring and sustainability outcomes », dans : *Studies in Conservation*, Vol. 69, n°1, 2024, p. 352-359.

de microscopes numériques portables ou de prises de vue en macrophotographie de très haute définition sur des zones ciblées pourrait ainsi permettre de détecter des altérations infimes, invisibles à l'œil nu mais révélatrices de phénomènes de dégradation en cours. En effet, ces évolutions, parce qu'elles se produisent lentement et de manière localisée, passent souvent inaperçues, rendant difficile toute prise de conscience de leur progression. Ce type de protocole a notamment été expérimenté au château de Versailles¹⁶⁹ pour le suivi de l'empoussièrement, en permettant de détecter des modifications de surface non perceptibles à l'œil nu.

Une telle approche, intégrée à une documentation rigoureuse, constituerait un outil précieux pour anticiper les effets à long terme de variations climatiques, qu'elles soient volontaires ou non. Enfin, lorsque cela est envisageable, la mise en parallèle de deux objets similaires, conservés dans des environnements climatiques différenciés, l'un stable, l'autre soumis à expérimentation, constituerait un point de comparaison pertinent pour analyser l'influence réelle des conditions climatiques sur l'évolution de leur état de conservation.

L'ensemble de ces éléments souligne l'importance de développer des dispositifs de suivi sensibles et adaptés, capables de documenter de manière concrète l'impact des conditions climatiques sur les objets. Mais au-delà de la surveillance des collections elles-mêmes, le suivi attentif des équipements de régulation s'avère tout aussi crucial, tant pour garantir leur efficacité que pour maîtriser les consommations énergétiques qu'ils génèrent.

b. La maintenance des installations : un levier stratégique à encadrer

La maintenance des installations de traitement d'air joue un rôle clé pour garantir des conditions de conservation stables tout en limitant les consommations énergétiques. En effet, un système bien entretenu fonctionne de manière fiable, dure plus longtemps et évite les dérives de consommation, tandis qu'un entretien insuffisant peut entraîner une régulation instable, une usure prématurée des équipements et une surconsommation. Elle constitue ainsi un maillon essentiel de toute stratégie de conservation préventive.

¹⁶⁹ MARTIN DE FONJAUDRAN, Charlotte, FORLEO, Danilo, ROZÉ, Valériane, « L'empoussièrement des collections : proposition d'une méthode d'analyse d'images pour un suivi et une évaluation des mesures préventives », dans : *Support tracé*, n° 22-23, 2022-2023, p.136-146.

Dans les faits, l'enquête montre que 80 % des établissements interrogés externalisent cette prestation¹⁷⁰, en la confiant à une entreprise ou à un autre service. Ce recours majoritaire à une expertise technique extérieure peut présenter des avantages en termes de compétence, mais suppose également une capacité de suivi interne, sans quoi les enjeux liés à la conservation peuvent s'éloigner des priorités du prestataire. Concernant la fréquence¹⁷¹, 46 % des répondants indiquent une maintenance réalisée de manière continue, selon les besoins, ce qui suggère une certaine souplesse et réactivité. En revanche, 27 % ne savent pas à quelle fréquence elle a lieu, ce qui peut refléter un défaut de communication entre services ou une délégation excessive aux prestataires, sans réel suivi. Les autres établissements évoquent une maintenance annuelle (13 %) ou plus fréquente (mensuelle, trimestrielle ou semestrielle), ce qui confirme que cette opération s'inscrit, a minima, dans le calendrier technique annuel des institutions. Le remplacement des filtres illustre concrètement l'importance d'une maintenance régulière. En effet, ces composants jouent un rôle essentiel en retenant les particules, poussières et polluants susceptibles de s'accumuler dans les espaces de conservation et d'altérer les œuvres. Ils contribuent également à la performance énergétique du système, car lorsqu'ils sont encrassés, la circulation de l'air est freinée, obligeant les ventilateurs à fonctionner à une puissance plus élevée et augmentant ainsi la consommation électrique tout en dégradant la qualité de l'air diffusé. Ce paramètre apparaît d'autant plus important que, selon l'enquête¹⁷², 62 % des établissements déclarent disposer de filtres, 7 % affirment ne pas en avoir, et 31 % ne savent pas répondre. Ce dernier chiffre est révélateur d'un manque de connaissance ou de sensibilisation aux équipements en place, alors même que leur bon état de fonctionnement est essentiel pour préserver à la fois les collections et l'efficacité énergétique.

La forte externalisation des opérations de maintenance rend d'autant plus crucial leur encadrement rigoureux par des documents contractuels adaptés. Florence Larcher insiste sur ce point dans son mémoire, en soulignant que la retranscription des exigences des établissements culturels dans les marchés de maintenance est souvent confuse, voire lacunaire. Elle

¹⁷⁰ Cf. Annexe 1 – Graphique 18 « *Maintenance des installations de traitement d'air dans les espaces de conservation* », p.12.

¹⁷¹ Cf. Annexe 1 – Graphique 19 « *Fréquence de réalisation de la maintenance des systèmes de traitement d'air* », p.13.

¹⁷² Cf. Annexe 1 – Graphique 20 « *Présence de filtre sur les installations traitant l'air des espaces de conservation* », p.13.

recommande que les cahiers des charges précisent les responsabilités contractuelles, les prestations attendues comme la maintenance préventive ou corrective, les délais d'intervention, ainsi que les modalités de contrôle, de reporting et d'archivage des données climatiques¹⁷³. Cet encadrement contractuel prend d'autant plus d'importance que certains mécanismes d'intéressement peuvent générer des effets contre-productifs. En effet, Martin Bugnicourt signale les risques liés à des systèmes de rémunération fondés sur les économies d'énergie lorsqu'ils ne tiennent pas compte des spécificités patrimoniales. Dans une bibliothèque citée dans son mémoire¹⁷⁴, un prestataire, incité à réduire la consommation de gaz, a diminué le fonctionnement des chaudières, transférant la charge de chauffage sur la CTA, exclue de son périmètre d'intéressement. Cette surcharge a entraîné une surconsommation électrique ainsi qu'un inconfort thermique pour les usagers. Si une telle situation se produisait dans un espace de conservation, elle pourrait compromettre directement la stabilité climatique requise pour la préservation des collections. Ce type de situation illustre les dérives possibles de certains contrats dits « verts » et rappelle l'importance d'un suivi adapté aux besoins du bâtiment et aux exigences de conservation.

Au-delà du cadre contractuel, la qualité des échanges entre les équipes techniques et les responsables de la conservation constitue un levier essentiel pour garantir une régulation adaptée. Selon l'enquête¹⁷⁵, 52 % des établissements déclarent entretenir de bonnes, voire d'excellentes relations avec des techniciens globalement impliqués. Mais 22 % jugent la communication moyenne et 19 % l'estiment insuffisante, en soulignant un manque de compréhension des enjeux patrimoniaux. Un exemple issu de l'enquête du SIAF¹⁷⁶ met en lumière les effets de cette variabilité dans un bâtiment d'archives départementales. Lors d'un changement de marché, le prestataire initial, compétent et impliqué, a été remplacé par un prestataire moins engagé, faisant grimper les consommations à 226 kWh/m².an, ce qui plaçait le bâtiment parmi les plus énergivores du panel étudié. Le retour du premier prestataire l'année

¹⁷³ LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, op. cit., p.26-30.

¹⁷⁴ BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, op. cit., p. 66.

¹⁷⁵ Cf. Annexe 1 – Graphique 21 « Ressenti des professionnels sur la qualité des échanges avec les techniciens intervenant sur le système de traitement d'air », p.14.

¹⁷⁶ Cf. Annexe 3 – Graphique 26 « Consommations énergétiques totales réelles des archives départementales en 2022 en kWh/m².an - Cas d'un changement de prestataire de maintenance – Enquête du SIAF (avril à juillet 2024) », p.21.

suivante a permis de les ramener à 137 kWh/m².an, avec un climat intérieur de nouveau stabilisé et plus favorable à la conservation.

Dans ce contexte, où la qualité de la maintenance et l'implication des prestataires conditionnent largement la stabilité climatique et la performance énergétique des bâtiments, certaines innovations récentes offrent de nouvelles perspectives. C'est notamment le cas des outils d'intelligence artificielle, qui suscitent un intérêt croissant pour leur potentiel à renforcer l'anticipation, la régulation et le suivi des conditions environnementales dans les établissements patrimoniaux.

c. Vers une gestion climatique et énergétique augmentée par l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) représente une piste émergente pour améliorer la régulation climatique dans les bâtiments patrimoniaux, en permettant à la fois une meilleure anticipation des dérives environnementales et une optimisation des consommations énergétiques. Si les applications concrètes restent encore ponctuelles et expérimentales, plusieurs études récentes montrent le potentiel de ces technologies dans le contexte muséal ou plus largement dans celui de la conservation préventive.

Certaines recherches ont exploré la capacité des modèles de machine learning à prédire des variations climatiques problématiques dans des bâtiments patrimoniaux. Une étude menée par Christian Boesgaard¹⁷⁷ a testé un algorithme sur deux sites au Danemark, une réserve muséale et une église, afin d'anticiper à 24 heures les dépassements de seuils d'humidité relative, à partir de leurs historiques de données climatiques. Les résultats ont été satisfaisants dans la réserve, où l'enveloppe bien isolée et le système de régulation assurent une stabilité propice à la modélisation. En revanche, les performances étaient moindres dans l'église, plus exposée aux variations extérieures et dépourvue de régulation active. L'étude montre que l'IA est d'autant plus efficace que l'environnement est maîtrisé et les données fiables. Bien que mené hors du contexte des réserves, un autre travail met en lumière l'intérêt de l'IA pour renforcer la stabilité climatique dans les bâtiments patrimoniaux, avec des apports transposables aux

¹⁷⁷ BOESGAARD, Christian, HANSEN, Birgit Vinther, KEJSER, Ulla Bøgvad, *et al.*, « Prediction of the indoor climate in cultural heritage buildings through machine learning: first results from two field tests », dans : *Heritage Science*, vol. 10, n° 176, 2022, p.1–12.

espaces de conservation. En effet, l'étude d'Alessandro Bile¹⁷⁸, conduite au château de Rosenborg à Copenhague, présente un modèle prédictif capable d'anticiper l'évolution de la température intérieure à 24 heures malgré un volume de données limité. Les auteurs montrent que ces modèles simples offrent des prédictions fiables, utiles aux gestionnaires pour réagir avant qu'une dérive ne se produise. Cette approche pourrait s'avérer pertinente dans des environnements patrimoniaux où les possibilités d'automatisation sont contraintes par la nature des bâtiments ou des équipements.

Les perspectives d'économies d'énergie constituent également un axe de recherche important autour de l'intelligence artificielle. L'étude menée par Sirine Maalej¹⁷⁹ explore des modèles capables d'apprendre, à partir de données passées, le comportement d'un système de traitement d'air afin d'en anticiper les réactions. En combinant deux types d'approches complémentaires, les auteurs parviennent à prédire avec précision la température de l'air diffusé et à ajuster le fonctionnement des équipements de manière plus ciblée. Cette capacité d'anticipation marque un changement notable puisqu'il ne s'agit plus de corriger une dérive climatique après coup, mais d'agir en amont, au moment opportun. Si l'étude concerne un bâtiment tertiaire, les apports sont transposables aux établissements culturels, où une régulation plus fine pourrait limiter les ajustements excessifs, souvent énergivores, tout en maintenant des conditions adaptées à la conservation. Enfin, l'IA peut aussi contribuer à fiabiliser les systèmes de suivi climatique en améliorant la continuité et la qualité des données collectées. L'étude d'Hiram Ponce¹⁸⁰ présente un modèle capable de détecter automatiquement les défaillances de capteurs dans des environnements clos, comme des bureaux ou des salles de stockage, et de reconstituer les données manquantes à partir d'autres variables environnementales. Testé sur plusieurs scénarios, le modèle atteint une précision de détection supérieure à 95 %, avec une faible marge d'erreur sur les valeurs reconstruites. Bien que cette étude ne concerne pas directement des bâtiments patrimoniaux, elle ouvre des perspectives intéressantes pour

¹⁷⁸ BILE, Alessandro, TARI, Hamed, GRINDE, Andreas, *et al.*, « Novel model based on artificial neural networks to predict short-term temperature evolution in museum environment », dans: *Sensors*, vol. 22, n° 615, 2022, p.1–16.

¹⁷⁹ MAALEJ, Sirine, LAFHAJ, Zoubeir, YIM, Jean, YIM, Pascal, NOORT, Colin, « Prediction of HVAC System Parameters Using Deep Learning », communication au colloque «12th eSim Building Simulation Conference», Ottawa (juin 2022), dactyl, p. 1–10.

¹⁸⁰ PONCE, Hiram, GUTIÉRREZ, Sebastián, BOTERO-VALENCIA, Juan, *et al.*, "An intelligent climate monitoring system for hygrothermal virtual measurement in closed buildings using Internet-of-things and artificial hydrocarbon networks", dans : *Heliyon*, vol. 10, n° 31716, 2024, p.1–19.

renforcer la robustesse des dispositifs de suivi dans des espaces sensibles comme les réserves, sous réserve d'une adaptation aux contraintes spécifiques de la conservation.

Ces premières expérimentations invitent à envisager l'intelligence artificielle comme un levier d'évolution des stratégies de gestion climatique, en particulier dans une logique d'anticipation et d'optimisation. Toutefois, elles doivent être considérées avec prudence puisque la robustesse des modèles repose sur la qualité des données. De plus, leur intégration technique nécessite des compétences spécifiques et leur appropriation reste encore limitée dans le secteur patrimonial. Il s'agit donc d'un champ d'innovation à suivre, plus que d'une solution immédiatement généralisable. Il convient enfin de rappeler que les outils numériques reposant sur l'intelligence artificielle ne sont pas neutres d'un point de vue énergétique. Si leur apport méthodologique est indéniable, leur usage s'inscrit lui aussi dans une empreinte carbone qu'il importe de considérer avec discernement.

Ainsi, plus qu'une simple question de réglage technique, la maîtrise énergétique des espaces de conservation appelle la construction d'une dynamique collective durable, fondée sur la collaboration entre les acteurs concernés. Elle suppose de réinterroger de manière concertée les exigences climatiques au regard des besoins réels des collections et des contraintes opérationnelles, tout en s'appuyant sur un suivi méthodique, rigoureux et partagé des différents paramètres impliqués. C'est à cette condition que les objectifs de performance énergétique pourront s'articuler pleinement avec les impératifs de conservation préventive.

Conclusion

Les réflexions menées dans ce travail mettent en lumière la place croissante qu'occupent les enjeux énergétiques au sein des établissements culturels. Porté par le décret tertiaire, l'engagement vers la sobriété concerne désormais les espaces de conservation, longtemps perçus comme des zones à part : techniques, sensibles, et relativement préservées des logiques d'optimisation. Mais en touchant à des espaces au cœur des exigences patrimoniales, cette évolution dépasse le seul champ de l'ingénierie et invite à requestionner certains fondements de la conservation préventive. En effet, l'élargissement des consignes, la transformation des usages ou l'introduction de nouveaux équipements conduisent à réinterroger les équilibres établis entre conditions climatiques, performance énergétique et réalité de terrain. Ces ajustements, même progressifs, remettent en jeu les principes conservatoires, qui doivent aujourd'hui être clarifiés, précisés, et replacés au centre des décisions techniques.

Dans ce contexte mouvant, les marges de manœuvre sont pourtant bien réelles. Les établissements disposent aujourd'hui d'un large éventail de solutions, allant de l'optimisation des équipements existants à l'intégration de technologies avancées, afin d'améliorer les installations, affiner le pilotage des systèmes ou réduire la dépendance aux énergies fossiles. Cependant, si ces options offrent de nouvelles perspectives, elles introduisent aussi une complexité croissante dans la gestion technique des espaces de conservation. À l'inverse, certaines démarches s'orientent vers des approches plus frugales, reposant sur des dispositifs passifs et peu consommateurs. Ces alternatives, parfois perçues comme plus accessibles, exigent en réalité une grande précision dans leur conception pour garantir qu'elles répondent aux exigences de conservation tout en atteignant les objectifs de sobriété. Dans l'un comme dans l'autre cas, une lecture fine et contextualisée des besoins s'impose. À ce titre, la transition énergétique peut représenter une opportunité de faire évoluer le métier de préventeur, en l'ouvrant davantage aux questions techniques et aux arbitrages stratégiques. En effet, en tant que professionnel situé au croisement des enjeux patrimoniaux et des contraintes d'exploitation, il pourrait jouer un rôle précieux dans la définition des priorités, l'évaluation des risques et l'accompagnement des expérimentations. À condition d'être associé en amont aux projets et de bénéficier des outils nécessaires pour renforcer sa compréhension des systèmes, il serait alors en mesure de contribuer à des choix plus cohérents, plus durables et mieux adaptés aux réalités des collections.

Parmi les leviers que le préventeur pourrait durablement accompagner, le questionnement des usages et des pratiques se distingue par son caractère plus universel et souvent plus accessible. Moins dépendante des investissements techniques, cette approche permet d'agir de manière souple et réactive, en s'appuyant sur des ajustements ciblés du fonctionnement quotidien. L'élargissement des plages de tolérance climatique, les arrêts périodiques des systèmes ou la rationalisation des surfaces traitées sont autant de pistes déjà explorées dans plusieurs établissements, souvent avec des résultats prometteurs. Mais tout changement impliquant une prise de risque qu'il s'agit de maîtriser, l'enjeu de ces réflexions réside dans le fait d'accepter une part d'incertitude, tout en mettant en place les moyens de la contrôler. Cela suppose une vigilance accrue sur les effets induits, notamment sur les variations climatiques et leur impact sur les matériaux. Dans cette perspective, le développement d'un suivi sanitaire plus régulier, fondé sur des observations objectivables et des indicateurs adaptés, devient une condition essentielle. Un tel dispositif permettrait de détecter des altérations progressives, souvent invisibles à l'œil nu sur le court terme, mais potentiellement significatives sur la durée. Il offrirait également un cadre d'observation rigoureux pour valider les nouveaux fonctionnements envisagés, en apportant des éléments tangibles sur leur compatibilité avec les exigences de conservation.

Enfin, dans cette dynamique, renforcer les coopérations interprofessionnelles apparaît comme un levier à part entière. En effet, les enjeux énergétiques, par leur complexité technique et leur impact direct sur la conservation, dépassent largement les cadres de compétences individuels et appellent des dispositifs d'échange structurés entre métiers, institutions et territoires. La création de groupes de travail transversaux, réunissant professionnels de la conservation, équipes techniques, directions, chercheurs et représentants des tutelles, constituerait une réponse concrète à ce besoin de dialogue et de partage d'expériences. Ces espaces permettraient non seulement de mutualiser les retours du terrain, mais aussi de faire émerger des méthodologies communes, d'outiller les professionnels et de rompre l'isolement dans lequel beaucoup se trouvent encore confrontés face à ces sujets. En phase projet comme en phase d'exploitation, mieux se comprendre, questionner les pratiques, documenter les réussites comme les échecs sont autant d'étapes nécessaires pour bâtir une culture commune du climat dans les espaces de conservation. Car c'est bien collectivement que ces mutations pourront être accompagnées, en articulant les savoirs et en s'appuyant sur des dynamiques partagées, au service des collections comme des engagements environnementaux.

Bibliographie

Thèses et mémoires

1. BUGNICOURT, Martin, *Gérer la température en bibliothèque*, mémoire pour le diplôme de conservateur de bibliothèque dirigé par Reine Bürki, École nationale supérieure des sciences de l'information et des bibliothèques, Villeurbanne, 2025, 107 p.
2. LARCHER, Florence, *Conditionnement d'air dans les musées de France*, mémoire en génie climatique et énergétique dirigé par B. Flament, Institut national des sciences appliquées de Strasbourg, 2016, 50 p.
3. LESKARD, Marta, Kristine, *Validating the techno-economic viability of hemp lime construction for passive and low energy moisture control in museum storage*, thèse de doctorat en philosophie, département d'architecture et d'ingénierie civile, Université de Bath, 2021, 377 p.
4. MARTENS, Marco, *Climate risk assessment in museums : degradation risks determined from temperature and relative humidity data*, thèse de doctorat en environnement bâti, Technische Universiteit Eindhoven, 2012, 214 p.
5. PÉRAT, Laurent, *L'Architecture des bibliothécaires. Fonctions spécifiques d'un corps de métier dans le processus architectural*, mémoire pour le diplôme de conservateur de bibliothèque dirigé par Pascal Robert, École nationale supérieure des sciences de l'information et des bibliothèques, Villeurbanne, 2017, 239 p.

Actes de colloque

1. ICOM France, « Penser le musée de demain. La décroissance en question », retranscription de la journée professionnelle « Penser le musée de demain. La décroissance en question », Médiathèque Jean Falala de Reims (27 septembre 2024), dactyl.
2. MAALEJ, Sirine, LAFHAJ, Zoubeir, YIM, Jean, YIM, Pascal, NOORT, Colin, « Prediction of HVAC System Parameters Using Deep Learning », communication au colloque «12th eSim Building Simulation Conference», Ottawa (juin 2022), dactyl.
3. PEDRO, Luis, TAVARES, Paulo, COELHO, Dulce, « Efficient lighting design for a museum exhibition room », communication au colloque « *Energy for Sustainability* », Coimbra (8 au 10 septembre 2013), dactyl.

Articles

1. BASTIDAS-SPENCE, Maria, « Sustainable Practices Applied to the Environmental Management of Archival Collection Storage Spaces at the Southwest Wing in the National Maritime Museum in London, UK », dans: *Journal of the American Institute for Conservation*, 2023, p.1-16.
2. BICKERSTETH, Julian, « Environmental conditions for safeguarding collections : What should our set points be ? », dans : *Studies in Conservation*, vol. 59, n°4, 2014, p.218-224.
3. BILE, Alessandro, TARI, Hamed, GRINDE, Andreas, *et al.*, « Novel model based on artificial neural networks to predict short-term temperature evolution in museum environment », dans: *Sensors*, vol. 22, n° 615, 2022, p.1-16.
4. BOESGAARD, Christian, HANSEN, Birgit Vinther, KEJSER, Ulla Bøgvad, *et al.*, « Prediction of the indoor climate in cultural heritage buildings through machine learning: first results from two field tests », dans: *Heritage Science*, vol. 10, n° 176, 2022, p.1-12.

5. GIVONI, Baruch, « Comfort climate analysis and building design guidelines », dans: *Energy and Buildings*, Vol.18, 1992, p.11–23.
6. KOMPATSCHER, Karin, KRAMER, Rick, ANKERSMIT, Bart, SCHELLEN, Henk, « Indoor Airflow Distribution in Repository Design : Experimental and Numerical Microclimate Analysis of an Archive », dans: *Buildings*, vol. 11, n°152, 2021, p.1-27.
7. KOMPATSCHER, Karin, KRAMER, Rick, ANKERSMIT, Bart, SCHELLEN, Henk, « Intermittent conditioning of library archives : Microclimate analysis and energy impact », dans: *Building and Environment*, vol. 147, 2019, p.50-66.
8. KRÜGER, Eduardo, Leite, DINIZ, Wivian, « Relationship between indoor thermal comfort conditions and the Time Weighted Preservation Index (TWPI) in three Brazilian archives », dans: *Applied Energy*, Vol.88, N°3, 2011, p.712–723.
9. KUHN, Stéphanie, « L'intégration de la conservation préventive dans les phases de la programmation architecturale », dans : *In Situ*, Vol.19, 2012, disponible en ligne : <http://journals.openedition.org/insitu/9980> (consulté le 23/04/2025).
10. LATOUCHE, Serge, « Muséologie et décroissance », dans : *La Lettre de l'OCIM*, n°196, 2021, p.38-43.
11. MARTIN DE FONJAUDRAN, Charlotte, FORLEO, Danilo, ROZÉ, Valérie, « L'empoussièrement des collections : proposition d'une méthode d'analyse d'images pour un suivi et une évaluation des mesures préventives », dans : *Support tracé*, n° 22-23, 2022-2023, p.136-146.
12. PONCE, Hiram, GUTIÉRREZ, Sebastián, BOTERO-VALENCIA, Juan, *et al.*, "An intelligent climate monitoring system for hygrothermal virtual measurement in closed buildings using Internet-of-things and artificial hydrocarbon networks", dans : *Heliyon*, vol. 10, n° 31716, 2024, p.1–19.
13. VARCOE-COCKS, Michael, LELYVELD, MaryJo, BREARE, *et al.*, « Implementing an adaptive climate control strategy: collection monitoring and sustainability outcomes », dans: *Studies in Conservation*, Vol. 69, n°1, 2024, p. 352-359.

Ouvrages

1. BELTRAME, Tiziana, KREPLAK, Yaël, *Les réserves des musées. Écologies des collections*, Paris, Les presses du réel – Œuvres en sociétés, 2024.
2. DAYNES-DIALLO, Sophie, VASSAL, Hélène (dir.), *Manuel de régie des œuvres. Gérer, conserver et exposer les collections*, Paris, La Documentation Française, 2022.
3. Direction générale des patrimoines et de l'architecture, *Aide-mémoire technique. Projet de centre de conservation et d'étude*, Paris, Ministère de la Culture, 2024.
4. Service du livre et de la lecture, *Concevoir et construire une bibliothèque. Du projet au fonctionnement*, Paris, Ministère de la Culture, 2^e édition, 2016.
5. Service interministériel des Archives de France, *Règles de base pour la construction et l'aménagement d'un bâtiment d'archives*, Paris, Ministère de la Culture, 5^e révision, 2023.
6. SORET, Alain, *et al.*, *Traitement de l'air dans les bâtiments d'archives. Conception et gestion des équipements*, Paris, Ministère de la Culture, 2017.
7. THOMSON, Garry, *The Museum Environment*, 2^e éd., Londres, Butterworth-Heinemann, 1986 [1978].

Documents institutionnels et rapports publics

1. BIZOT Group, *The Bizot Green Protocol*, 2023, disponible en ligne : https://www.cimam.org/documents/238/Bizot_Green_Protocol_-_2023_refresh_-_Sept_2023.pdf (consulté le 17/04/2025).
2. BULAC, *Rapport d'activité 2023*, 2024, disponible en ligne : <https://www.bulac.fr/rapport-dactivite-2023-de-la-bulac> (consulté le 07/05/2025).
3. BURMESTER, Andreas et EIBL, Melanie, *Stable is safe. The Munich Position on Climate and Cultural Heritage*, Munich, Doerner Institut, 2014, disponible en ligne : <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/thenetexperts-pinakothek-cms/06/statement-doerner-bizot-en.pdf> (consulté le 18/05/2025).
4. CEREMA, *L'instrumentation : quels enjeux, quels outils, quelle stratégie ?*, Lyon, 2017, disponible en ligne : <https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2018-11/Cerema%20fiche%205.pdf> (consulté le 02/05/2025).
5. Gouvernement français, *Ce qu'il faut retenir du 6e rapport d'évaluation du GIEC*, Paris, 2023, disponible en ligne : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20250_4pages-GIEC-2.pdf (consulté le 17/04/2025).
6. Gouvernement français, *Feuille de route de décarbonation de la filière bâtiment – Article 301 de la loi « Climat et Résilience »*, Paris, DICOM, 2023, disponible en ligne : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/23064_feuille-de-route-decarbonation-batiment_BATweb.pdf (consulté le 17/04/2025).
7. HOPKINS, Jack, « Cooling Coils: A Comparison of Dehumidification Performance », rapport technique dans *Applied Engineering*, 2020, accessible en ligne : <https://appeng.com/wp-content/uploads/2020/08/Coils.pdf> (consulté le 25/04/2025).
8. ICCROM, UNESCO, *Sondage international ICCROM-UNESCO sur les réserves 2011. Résumé des résultats*, 2011, disponible en ligne : https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/10_21storagesurveyresults_fr.pdf (consulté le 27/04/2025).
9. ICOM Suisse, *Recommandations pour la surveillance climatique dans les musées*, Zurich, Suisse, 2024, disponible en ligne : https://www.icom-musees.fr/sites/default/files/2025-02/recommandations_surveillance-climatique-dans-les-musee_icom_20241212.pdf (consulté le 07/05/2025).
10. Ki Culture, *Case Study – Louisiana Museum of Modern Art: Climate Control*. KI Futures Climate Control Program, 2024, disponible en ligne : <https://kifutures.com>. (consulté le 03/05/2025).
11. Ministère de la Culture, *Etude des leviers juridiques facilitant l'inscription des activités culturelles dans l'économie circulaire*, Paris, 2025, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/transition-ecologique/Centre-de-ressources-Transition-ecologique-de-la-Culture/Outils-de-mesure-guides/etude-des-leviers-juridiques-facilitant-l-inscription-des-activites-culturelles-dans-l-economie-circulaire> (consulté le 07/05/2025).
12. Ministère de la Culture, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la Culture*, Paris, 2024, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/transition-ecologique/guide-d-orientation-et-d-inspiration-pour-la-transition-ecologique-de-la-culture> (consulté le 07/05/2025).

13. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, *Chiffres clés de l'énergie – Édition 2024*, Paris, Service des données et études statistiques (SDES), 2024, disponible en ligne : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2024> (consulté le 17/04/2025).
14. Service des musées de France, *La réserve d'un musée de France, mode d'emploi*, Paris, Ministère de la Culture, 2020, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/thematiques/musees/pour-les-professionnels/construire-un-musee/conduire-un-projet-architectural-museographique/la-reserve-d-un-musee-de-france-mode-d-emploi> (consulté le 07/05/2025).
15. VALEMBOIS, Fanny, *Mesurer et réduire les consommations d'énergie en bibliothèque*, Paris, Le Bureau des Acclimatations, 2025, disponible en ligne : <https://bdza.fr/wp-content/uploads/2025/04/Mesurer-et-reduire-les-consommations-denergie-en-bibliotheque-Fanny-Valembois-14-avril-2025.pdf> (consulté le 27/04/2025).

Sitographie

1. 2023 : the hottest year on record, dans : *Copernicus Climate Change Service* [en ligne], communiqué du 9 janvier 2024, disponible en ligne : <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> (consulté le 06/07/2025).
2. AFNOR FD X30-125 Accompagnement pour la mise en œuvre du dispositif Éco Énergie Tertiaire, dans : *Afnor Editions* [en ligne], 2023, disponible gratuitement en ligne : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/fd-x30125/accompagnement-pour-la-mise-en-uvre-du-dispositif-eco-energie-tertiaire/fa205776/351128> (consulté le 17/04/2025).
3. Article R175-3 du Code de la construction et de l'habitation, dans : *Légifrance* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000047427508 (consulté le 25/04/2025).
4. Biométhane : une source d'énergie renouvelable, dans : *GRDF* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.grdf.fr/gaz-vert/production-gaz-renouvelable/biomethane-energie-renouvelable> (consulté le 24/04/2025).
5. Ça va cartonner (2025-2026), dans : *C2RMF* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://c2rmf.fr/actualite/ca-va-cartonner-2025-2026> (consulté le 17/04/2025).
6. CIAT réalise le traitement de l'air du Louvre-Lens, dans : *Industrie* [en ligne], 2013, disponible en ligne : <https://www.industrieweb.fr/news/2859-ciat-r%C3%A9alise-le-traitement-de-l%E2%80%99air-du-louvre-lens> (consulté le 23/04/2025).
7. Code du travail, dans : *Légifrance* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018488858/ (consulté le 22/04/2025).
8. Conservation préventive : sobriété énergétique, dans : *C2RMF* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://c2rmf.fr/actualite/conservation-preventive-sobriete-energetique> (consulté le 04/05/2025).
9. Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2019, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038812251/> (consulté le 17/04/2025).

10. Décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur, 2020, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2020, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000042128488/> (consulté le 17/04/2025).
11. Décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires, 2023, dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2023, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000047422489/> (consulté le 17/04/2025).
12. Dew Point Calculator, dans : *Dew Point Calculator* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <http://www.dpcalc.org/> (consulté le 03/05/2025).
13. Directive (UE) 2024/1275 du Parlement européen et du Conseil du 24 avril 2024 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), dans : *Journal officiel de l'Union européenne* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32024L1275> (consulté le 17/04/2025).
14. Fonds européen de développement régional, dans : *L'Europe s'engage en France* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/fonds-europeens-2014-2020/fonds-europeen-developpement-regional-feder> (consulté le 22/04/2025).
15. France Relance : construire la France de demain, dans : *info.gouv.fr* [en ligne], dernière révision en 2025, disponible en ligne : <https://www.info.gouv.fr/grand-dossier/france-relance> (consulté le 22/04/2025).
16. France Relance : les travaux ont déjà bien commencé au Palais de la Porte Dorée, dans : *La préfecture et les services de l'Etat en région Île-de-France* [en ligne], dernière révision en 2021, disponible en ligne : <https://www.prefectures-regions.gouv.fr/ile-de-france/Region-et-institutions/L-action-de-l-Etat/Economie-et-finances-publiques/Finances-publiques2/France-Relance-les-travaux-ont-deja-bien-commence-au-Palais-de-la-Porte-Doree> (consulté le 22/04/2025).
17. Getting Climate Control Under Control, dans : *Ki futures* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://kifutures.com/getting-climate-control-under-control/> (consulté le 03/05/2025).
18. Les nouvelles réserves du musée Condé : un projet exemplaire au service du patrimoine durable, dans : *Drac Hauts-de-France* [en ligne], dernière révision en 2024, disponible en ligne : <https://www.culture.gouv.fr/fr/regions/drac-hauts-de-france/politique-et-actions-des-services/pole-patrimoines-et-architecture/musees-des-hauts-de-france/les-nouvelles-reserves-du-musee-conde-un-projet-exemplaire-au-service-du-patrimoine-durable> (consulté le 22/04/2025).
19. LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (1), dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2021, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022470434> (consulté le 17/04/2025).
20. LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1), dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2022, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385> (consulté le 17/04/2025).
21. LOI n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (1), dans : *Légifrance* [en ligne], dernière révision en 2023, disponible en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037639478> (consulté le 17/04/2025).

22. Médiathèque James Baldwin et Maison des Réfugiés, dans : *Paris, mairie du 19^e* [en ligne], dernière révision en 2024, disponible en ligne : <https://mairie19.paris.fr/pages/une-mediatheque-pour-le-19e-premiers-retours-12947> (consulté le 22/04/2025).
23. NF EN 15757 Conservation des biens culturels - Spécifications applicables à la température et à l'humidité relative pour limiter les dommages mécaniques causés par le climat aux matériaux organiques hygroscopiques, dans : *Afnor Editions* [en ligne], 2010, disponible en ligne : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-15757/conservation-des-biens-culturels-specifications-applicables-a-la-temperatur/fa155134/36398> (consulté le : 17/04/2025).
24. NF EN 16247 Audits énergétiques, dans : *Afnor Editions* [en ligne], 2012, disponible en ligne : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-162471/audits-energetiques-partie-1-exigences-generales/fa167938/1270> (consulté le 17/04/2025).
25. Pacte vert pour l'Europe, dans : *Conseil européen. Conseil de l'Union européenne* [en ligne], dernière révision en 2025, disponible en ligne : <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/european-green-deal/#:~:text=le%20pacte%20vert-,Qu'est%2Dce%20que%20le%20pacte%20vert%20pour%20l',climatique%20%C3%A0%20l'horizon%202050> (consulté le 15/04/2025).
26. Plan de relance bibliothèque de l'Arsenal, dans : *Université Toulouse Capitole* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.ut-capitole.fr/accueil/campus/chantiers-de-luniversite/plan-de-relance-bu-arsenal> (consulté le 22/04/2025).
27. Prenons le contrôle du climat !, dans *ICOM France* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://www.icom-musees.fr/actualites/prenons-le-controle-du-climat> (consulté le 17/04/2025).
28. OPERAT, dans : *OPERAT* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://operat.ademe.fr/public/home> (consulté le 26/04/2025).
29. Réglementation environnementale RE2020, dans : *Ministère de la transition écologique de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche* [en ligne], 2020, disponible en ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/reglementation-environnementale-re2020> (consulté le 09/03/2025).
30. Réglementation thermique RT2012, dans : *Ministère de la transition écologique de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche* [en ligne], 2012, disponible en ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/reglementation-thermique-rt2012> (consulté le 26/02/2025).
31. Réserves des musées de Poitiers, dans : *Hugues Fontenas Architectes* [en ligne], 2019, disponible en ligne : <https://www.huguesfontenas.com/projet/reserves-des-musees-de-poitiers/> (consulté le 22/04/2025).
32. SILICAGEL (2024-2026). Vers une gestion plus responsable du climat dans les vitrines, dans *C2RMF* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://c2rmf.fr/actualite/silicagel-2024-2026> (consulté le 17/04/2025).

33. SIX, Manon, « Repenser les acquisitions des musées à l'heure de la transition écologique : quelques pistes de réflexion », dans : *Musée Dévoilé, Musée de Bretagne* [en ligne], 2024, disponible en ligne : <https://musee-devoile.blog/2024/04/15/repenser-les-acquisitions-des-musees-a-lheure-de-la-transition-ecologique-quelques-pistes-de-reflexion/> (consulté le 17 avril 2025).
34. Transition énergétique en Centre-Val de Loire : Rénovation des lycées grâce à REACT-EU, dans : *L'Europe s'engage en France* [en ligne], [s.d.], disponible en ligne : <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/projets/transition-energetique-en-centre-val-loire-renovation-lycees-grace-react-eu> (consulté le 22/04/2025).