



La conservation
préventive
dans les demeures
historiques et les
châteaux-musées

Méthodologies
d'évaluation
et applications

SilvanaEditoriale

La conservation préventive dans les demeures historiques et les châteaux-musées.

**Méthodologies d'évaluation
et applications**

Colloque de l'Établissement public
du château, du musée et du domaine national
de Versailles (EPV),
de l'Association des résidences
royales européennes (ARRE)
et du Centre de recherche
du château de Versailles (CRCV)

en collaboration avec le Comité international pour
les demeures historiques-musées (ICOM-DEM HIST)
au musée national des châteaux de Versailles
et de Trianon

Du 29 novembre au 1^{er} décembre 2017

Actes du colloque

Sous la direction scientifique de

Danilo Forleo

*Chargé de la conservation préventive
et responsable du programme EPICO,
Musée national des châteaux de Versailles
et de Trianon*

Coordination éditoriale

Nadia Francaviglia

*Attachée de recherche pour le programme EPICO,
Centre de recherche du château de Versailles*

Traductions

Clarisse Le Mercier, Camila Mora

Cet ouvrage rassemble les présentations des intervenants du colloque international organisé dans le cadre du programme de recherche EPICO (European Protocol In Preventive Conservation) par :
L'Établissement public du château, du musée et du domaine national de Versailles
Catherine Pégard, *présidente*
Laurent Salomé, *directeur du musée national des châteaux de Versailles et de Trianon*
Thierry Gausseron, *administrateur général*
L'Association des résidences royales européennes
Le Centre de recherche du château de Versailles

Avec la participation de :
Ministère de la Culture
ICOM-DEMIST (Comité international pour les demeures historiques-musées)

Comité scientifique

Lorenzo Appolonia, *président, Groupe italien de l'Institut international pour la conservation- IGIIC*
Florence Bertin, *responsable du service conservation préventive et restauration, Musée des Arts décoratifs - MAD*
Michel Dubus, *coordinateur du groupe ICOM-CC sur la conservation préventive, Centre de recherche et de restauration des musées de France - C2RMF*
Danilo Forleo, *chargé de la conservation préventive et responsable du programme EPICO, musée national des châteaux de Versailles et de Trianon*
Nadia Francaviglia, *attachée de recherche pour le programme EPICO, Centre de recherche du château de Versailles*
Agnieszka Laudy, *adjointe au chef du département de l'Architecture, Musée du palais du roi Jean III, Wilanów*
Bertrand Lavedrine, *directeur, Centre de recherche sur la conservation des collections - CNRS*
Béatrice Sarrazin, *conservateur général, musée national des châteaux de Versailles et de Trianon*
Sarah Staniforth, *ancienne présidente, Institut International pour la Conservation - IIC*

Comité d'organisation

Elena Alliaudi, *coordinatrice, Association des résidences royales européennes*
Hélène Legrand, *assistante coordination, Association des résidences royales européennes*
Matilde-Maria Cassandro-Malphettes, *secrétaire général, Centre de recherche du château de Versailles*
Bernard Ancer, *chargé des affaires générales, Centre de recherche du château de Versailles*
Olivia Lombardi, *assistante de direction, Centre de recherche du château de Versailles*
Serena Gavazzi, *chef du service mécénat, Établissement public du château du musée et du domaine national de Versailles*
Noémie Wansart, *collaboratrice scientifique, musée national des châteaux de Versailles et de Trianon*

Remerciements

Lorenzo Appolonia, Lionel Arzac, Jean-Vincent Bacquart, Wojciech Bagiński, Jérémie Benoît, Marie-Alice Beziaud, Céline Boissiere, Anne Carasso, Élisabeth Caude, Gabrielle Chadie, Thibault Creste, Stefania De Blasi, Elisabetta Brignoli, Hélène Dalifard, Gaël de Guichen, Ariane de Lestrangle, Festese Devarayar, Françoise Feige, Christophe Fouin, Éric Gall, Thomas Garnier, Roberta Genta, Denis Guillemard, Michelle-Agnoko Gunn, l'équipe du Grand Café d'Orléans, Pierre-Xavier Hans, Nicole Jamieson, Thierry Lamouroux, Marie Leimbacher, Nadège Marzanato, Béatrice Messaoudi, Stefan Michalski, Christian Milet, Marya Nawrocka-Teodorczyk, Marco Nervo, Lucie Nicolas-Vullierme, Clotilde Nouailhat, Agnieszka Pawlak, Amaury Percheron, Arnaud Prêtre, Gérard Robaut, Bertrand Rondot, Valériane Rozé, Béatrice Sarrazin, Béatrix Saule, Didier Saulnier, Emma Scheinmaenn, Violaine Solari, Emilie Sonck, Pauline Tronca, Rémi Watiez, Thierry Webley, Sébastien Zimmerman



Avec le mécénat de



Un musée menacé : la gestion des risques climatiques à l'intérieur du château de Heeswijk

Résumé

La gestion du climat intérieur dans le contexte d'une demeure historique est un sujet complexe : les enjeux sont importants, de nombreux éléments ont une grande valeur culturelle ; la collection, l'intérieur et le bâtiment forment souvent un tout ; et le processus pour déterminer la stratégie de contrôle optimale prend du temps. La mise au point de solutions pour réduire les risques climatiques intérieurs ne fait pas partie des tâches quotidiennes de la plupart des gestionnaires de demeures historiques. Des rénovations ou restaurations de grande ampleur n'ont probablement lieu qu'une seule fois de leur vivant.

Le processus de prise de décision, avec ses neuf étapes, aidera même les gestionnaires de sites patrimoniaux sans expérience à structurer la prise de décision et à parvenir à une solution de contrôle climatique réaliste et abordable. Cette intervention expliquera l'ensemble du processus et illustrera les méthodes de travail et les résultats qu'il permet d'obtenir en présentant l'étude de cas du château Heeswijk, qui date du ^{xvi}^e siècle. Ce petit musée, qui abrite une collection majeure, a été entièrement climatisé en 1996. De 2009 à 2013, le musée n'avait pas de capacité de refroidissement (déshumidification) et de 2014 à 2016, l'humidification était instable.

Dans la province du sud des Pays-Bas, le Brabant-Septentrional, se trouve le château de Heeswijk, l'un des plus beaux bâtiments qui méritent une visite. Presque millénaire, le château est chargé d'une histoire enrichie par les lords de Heeswijk-Dinther et les derniers propriétaires, les barons Van den Bogaerde van Terbrugge, lesquels avaient des liens avec la famille royale.

Au ^{xviii}^e siècle, l'Europe était aux prises avec une longue période d'instabilité. De puissantes monarchies contestèrent leurs héritages. La partie sud du Brabant était entre les mains autrichiennes et espagnoles des Habsbourg, tandis que la partie nord était occupée par la république des Provinces-Unies. Au cours de cette période, le château de Heeswijk fut négligé par ses propriétaires. En 1826, le château fit l'objet d'une restauration et redevint la résidence de la famille. Au fil des années, la famille collectionna de nombreux objets. En 1895, dans un testament, il était stipulé que l'arrière-petit-fils du baron n'avait pas le droit d'occuper le château jusqu'à son 80^e anniversaire en 1963. Les héritiers, qui résidaient à l'extérieur du château, mirent en vente la célèbre collection muséale en 1897 et

Bart Ankersmit

Directeur de recherche, RCE,
Cultural Heritage Agency of the
Netherlands (Agence pour le
patrimoine culturel), Pays-Bas
b.ankersmit@cultureelerfgoed.nl

Marc Stappers

Physicien spécialiste des
bâtiments, Cultural Heritage
Agency of the Netherlands
(Agence pour le patrimoine
culturel), Pays-Bas
m.stappers@cultureelerfgoed.nl



a



b



c

Fig. 1
a) Vue aérienne du château de Heeswijk aux Pays-Bas ;
b) Le Salon chinois du château de Heeswijk ;
c) Le Salon blanc du château de Heeswijk.

1903. Près de 75 % de la collection totale fut disséminé dans le monde entier. Tous les objets inventus se trouvent encore aujourd'hui dans le château.

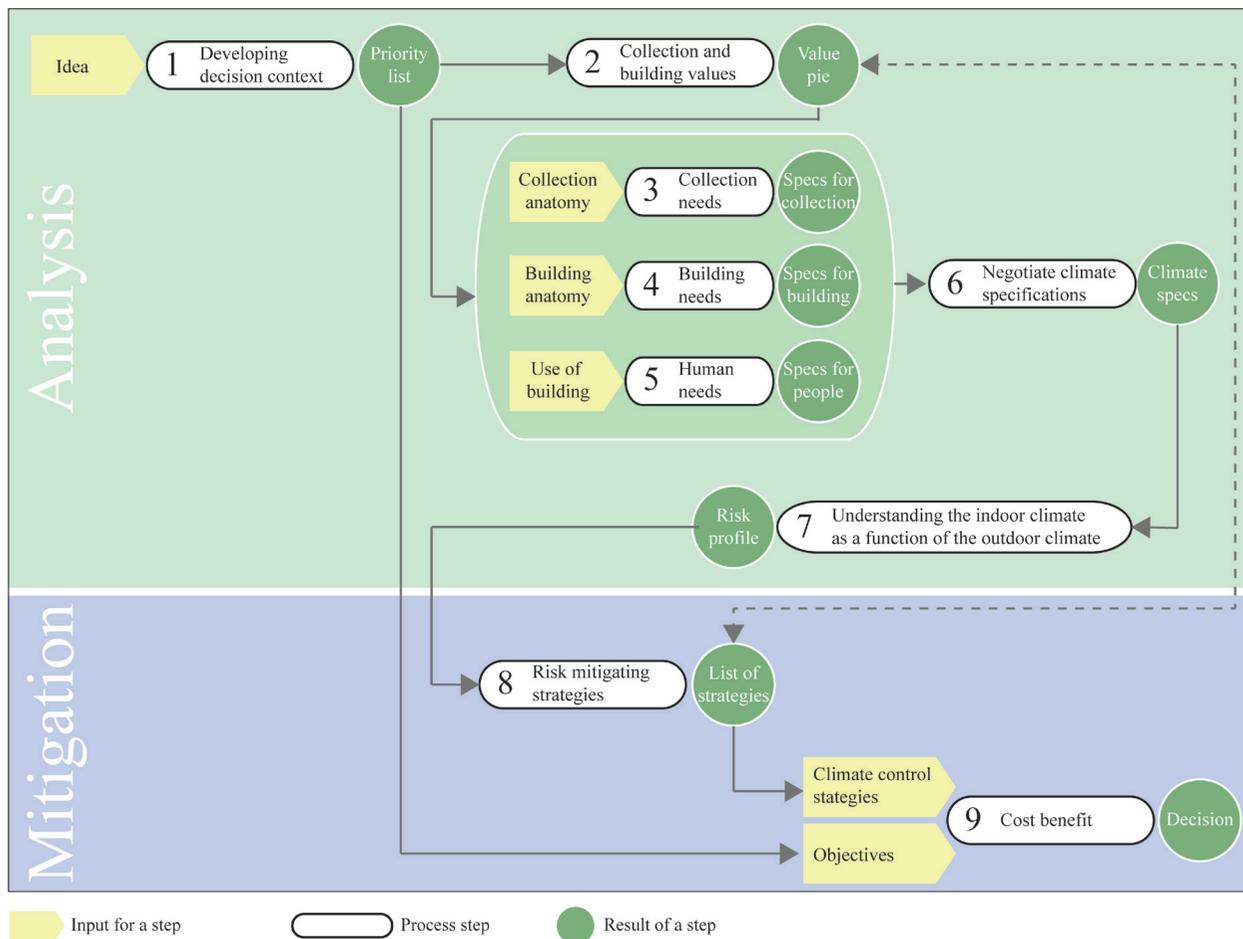
En 1997, la dernière baronne décéda et une fondation prit en charge le château. Les bâtiments et le jardin ont été restaurés et le château est devenu un musée. Un restaurant et un café sont venus intégrer la nouvelle fonction du bâtiment historique. Aujourd'hui, le château reçoit près de 30 000 personnes par an. Outre les visites, le château est loué pour des mariages et autres événements culturels.

Le bâtiment principal du château dispose de plusieurs espaces muséaux. Ils sont considérés comme les salles les plus précieuses du château et contiennent de nombreux biens meubles d'une grande valeur culturelle. La Fig. 1 présente une vue aérienne du château (Fig. 1a) ainsi que deux salles du musée (Fig. 1a et 1b), tandis que sur la Fig. 5 on peut identifier ces salles, qui sont indiquées en couleur sur le plan, au premier et second étages.

Défis et approche

Le directeur du château de Heeswijk a demandé à la Dutch Cultural Heritage Agency d'analyser les difficultés rencontrées par le musée, notamment celles concernant la climatisation, parmi lesquelles :

Fig. 2
Les neuf étapes d'un processus de décision visant à faire face aux risques liés au climat intérieur.



- un déséquilibre entre les recettes et les dépenses, lié aux coûts énergétiques élevés ;
- un sentiment d'inconfort ressenti et indiqué par les utilisateurs ;
- des dommages inacceptables à la collection qui sont supposés découler d'un mauvais climat intérieur.

En suivant les neuf étapes présentées dans la publication *Managing Indoor Climate Risks in Museums* [Ankersmit et Stappers, 2017], la situation a été analysée et des idées ont émergé, afin de relever le défi lancé par le directeur (Fig. 2).

Étape 1 : Vers une décision pondérée. Étude du contexte et du processus décisionnels.

Les objectifs individuels de l'institut du patrimoine et des parties prenantes impliquées sont indiqués et les attributs assignés. Les objectifs ayant une plus grande répercussion sur la décision sont sélectionnés.

Étape 2 : Valorisation des biens patrimoniaux.

L'importance du bâtiment et de la collection est clairement établie. Les valeurs et l'importance qui fournissent le cadre dans lequel s'inscrivent les options visant à modifier le bâtiment et/ou l'environnement des objets sont prises en compte et évaluées.

Étape 3 : Évaluation des risques liés au climat sur la collection.

En s'appuyant sur des catégories de sensibilité et en examinant l'état actuel de la collection, les conditions climatiques requises pour la collection sont définies.

Étape 4 : Besoins relatifs au bâtiment.

Les parties du bâtiment d'une grande valeur et sensibles à certaines conditions climatiques sont identifiées, et les besoins climatiques correspondants spécifiés. Les boiseries et les papiers peints qui décoorent le château ont fait l'objet d'une attention particulière.

Étape 5 : Évaluation des besoins relatifs au confort des personnes.

Les exigences climatiques pour les personnes présentes sont définies par zone climatique.

Étape 6 : Compréhension du climat intérieur.

L'enveloppe du bâtiment, ainsi que la conception et le fonctionnement des systèmes de climatisation, sont évalués.

Étape 7 : Définition des caractéristiques climatiques.

En s'appuyant sur les résultats des étapes 1 à 5, les caractéristiques climatiques des différentes espaces intérieurs du bâtiment sont définies.

Étape 8 : Stratégies d'atténuation.

Différentes stratégies visant à atteindre les conditions climatiques spécifiées dans la phase 7 sont élaborées.

Étape 9 : Comparaison des alternatives.

Une analyse multicritères permet d'évaluer comment chaque stratégie d'atténuation aide à atteindre les objectifs définis dans la phase 1.

Résultats

Étape 1. *Ce qui est important...*

Lors d'une séance de *brainstorming* avec les parties intéressées, les objectifs du musée ont été fixés et débattus en détail. Ici, les difficultés actuelles rencontrées dans le cadre de la gestion de cette propriété jouent un rôle essentiel. Les principaux objectifs liés aux choix finaux concernant le contrôle climatique qui doivent être soupesés sont, dans un ordre aléatoire :

- Préservation de la valeur culturelle : le château est perçu comme un ensemble hérité de l'histoire, riche d'un intérieur qui se compose de biens meubles et immeubles. La valeur totale du château est bien supérieure à la somme de la valeur culturelle des parties individuelles.
- Hausse des revenus et/ou réduction des dépenses. La forte consommation énergétique (gaz et électricité) du musée joue un rôle majeur.
- Accès aux valeurs culturelles d'un large public, non seulement des visiteurs du musée mais également des personnes qui se rendent à des événements spéciaux, source de revenus.

Étape 2. *Valeurs*

À travers la méthode d'évaluation « Assessing museum collections, collection valuation in six steps » mise au point par la Cultural Heritage Agency of the Netherlands [RCE, 2014], il a été établi que les valeurs culturelles les plus importantes du château de Heeswijk et ses intérieurs correspondent aux valeurs artistiques et historiques de cet ensemble hérité de l'histoire. Ensemble, les valeurs culturelles du bâtiment et de la collection sont supérieures à la somme de ses différentes parties. Apporter des modifications à l'une d'elles pourrait s'avérer une plus grande perte pour l'ensemble. Des modifications visant à optimiser le climat entraîneront souvent (voire toujours) une perte relativement importante d'expérience, d'authenticité et/ou de valeur historique.

Les salles du musée, représentées par des couleurs sur la Fig. 5, au sein du château, sont les pièces les plus importantes et renferment les biens meubles les plus remarquables. Ces trésors typiques, qui ne furent pas vendus lors des enchères de 1897 et 1903, sont :

- le Salon chinois décoré, dans son intégralité, d'un papier peint d'origine, de meubles, de rideaux de soie, de lampes en verre vénitien et de plafonds peints (Fig. 1b) ;
- le salon qui contient de grands portraits peints ;
- le Salon blanc dont le sol est recouvert d'asbeste (Fig. 1c) ;
- le Salon aux étains, orné de panneaux en bois et d'une belle collection d'objets en étain ;
- la pièce décorée de tentures en cuir de couleur dorée, où décéda le dernier propriétaire.

Étapes 3 et 4. *Préservation de la collection*

La collection présente des dommages liés au climat. De vieilles photographies ont été comparées avec l'état actuel, afin d'établir la période à laquelle les dommages se sont produits. Il s'est avéré impossible d'établir une chronologie, étant donné que les dommages observés à ce jour étaient déjà présents sur les photos historiques. Le climat, constant au fil des vingt dernières années, n'a pas accru le risque de dommages mécaniques. Cependant, l'état du papier peint dans le Salon chinois constituait une préoccupation. Le papier est fragile et particulièrement sensible aux dommages mécaniques liés aux impacts, chocs et vibrations. Par chance, l'accès à cette pièce est très restreint, en effet seul le personnel y entre pour effectuer l'entretien.

Depuis que le contrôle climatique a été installé au sein du musée en 1996, le personnel n'a cessé de programmer, lire et calibrer les enregistreurs de données. L'humidité relative et la température ont été relevées dans différentes pièces en 2008, 2009, 2010, 2014, 2015 et 2016. Ces données ont malheureusement révélé des écarts. De plus, l'analyse se complique encore, en raison du laps de temps qui varie entre les points de données de 1 à 2 heures. Néanmoins, les données disponibles ont fait l'objet de différents jeux de données. La Fig. 2 présente plusieurs jeux de données.

Pour évaluer le risque des matériaux chimiquement instables, les données relatives au climat peuvent être représentées par un diagramme psychrométrique, à l'aide de lignes de cycles de vie équivalents (les lignes de couleur dans le graphique de la p. 144, situé en bas, à gauche – Fig. 3). Au cours de l'été, les températures atteignant jusqu'à 25 °C à 27 °C, la durée de vie des matériaux chimiquement instables est réduite par un facteur 2, comme indiqué par la ligne orange. Tandis qu'en hiver, la durée de vie double (15 °C < T < 17,5 °C). Le risque de moisissure a été évalué en traçant graphiquement les données relatives au climat dans le système isoplèthe, pour mesurer la probabilité de germination sur un support où des spores peuvent se développer facilement, ressemblant aux matériaux de construction utilisés. Les différentes données étaient bien en dessous de la limite inférieure de germination (LIM). Le risque de dommages mécaniques a été évalué à travers le modèle développé pour les sculptures en bois (Fig. 3, p. 144, en haut, à gauche). Les lignes entre le risque de dommage mécanique correspondent à zéro. En dehors des lignes, une déformation permanente peut se produire. La ligne rouge inférieure est la ligne en dessous de laquelle le dommage, tel qu'une fissuration, peut se produire.

Bien que différents objets en bois sont fendillés et présentent d'autres déformations, à partir de l'évaluation du risque climatique et l'étude des objets, il y a lieu de conclure que la collection n'est pas actuellement menacée par une détérioration mécanique et biologique. Le risque de dégradation chimique varie toute l'année. Alors qu'en hiver le cycle de vie des matériaux chimiquement instables est double, cet avantage est relativisé par des températures plus élevées en été, lorsque le cycle de vie est réduit.

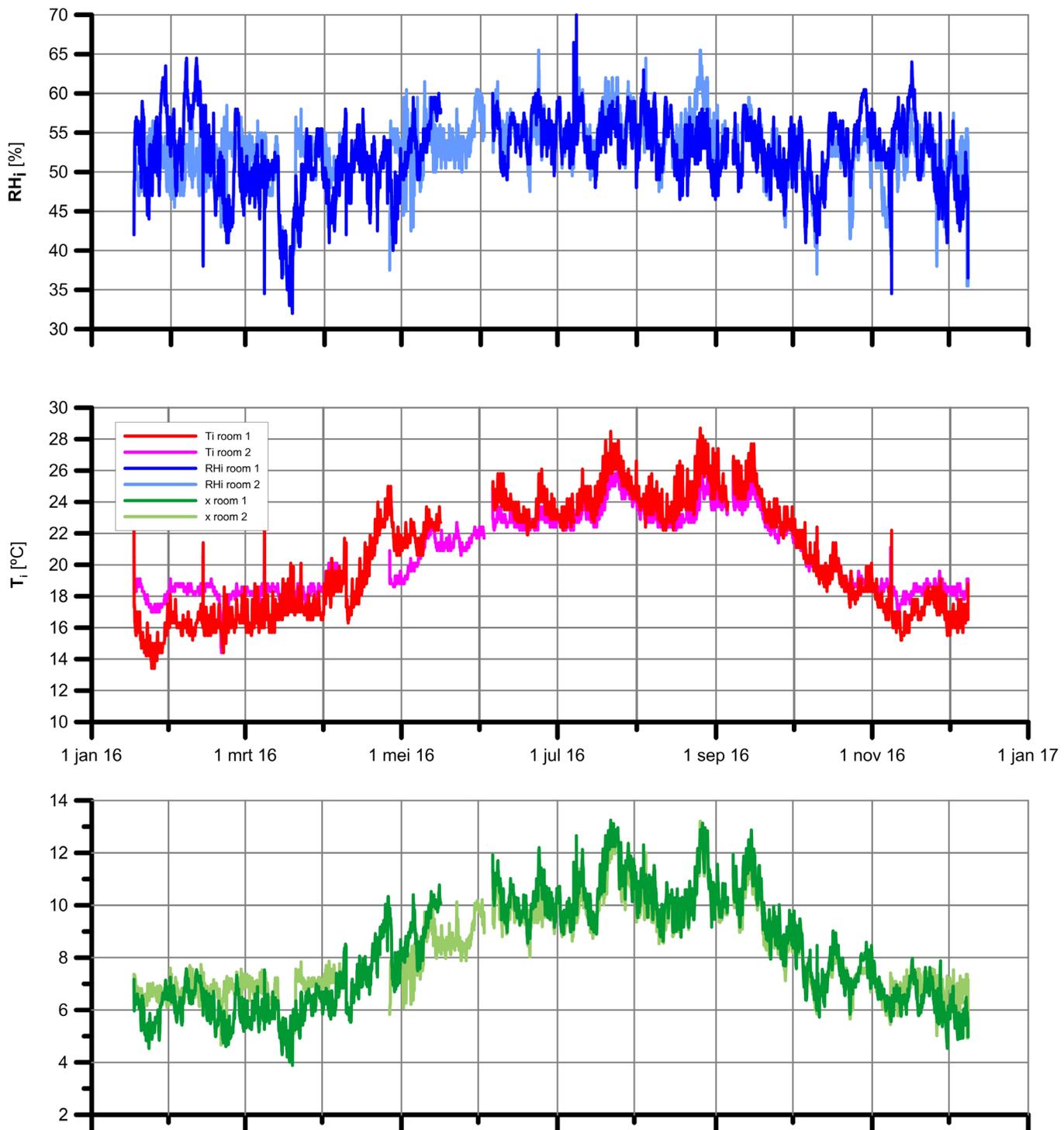
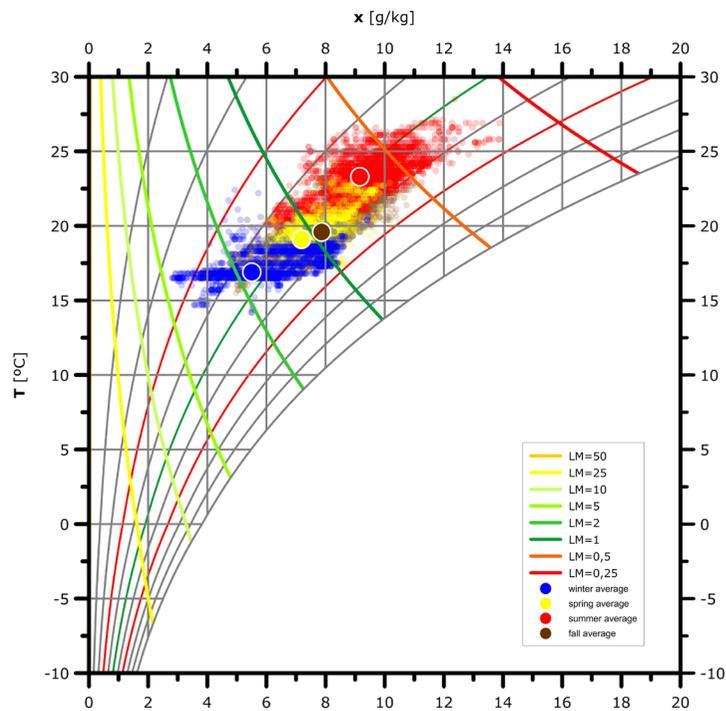
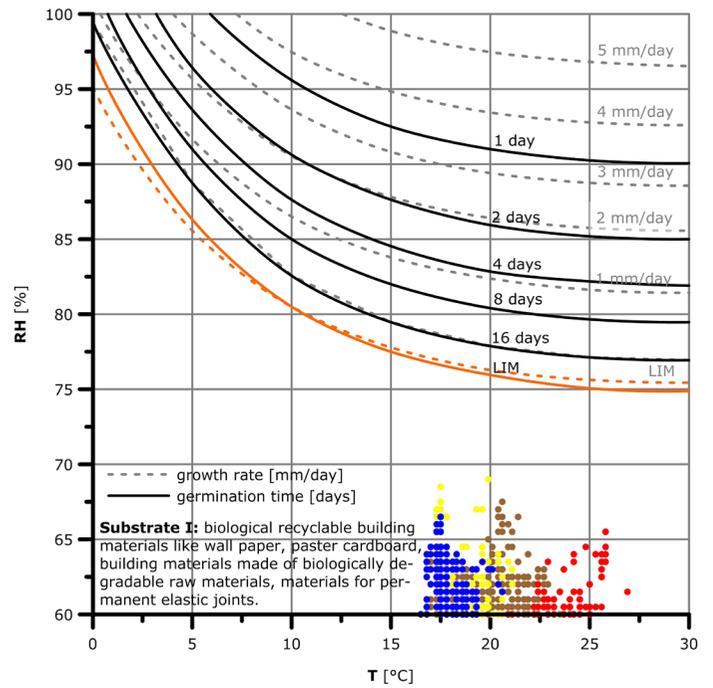
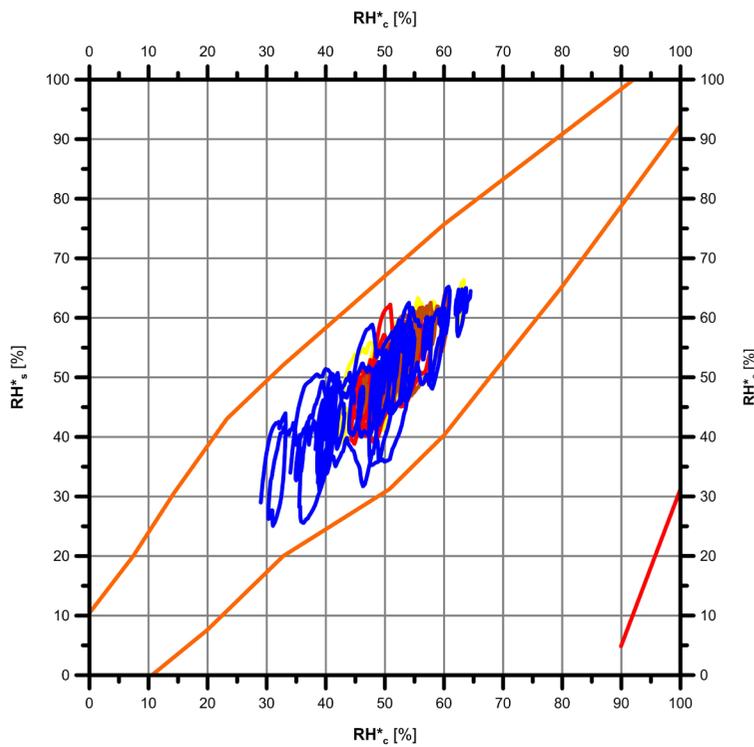


Fig. 3
Graphiques relatifs à l'analyse du risque climatique dans deux salles en 2016. Le graphique ci-dessus indique la température et l'humidité relative et spécifique en 2016 dans le Salon des

étains (room 1) et le Salon blanc (room 2). Les trois graphiques à droite montrent les risques climatiques pour la détérioration chimique (en bas, à gauche), la moisissure (en haut, à droite) et la détérioration mécanique

(en haut, à gauche), en se basant sur les mesures prises dans le salon entre 2009 et 2016. Pour cette analyse, on a utilisé le modèle de risques climatiques développé par M. Martens [2012].



Étape 5. Confort du personnel et des visiteurs

Depuis son ouverture en 2003, le musée attire un nombre croissant de visiteurs, passant de 19 000, en 2013 et 2014, à 27 000, en 2017. Selon le personnel, le confort de la collection est toujours perçu comme plus important que le confort des visiteurs, mais la question de savoir dans quelle mesure ils sont à l'aise n'a jamais vraiment été traitée. À travers le modèle développé par van der Linden [2006], il est possible de tracer les températures intérieures relevées en fonction des températures extérieures disponibles [KNMI, l'institut de météorologie national], en indiquant des niveaux de confort. Les lignes de couleur indiquent le pourcentage de personnes en situation de confort. Les lignes vertes montrent, par exemple, le confort de 90 % des personnes en situation de bien-être, lorsque la température intérieure et extérieure tombe entre deux lignes. Les données climatiques relevées dans le salon sont présentées dans la Fig. 4.

Il est aisé de voir que l'hiver et l'été sont trop froids pour la plupart des personnes

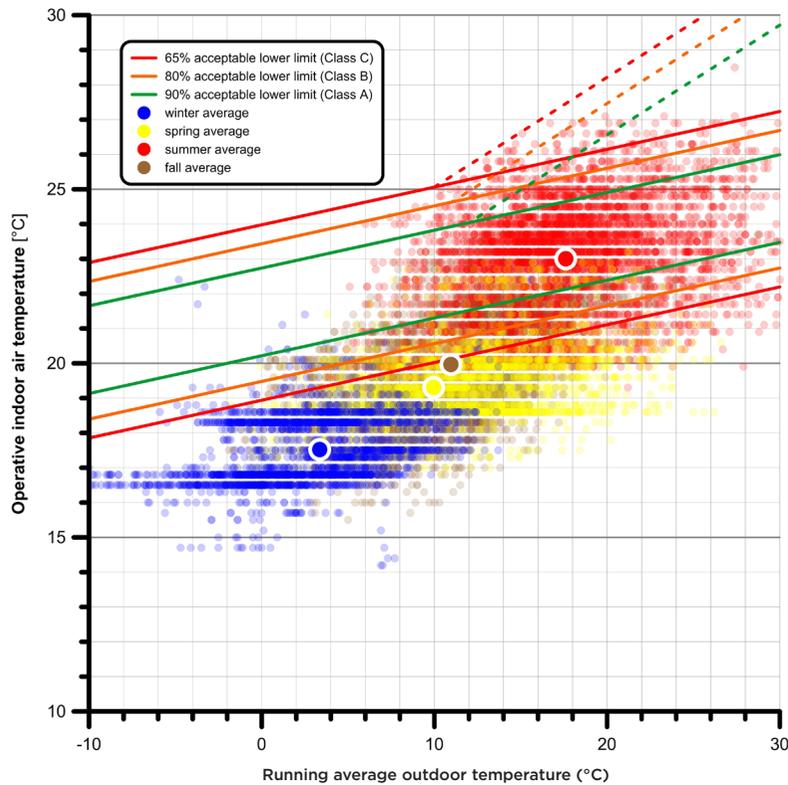


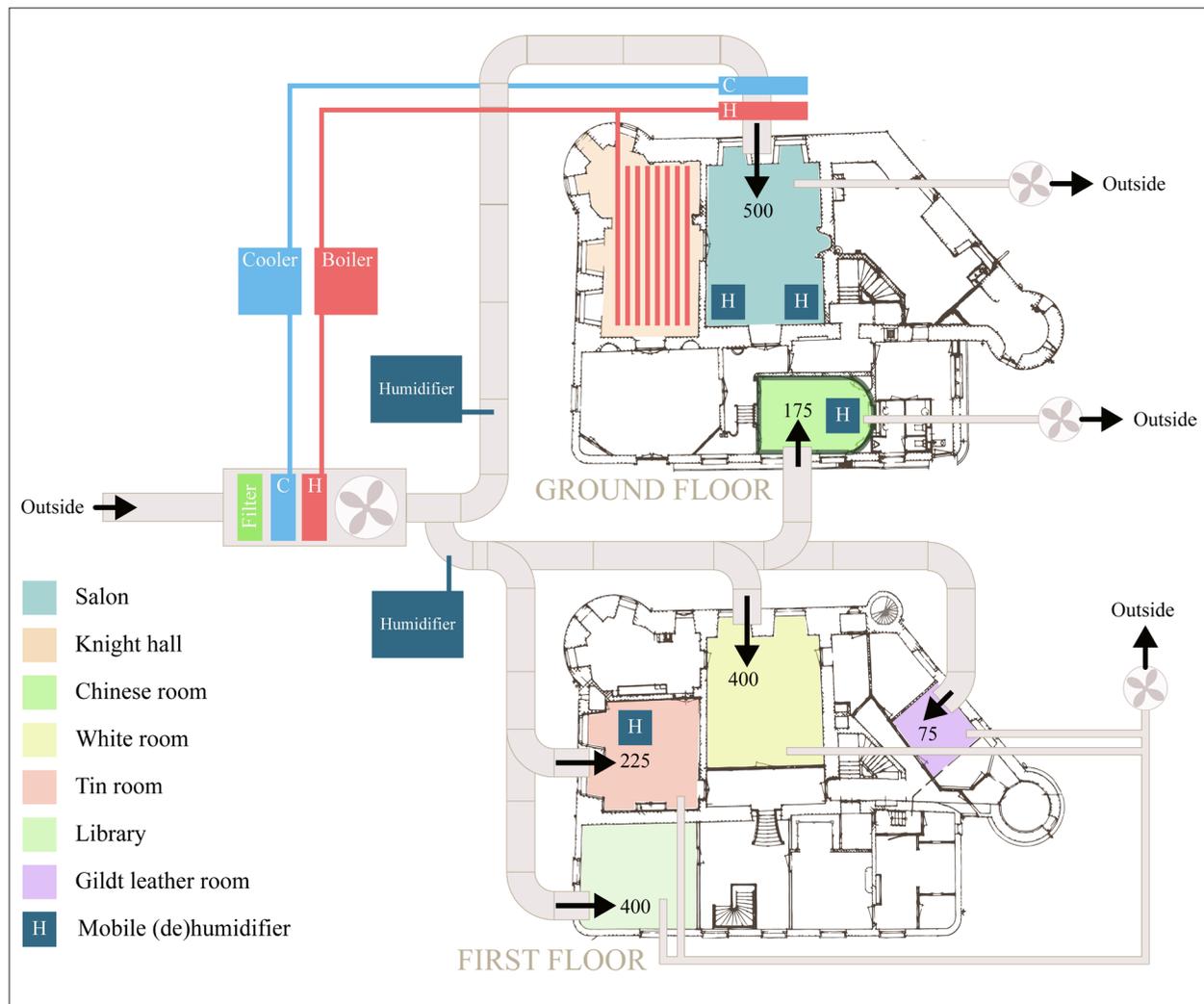
Fig. 4
Températures intérieures relevées en 2009, 2010, 2013, 2014, 2015 et 2016 dans le salon en fonction des températures extérieures. Les limites en matière de confort pour un bâtiment « Alpha », au sein duquel l'utilisateur exerce un contrôle limité sur la température intérieure, en ouvrant par exemple les fenêtres, sont présentées à travers un modèle thermique adaptatif, extrait de Van der Linden *et al.* [2006].

tandis que le printemps et l'automne fournissent parfois des températures intérieures dans le seuil d'acceptation de 80 %. Comme indiqué par les défis, le personnel se préoccupe du confort des visiteurs tout en soulignant que la préservation de la collection est plus importante. Il convient de trouver un équilibre entre le confort des personnes et le risque de dégradation chimique. Quelles pièces permettent des températures légèrement plus élevées en hiver et/ou en été, avec une réduction moindre des cycles de vie des matériaux chimiquement instables qui en découle ? La stabilité chimique des peintures et des meubles dans le salon, par exemple, permettrait une telle adaptation. En revanche, elle pourrait constituer un risque inacceptable pour les livres et les gravures de la bibliothèque.

Étape 6. Compréhension du climat intérieur

Le château de Heeswijk est un bâtiment monolithe. Ses murs épais en brique offrent une masse thermique élevée. Ce qui permettrait de réduire les écarts importants de température. D'autre part, de grands systèmes de vitrages simples encadrés de bois accumulent l'énergie thermique en été et transmettent la chaleur à l'extérieur en hiver, augmentant les gradients de température. Bien qu'en général, la plupart des bâtiments historiques soient peu étanches, les taux de renouvellement de l'air sont élevés, ce qui rend difficile le maintien d'air intérieur à une certaine température et humidité relative.

Fig. 5
Contrôle du climat au sein du château de Heeswijk en 2017. Les salles du musée sont indiquées par une couleur. L'air extérieur est mis à une température prédéfinie par un système de refroidissement et entraîne la déshumidification et une capacité de chauffage. L'air est ainsi réparti en deux flux, humidifiés par un humidificateur à vapeur. Le premier flux d'air est à nouveau refroidi ou chauffé, puis évacué dans le salon (500 m³/h). Le second flux permet d'alimenter différentes pièces en air tempéré, le Salon chinois au rez-de-chaussée (175 m³/h) et quatre pièces au second étage. Trois ventilateurs insufflent cet air aux pièces qui bénéficient d'air conditionné. Il n'y a pas de recirculation d'air. Les salles du musée du premier et second étages sont indiquées en couleurs sur le plan.



Le gaz et l'électricité ont été installés dans le bâtiment principal au début des années 1990. Peu après, en 1996, un petit système de contrôle climatique a permis de réguler à la fois l'humidité relative et la température dans une partie du château. En 1999, les pièces du musée qui se situent dans la partie ancienne du bâtiment principal ont été équipées d'air conditionné. En 2009, pour la première fois, le système de climatisation ne fonctionnait pas, le refroidissement étant défaillant. Cette situation dura jusqu'en 2013 lorsque l'une des deux unités a été remplacée. Depuis lors, le refroidissement, et par là, la déshumidification, ont fonctionné à 50 % de leur capacité initiale. En 2011, le logiciel de contrôle a été mis à jour. Le second dysfonctionnement du système de climatisation s'est produit en 2014. L'humidification est devenue très aléatoire. Cette situation dura deux ans. Deux humidificateurs à vapeur ont alors été installés (Fig. 5). Pour stabiliser davantage l'humidité relative, des (dés)humidificateurs ont été placés dans différentes pièces du château. Sur le plan climatique, le Salon chinois a été séparé du reste par un panneau vitré dans le cadre de la porte.

	2008		2009		2010		2013		2014		2015		2016	
	T	HR	T	HR	T	HR	T	HR	T	HR	T	HR	T	HR
Salon			19,7 (2,7)	50,9 (7,1)	20,8 (2,9)	50,4 (6,0)	19,5 (2,6)	58,0 (3,1)	20,8 (2,1)	55,7 (4,3)	20,2 (1,8)	54,8 (4,9)	20,7 (2,1)	55,7 (6,0)
Salon chinois	20,4 (2,4)	50,4 (4,8)	20,2 (3,8)	50,0 (6,2)	18,9 (2,8)	51,3 (5,6)	18,9 (2,8)	51,3 (5,6)	20,7 (2,1)	53,8 (2,7)	20,2 (2,2)	50,8 (4,7)	20,8 (2,4)	51,7 (4,7)
Pas de refroidissement / Pas de déshumidification									Humidification aléatoire					

Cette pièce devrait enregistrer le plus faible taux d'infiltration. La Fig. 5 représente schématiquement la situation en 2017.

En général, le climat fait apparaître des fluctuations à la fois saisonnières et courtes, tant de la température que de l'humidité relative (se reporter à la Fig. 2). Les pièces du rez-de-chaussée sont chauffées en hiver tandis que celles qui se trouvent au premier étage ne le sont pas et restent relativement fraîches.

En comparant par exemple le climat intérieur en 2009 et en 2016 dans le salon, on peut remarquer qu'en 2009 il y avait une fluctuation saisonnière de l'humidité relative d'environ 15 % tandis qu'en 2016 l'humidité relative oscillait entre 50 % et 65 % tout au long de l'année. Cela est très probablement dû au dysfonctionnement du refroidissement à cette époque. Le Tab. 1 résume le climat des deux pièces les plus contrôlées, le salon et le Salon chinois.

Il ressort des données ci-dessus que la distribution de température dans les deux pièces est assez similaire, l'humidité relative dans le salon est légèrement supérieure, avec des écarts un peu plus importants, par rapport à celle enregistrée dans le Salon chinois. Le climat dans les autres pièces montre des variations semblables. Somme toute, on peut conclure que la stratégie adoptée (toutes les heures près de 1 775 m³ d'air sont véhiculés dans les pièces du musée) n'offre pas une humidité relative ou une température strictement contrôlée, et que les plus grandes fluctuations soudaines auxquelles sont exposés les objets du musée sont générées par le système de climatisation. Il n'y a pas d'effet marqué d'un dysfonctionnement du refroidissement (2009-2013) sur le climat intérieur, à l'exception d'une humidité relative plus élevée qui est notable, dans le salon, en 2013. De la même façon, l'humidification aléatoire ne manifeste pas, par exemple, un plus grand écart type des données concernant l'humidité relative.

Le pompage, le chauffage et le refroidissement d'air consomment de l'énergie. Le gaz sert à chauffer. L'électricité sert principalement au fonctionnement des ventilateurs qui transportent l'air. Le refroidissement et l'humidification à vapeur requièrent également de l'électricité. Lors de l'évaluation de l'utilisation du gaz au cours des sept dernières années, on a constaté, qu'indépendamment du mois, celle-ci a plus que doublé,

Tab. 1

La température et l'humidité relative moyennes annuelles dans le salon et le Salon chinois. L'écart type est indiqué entre parenthèses.

accroissant ainsi les coûts. L'analyse de la consommation d'électricité est problématique car des données incomplètes ne sont disponibles que de 2011 à 2016. Et il est difficile de déterminer la contribution des composants de la climatisation à l'ensemble des données. On peut observer une tendance générale de ces données : une baisse de la consommation d'électricité d'environ 20 à 30 % pour la plupart des éléments de construction entre 2011 et 2014 alors qu'en 2015 et 2016, il se produit une nouvelle augmentation, équivalente à celle de 2011. Cette réduction s'explique probablement par l'absence de la capacité de refroidissement, et l'augmentation après l'année 2014 par l'installation des deux humidificateurs à vapeur (Fig. 6).

Il semble que la stratégie du contrôle climatique a un effet très limité sur le climat intérieur mais consomme une quantité importante d'énergie. Une première tentative pourrait être la réduction du taux de renouvellement de l'air à travers la rénovation ou le calfeutrage des fenêtres. Il est peut-être possible d'améliorer les sols/parquets sur le plan thermique. Malheureusement, en améliorant la performance du bâtiment, les valeurs esthétiques et culturelles de ce dernier seront modifiées ou réduites. Il existe une seconde option qui consiste à étudier l'effet des composants individuels du système de contrôle climatique sur le climat intérieur, en vue de développer différentes façons d'optimiser la situation. Une stratégie pourrait consister à tenter de limiter la dépendance du climat intérieur à l'égard de la technologie. On pourrait imaginer que le système fonctionne à une fréquence inférieure ou soit éteint pendant la nuit. Actuellement, la plupart des portes restent ouvertes de manière à produire un volume interne important, permettant à l'air de circuler et de se mélanger librement au sein du bâtiment. L'impact sur le climat de l'ouverture ou de la fermeture de certaines portes, dans cet espace, peut être étudié, dans le but de réduire la ventilation par zone.

Conclusions

Afin d'analyser les problèmes qui touchent le château de Heeswijk, les étapes 1 à 6 ont été suivies. Les trois dernières étapes, à savoir les étapes 7 (spécifications climatiques), 8 (options d'atténuation) et 9 (rapport coût/bénéfice) n'ont pas été abordées, étant donné qu'elles n'entraient pas dans le cadre de cette étude.

De nouvelles spécifications climatiques qui s'adaptent au bâtiment, l'organisation et les façons de les respecter peuvent être développées en s'appuyant sur les résultats de cette étude. Les objets sont-ils menacés dans ce climat ?

Au cours des dernières années, le climat au sein des différentes salles du musée n'a jamais correspondu au climat muséal (strict), prévu à l'origine par ceux alors impliqués dans le processus de décision. Bien que les besoins initiaux n'aient pas été atteints, on estime que les spécifications liées à l'humidité relative et à la température auront beaucoup de similitudes avec celles relevées dans les musées rénovés à cette époque : 48 %-53 % [Jütte, 1994]. À travers le concept de *fluctuation de l'humidité relative vérifiée*, il est possible de déterminer les futures conditions du climat intérieur en analysant le climat historique. Il suffit

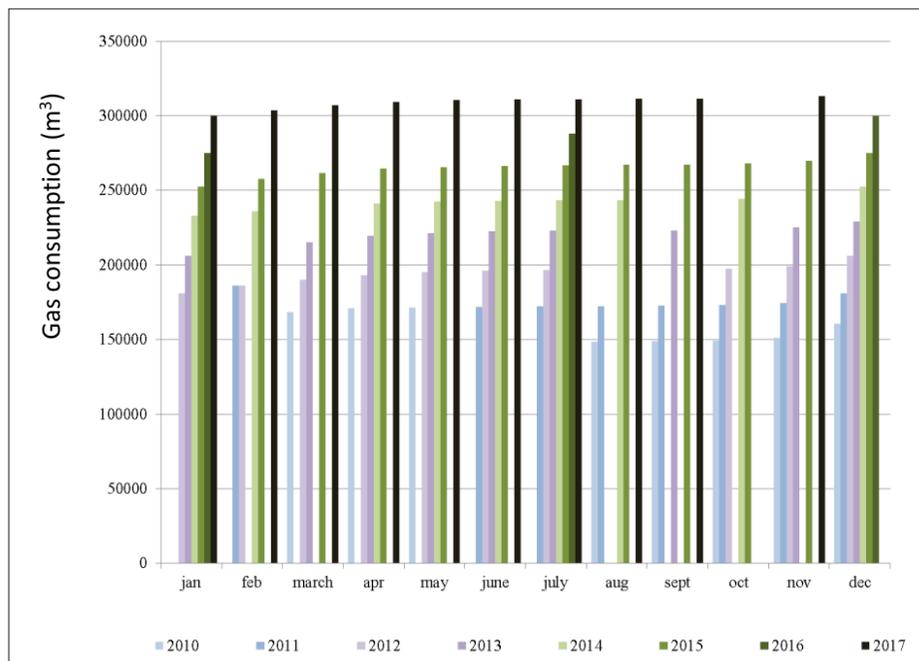


Fig. 6
Consommation mensuelle
de gaz du château de
Heeswijk, de 2010 à 2017.

de calculer la médiane (50^e percentile) et l'écart type de l'ensemble des données relatives à l'humidité relative. La variation future acceptable (maximum) est définie comme l'écart type de toutes les données historiques concernant l'humidité relative [CEN 2010].

La largeur de bande admissible augmenterait de façon significative, sans accroître le risque de dommage mécanique sur les biens meubles. Si une humidité relative (et une température) inférieure était exclue en hiver, cela réduirait considérablement le risque de condensation sur et/ou à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment. À travers les données relatives au climat historique indiquées dans le Tab. 1 pour le salon et le Salon chinois, on peut distinguer l'année qui enregistre l'écart type le plus important. L'année 2009 a enregistré les plus grands écarts types pour les deux pièces : 51 % ± 7 % (salon) et 50 % ± 6 % (Salon chinois). Si ces spécifications servaient à mettre au point une stratégie alternative du climat, elles deviendraient des objectifs de rendement et devraient être réécrites comme suit : 44 % - 58 % et 44 % - 56 %, permettant au climat d'osciller librement entre ces conditions limites. Sachant que ces deux descriptions différentes ont un impact considérable sur la consommation d'énergie. Dans son étude doctorale, Kramer a montré que la catégorie AA sous forme d'échelle (45 - 55 %) économisait 50 % d'énergie par rapport au cas d'une valeur de consigne (50 ± 5 % HR) [Kramer *et al.*, 2016].

La seconde question est de savoir si le système climatique peut être optimisé en fonction d'un double objectif en vue : un meilleur contrôle du climat intérieur et une réduction de la consommation d'énergie.

En particulier, le dysfonctionnement du système de refroidissement en 2009, d'humidification en 2014, ainsi que l'idée que le climat n'avait pas changé de façon radicale (se reporter au Tab. 1), les observations du

personnel du musée ayant corroboré que le climat intérieur n'avait pas considérablement changé, indique que l'impact global de la climatisation sur le climat intérieur est certainement limité. Il convient de se livrer à une étude approfondie afin d'évaluer l'efficacité du système climatique à travers la fermeture temporaire (de parties) du système et/ou le changement d'utilisation des (dés)humidificateurs mobiles. Ces adaptations permettraient de réduire la dépendance vis-à-vis des machines et, par conséquent, la consommation d'énergie, ainsi que les coûts énergétiques et les frais de maintenance. L'effet des composants de la stratégie climatique, comme le refroidissement, le chauffage, etc. devrait être mieux compris. On pense que les appareils mobiles ont un impact très limité sur l'humidité relative au sein d'espaces ouverts. L'effet de la fermeture des portes, en examinant les taux de renouvellement de l'air, est une option, notamment si l'utilisation d'appareils mobiles s'avère plus efficace. Afin de comprendre l'effet d'une intervention sur le climat intérieur, des mesures adéquates doivent être prises. Dans le cas du château de Heeswijk, il est recommandé de commencer par un plan de mesure approprié. Il n'est pas nécessaire d'avoir un personnel ou budget supplémentaire pour produire des données qui ont des intervalles de temps similaires et commencent en même temps, mais l'analyse de telles données est considérablement moins longue¹.

Note

[1] Cette étude a compté sur la collaboration d'Antje Verstraten, Renate Oosterloo et Vera Tolstoj, trois étudiants en Conservation des demeures historiques à l'Université d'Amsterdam. Nous remercions le personnel du château, Luc van Eekhout, Elly Verkuijlen et Hein van de Greef pour leur accueil et leur aide précieuse. L'accès à leurs informations a été essentiel. Nous remercions également le bénévole Ad van de Akker qui a conçu le système climatique et nous a expliqué sa structure.

Références bibliographiques

ANKERSMIT B. et STAPPERS M. H. L., 2017. In : LUXFORD N. (dir.), *Managing Indoor Climate Risks in Museums*, Springer.
ANKERSMIT B. et STAPPERS M. H. L., 2018. « Guideline in jeopardy : observations on the application of the ASHRAE chapter on climate control in museums ». In : *Preprints of the IIC conference in Turin 2018*. Accepted for publication.
CEN, 2010. *Conservation of cultural property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced damage in organic hygroscopic materials*. European Standard

EN 15757:2010.

JÛTTE B. A. H. G., 1994. *Passieve conservering; klimaat en licht*. Amsterdam : Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap.

KNMI, température extérieure consultable sur : <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>.

KRAMER R. P., SCHELLEN H. L. et VAN SCHIJNDEL A. W. M., 2016. « Impact of ASHRAE's museum climate classes on energy consumption and indoor climate fluctuations : Full-scale measurements in museum Hermitage Amsterdam ». *Energy & Buildings* 130, p. 286-294.

MARTENS M. H. J., 2012. *Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data*, dissertation, Technical University Eindhoven. Consultable sur le site : <https://pure.tue.nl/ws/files/3542048/729797.pdf>.
RCE, 2014. In : VERSLOOT A. (dir), *Assessing museum collections, collection valuation in six steps*. Amersfoort : Cultural Heritage Agency.

VAN DEN LINDEN A. C. *et al.*, 2006. « Adaptive temperature limits : A new guideline in The Netherlands ». *Energy and Buildings* 38 (1), p. 8-17.



Silvana Editoriale

Direction éditoriale
Dario Cimorelli

Directeur artistique
Giacomo Merli

Coordination d'édition
Sergio Di Stefano

Rédaction
Carole Aghion

Mise en page
Letizia Abbate

Organisation
Antonio Micelli

Secrétaire de rédaction
Ondina Granato

Iconographie
Alessandra Olivari, Silvia Sala

Bureau de presse
Lidia Masolini, press@silvanaeditoriale.it

Droits de reproduction et de traduction
réservés pour tous les pays
© 2019 Silvana Editoriale S.p.A.,
Cinisello Balsamo, Milano
© 2019 Musée national des châteaux
de Versailles et de Trianon

Aux termes de la loi sur le droit d'auteur
et du code civil, la reproduction, totale
ou partielle, de cet ouvrage sous quelque
forme que ce soit, originale ou dérivée,
et avec quelque procédé d'impression que
ce soit (électronique, numérique, mécanique
au moyen de photocopies, de microfilms,
de films ou autres), est interdite, sauf
autorisation écrite de l'éditeur.

En couverture

© EPV Thomas Garnier

Silvana Editoriale S.p.A.
via dei Laboratori, 78
20092 Cinisello Balsamo, Milano
tel. 02 453 951 01
fax 02 453 951 51
www.silvanaeditoriale.it