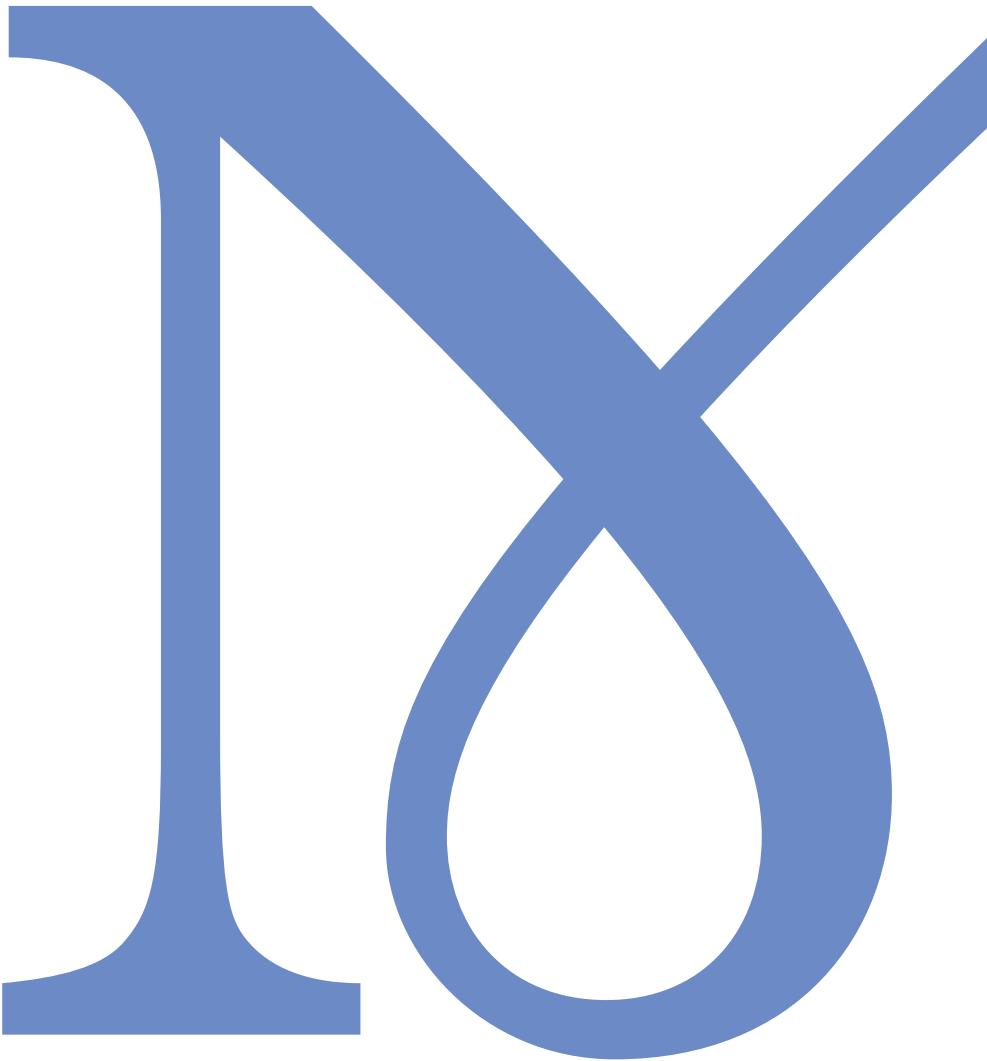


**Recommandations pour  
la surveillance climatique dans les musées**



# Recommandations pour la surveillance climatique dans les musées

**La surveillance climatique : un instrument pour accompagner la mise en œuvre de la plage climatique étendue, un facteur de transparence et de durabilité.**

## Sommaire

Impressum .....	2
<b>1 Introduction</b> .....	3
1.1 Pourquoi des recommandations en matière de surveillance des conditions climatiques ? .	3
1.2 Que peut-on attendre de la surveillance climatique ? .....	3
<b>2 Plage climatique – contexte et définition dans le cadre des présentes recommandations</b> ..	4
2.1 Contexte et nécessité d’agir .....	4
2.2 Plage climatique élargie : définition.....	5
2.3 Réserves.....	6
<b>3 Surveillance climatique et stratégies de durabilité</b> .....	6
3.1 Climatisation passive .....	6
3.2 Concepts d’utilisation durable pour les collections .....	6
<b>4 Principes de la surveillance climatique : mesurer, analyser, documenter</b> .....	7
4.1 Surveillance des conditions climatiques intérieures : définition .....	7
4.2 Enregistreurs (voir aussi 5.1) .....	7
4.3 Emplacement des appareils de mesure (voir aussi 5.1) .....	8
4.4 Analyse .....	8
4.5 Échange de données dans le cadre des prêts .....	9
4.6 Potentiel d’adaptation climatique .....	9
<b>5 Exemples pratiques de collecte et d’analyse des données</b> .....	10
5.1 Thierry Jacot : Comment déployer une surveillance climatique dans un musée ? .....	10
5.2 Matthias Läuchli : Analyse de la surveillance climatique au Kunstmuseum Bern .....	13
5.3 Markus Gross, Stefan Waldhauser, Sven Eiche : La surveillance climatique à la Fondation Beyeler, Riehen (Bâle) .....	16

## **Impressum**

ICOM Suisse a créé en 2022 la plateforme Conditions climatiques des musées, dont la vocation est d'accueillir les échanges entre professionnels des musées. Le groupe de travail « Stratégie de mesure du climat » a été formé en son sein et chargé d'élaborer les présentes recommandations. Les personnes citées ont participé à l'élaboration des présentes recommandations en tant que spécialistes. Aucune information concernant les prescriptions climatiques dans les institutions associées ne peut en être déduite.

### Rédaction

- Nathalie Bäschlin Dr. (coordination), directrice de la restauration au Kunstmuseum Bern, enseignante à la Haute école des arts de Berne (HKB) en conservation et restauration
- Kilian Anheuser Dr., conservateur, chargé de la conservation préventive des collections, Musée d'ethnographie de Genève
- Sven Eiche, responsable technique et infrastructure, Fondation Beyeler, ISS Facility Services AG
- Silvio Frigg, responsable des services centraux, bibliothèque abbatiale de Saint-Gall
- Markus Gross, directeur de la restauration, Fondation Beyeler
- Thierry Jacot, maître d'enseignement, Haute École Arc – conservation-restauration de Neuchâtel
- Matthias Läuchli, Läuchli Restaurierung, Wallisellen, et restaurateur au Kunstmuseum Bern
- Betty Sacher, directrice des collections, Museum zu Allerheiligen, Schaffhouse
- Stefan Waldhauser, Waldhauser + Hermann AG, bureau d'ingénierie USIC/SIA
- Ulrich Winkelmann, conservateur et conseiller en gestion des collections, Berne

### Collaboration

- Sara de Bernardis, directrice de la restauration au MASI Lugano
- Natalie Ellwanger, conservation-restauration, tableaux et surfaces peintes, Musée national suisse
- Rebecca Honold, restauratrice d'œuvres sur papier, Kunstmuseum Basel
- Nadine Reding, Atelier Reding, Liebefeld
- Miriam Tarchini, conservation préventive, Musée de Morat

### Éditeur

ICOM Schweiz, Konradstrasse 14, 8005 Zürich

### Traduction

- Passage Traduction (FR)

### Lectorat

- Sandro Fässler (DE)
- Julie Weidmann (FR)

Zurich, le 12 décembre 2024

## **1 Introduction**

### **1.1 Pourquoi des recommandations en matière de surveillance des conditions climatiques ?**

Les dispositifs de surveillance climatique des espaces d'exposition et des réserves enregistrent les mesures au plus près des objets et des collections. Cette surveillance se distingue donc des mesures climatiques servant à piloter les installations, qui ne sont abordées que de façon marginale dans le présent document. Qu'un musée dispose d'un système de climatisation ou que le climat intérieur soit contrôlé par des moyens passifs, en tirant parti de processus naturels, la surveillance des conditions climatiques est un instrument reconnu de conservation préventive dont l'importance est capitale pour la mise en œuvre d'une plage climatique élargie.

La surveillance climatique se situe au croisement de différentes disciplines pratiquées dans les musées (gestion des installations, conservation préventive, concepts d'utilisation, prêts entre institutions). En l'état actuel des choses, les concepts de collecte et d'analyse des données diffèrent beaucoup les uns des autres, ce qui rend la comparaison difficile. La transparence nécessaire pour instaurer entre les divers services et entre les différentes institutions un dialogue ciblé, axé sur la durabilité fait défaut. Les présentes recommandations entendent donc combler cette lacune et fournir un point de repère pour la collecte et l'analyse de données pertinentes et comparables. Pour que la surveillance climatique puisse être utilisée avec profit au quotidien dans les musées, il faut en outre des dispositifs d'échanges et de discussion renforçant explicitement la transmission multidisciplinaire des savoirs et la confiance entre les spécialistes travaillant dans les musées. Pour ce faire, il est indispensable de mettre en place une offre spécifique et durable de formations continues.

### **1.2 Que peut-on attendre de la surveillance climatique ?**

L'enregistrement en continu des données climatiques dans toutes les pièces où des œuvres d'art et des biens culturels sont exposés, étudiés, conservés et entreposés est essentiel pour pouvoir conserver de manière durable les collections, et permet d'utiliser les ressources en préservant l'environnement. Ce monitoring crée la sécurité et la transparence nécessaires et constitue la base de la documentation du climat existant, mais aussi de la planification et de la mise en œuvre de mesures d'optimisation. La plage climatique étendue (définition : voir point 2.2), qui a valeur de recommandation, indique les minima et maxima climatiques entre lesquels la majeure partie (approximativement 90 %) des collections peuvent être entreposées ou exposées sans risque. À l'intérieur de la zone ainsi définie, il faut alors déterminer les prescriptions climatiques adaptées aux collections.

Des stratégies de mesures comparables encouragent par ailleurs la transparence entre les différents services d'un musée et entre les musées (institutions prêtant ou empruntant des objets).

## 2 Plage climatique – contexte et définition dans le cadre des présentes recommandations

### 2.1 Contexte et nécessité d’agir

Voilà près de trente ans que la plage climatique élargie (élargie par rapport au standard formulé dans les années 1950 imposant une humidité relative de 50 % à ± 5 %) fait l’objet de débats, essentiellement dans l’aire anglophone. Ces discussions portent moins sur le « juste climat » que sur le cadre à l’intérieur duquel une certaine dynamique climatique peut être acceptée dans la protection des biens culturels. Il est pertinent de recourir à la plage climatique élargie lorsque cela permet de réaliser des économies d’énergie non négligeables.

Ce débat a suscité des initiatives de recherche et conduit à la rédaction de recommandations actualisées. La pénurie d’électricité que nous avons connue en 2022/2023, l’attention accrue à l’empreinte CO<sub>2</sub> que nous laissons et la volonté affirmée des musées d’apporter leur contribution à la réalisation des objectifs de développement durable forment le contexte social dans lequel s’inscrit l’urgence d’agir.

Voir à ce sujet la [nouvelle définition des musées](#) et la [résolution 2019 de l’ICOM sur la durabilité et la mise en œuvre de l’Agenda 2030](#).

Les recommandations pour la surveillance climatique dans les musées se réfèrent aux recommandations de [l’Association des musées allemands](#) de 2022. Vous trouverez ci-après une sélection de sources et références sur les normes climatiques en vigueur et sur l’état actuel des recherches sur l’influence du climat intérieur sur la dégradation biologique, chimique et mécanique des biens culturels.

[Neue Standards für die Museumsklimatisierung angesichts der Klimakrise](#) de 2023; [Environmental guidelines](#) ICOM-CC and IIC 2014; [Environmental guidelines CCI](#) Grattan/Michalski 2017, voir aussi: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc. (ASHRAE) Handbook; [Bizot Handbook 2023](#) (p. 3–17); [Managing Collection Environments Technical Notes and Guidance](#), Getty Conservation Institute Los Angeles, 2023; [Tools for the Analysis of Collection Environments Lessons Learned and Future Development Research Report](#), Getty Conservation Institute Los Angeles, 2022; [Plage climatique par type de matériaux](#), 2010–2014, C2RMF.

NEMO-Report [Museums in the climate crisis](#), survey results and recommendations for the sustainable transition of Europe, 2022.

Voir aussi :

Bujok S., Bridarolli A., Lukomski M., Bratasz Ł., [Reconsidering Museums’ Climate and Seasonal Adjustment for Vulnerable Artifacts](#) Studies in Conservation, 69, 2024, p. 18–24.

Gulbins G., ‘Halbtrocken und wohl temperiert. Klimakorridore für Sammlungsgut’, in: [Museumsblätter der Museen Brandenburg, Juli 2024](#), p. 28.

Southwick C., « Collection management and conservation », in : Nick Merriman (éd.), [Museums and the Climate Crisis](#), New York/Abingdon : Routledge, 2024, p. 118-141.

## 2.2 Plage climatique élargie : définition

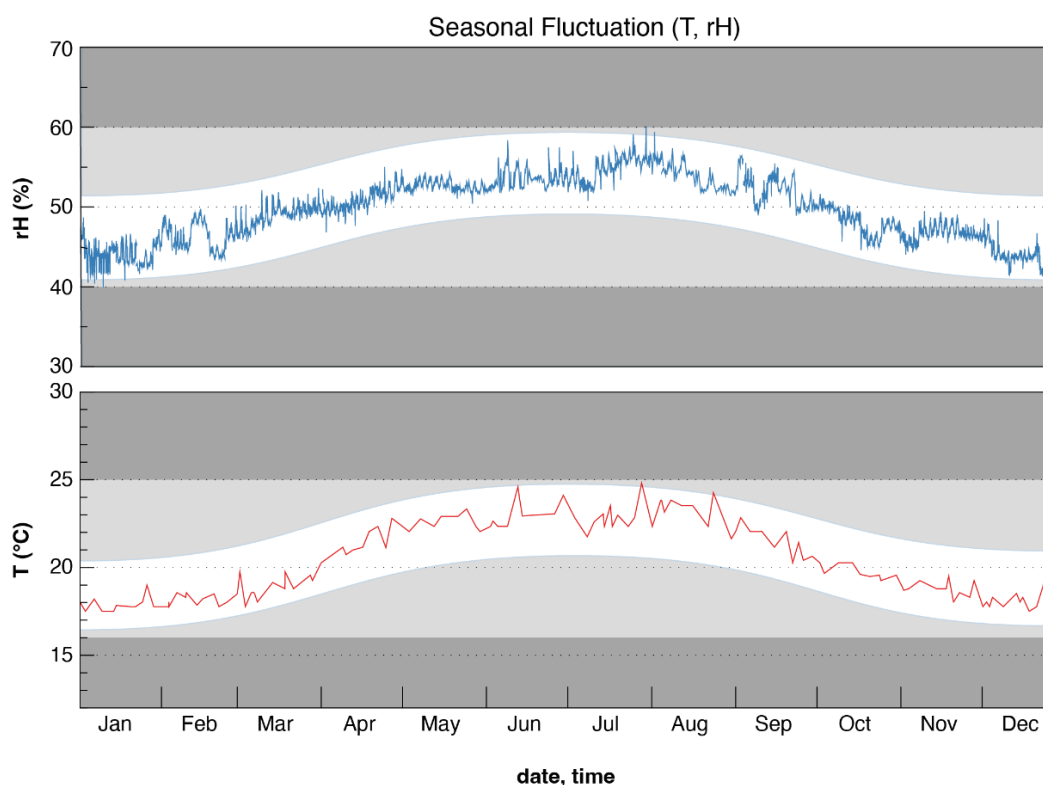
Cette définition se fonde sur les principes énoncés au point 2.1. Un aspect central est que cette définition n'est pas donnée uniquement sous forme de valeurs chiffrées, mais qu'elle les assortit de conditions. Pour la majeure partie des collections, la plage climatique élargie est suffisante. Pour certains groupes de matériaux, certaines combinaisons de matériaux, ou pour certains ensembles d'objets qui exigent, de l'avis des spécialistes, d'autres conditions climatiques, il convient de formuler des prescriptions spécifiquement adaptées.

La plage climatique élargie est de 40-60 % HR et 16-25 °C sur l'année. Sur vingt-quatre heures (glissantes), la fluctuation acceptable ne peut excéder 10 % HR et 4 K:  $\Delta T/J$ : 4 ;  $\Delta HR/J$ : 10% (définition delta T :  $\Delta T = T_2 - T_1$ ). La valeur  $\Delta$  représente l'amplitude (variation/unité de temps) que l'on se propose d'atteindre.

Toutes les valeurs comprises dans cette plage sont acceptables pour autant que les collections ne doivent pas être conservées dans des conditions spécifiques. Les éventuelles variations doivent se dérouler lentement. Ceci est décrit par la prescription de gradients (variations/unité de temps) aussi plats que possible. Des fluctuations saisonnières progressives dans les limites fixées ne posent aucun problème et sont tout à fait pertinentes du point de vue énergétique.

Des conditions climatiques stables sont une condition essentielle de la bonne conservation des objets à long terme. En règle générale, il est conseillé de réduire le plus possible les fluctuations.

Le graphique ci-dessous présente une courbe climatique possible s'étendant sur une année. Il convient de ne pas s'écarter de la plage climatique recommandée (zone gris clair) de manière brusque. En association avec les conditions/possibilités du bâtiment et avec des moyens passifs et/ou une utilisation optimisée des installations techniques, cette plage doit permettre d'obtenir une fluctuation progressive de la courbe (zone blanche).



## **2.3 Réserves**

Dans les réserves, il faut chercher à atteindre une efficacité énergétique élevée (climatisation passive). Les températures sont fixées en fonction des collections et non du confort des utilisateurs et utilisatrices comme dans les espaces d'exposition. Selon la composition matérielle des œuvres, différentes zones climatiques doivent être définies. Il faut décider, et c'est une question centrale, quelles zones des réserves seront aussi utilisées comme espaces de travail.

En outre, la climatisation des réserves est d'autant plus complexe que les collections sont variées. Les réserves servent à entreposer les biens sur le long terme. Il est crucial qu'elles offrent des conditions climatiques stables et spécifiquement adaptées aux collections présentes.

Voir aussi : [Museumstechnik/Klima/Klimavorgaben – ein vertretbarer Kompromiss](#) prevart 2017; Normes nationales et documents normatifs nationaux (NF EN 16893, 2018), Conservation du patrimoine culturel – Spécifications pour l'emplacement, la construction et la modification des bâtiments et des salles destinés au stockage ou à l'utilisation de collections.

## **3 Surveillance climatique et stratégies de durabilité**

### **3.1 Climatisation passive**

La surveillance climatique est un élément s'inscrivant dans une stratégie globale conçue pour instaurer un climat durable à l'intérieur du musée. Les recommandations formulées par l'Association allemande des musées en 2022 résument cette problématique de la manière suivante : « Les objectifs de durabilité, d'économie des ressources, de longévité doivent être réalisés autant que possible par des moyens passifs, et en tirant parti de processus naturels. Il est impératif de choisir des matériaux de construction à forte inertie thermique, de recourir à des systèmes d'ombrage appropriés et de privilégier des sources d'énergie écologiques. »

Un monitoring efficace fournit les données indispensables à la mise en œuvre des mesures visant à rendre les bâtiments et les espaces intérieurs plus durables et au contrôle des mesures de conservation préventives. Il est recommandé de ne planifier des mesures qu'au bout d'une année (deux changements de saison) minimum d'enregistrement et d'analyse de données comparables.

### **3.2 Concepts d'utilisation durable pour les collections**

Les objets des collections fréquemment utilisés subissent des changements de conditions climatiques plus nombreux puisqu'ils sont exposés à des déplacements entre les réserves et le musée ou entre différents musées, changements qui s'accompagnent de phases de transport. La surveillance climatique offre également la possibilité de suivre les changements de conditions climatiques sur le plan qualitatif et d'en garder la trace. Cela permet d'élaborer des concepts d'utilisation tenant compte de la fragilité des objets des collections, pour différents espaces d'exposition dans le musée et pour le prêt. L'élargissement de la plage climatique peut dégager des solutions climatiques durables du point de vue énergétique, mais exige en retour

d'enregistrer et de documenter de manière ininterrompue les changements climatiques pour les objets fragiles.

## **4 Principes de la surveillance climatique : mesurer, analyser, documenter**

### **4.1 Surveillance des conditions climatiques intérieures : définition**

La surveillance climatique contrôle et garde la trace des deux paramètres que sont l'humidité relative et la température, susceptibles d'affecter les objets de la collection.

Cette surveillance à des fins de conservation se distingue des mesures en temps réel destinées à piloter les installations, qui souvent prennent en compte des paramètres supplémentaires (concentration en CO<sub>2</sub>, consommation d'énergie) et pour lesquelles la mesure destinée aux commandes de flux d'air se fait en de nombreux endroits différents, à l'intérieur de l'installation de chauffage/ventilation ou de la climatisation. Un grand nombre des données ainsi obtenues n'ont pas d'importance directe pour la conservation, et ne sont archivées que pendant un laps de temps restreint.

En revanche, dans le cas de la surveillance à des fins de conservation, la proximité des objets et la documentation sur le long terme jouent un rôle central. Les différentes mesures se complètent réciproquement, mais ne peuvent se substituer directement les unes aux autres.

### **4.2 Enregistreurs (voir aussi 5.1)**

Les enregistreurs électroniques fonctionnent soit comme des appareils indépendants placés à un endroit précis, soit comme des éléments d'un réseau produisant des données consultables en temps réel et à distance. Les appareils connectés à un réseau ne doivent être installés que si l'institution est en mesure de garantir l'enregistrement en cas de perturbation du réseau. Un enregistrement local automatique des données mesurées est pertinent.

Par rapport à ces appareils, les thermo-hygrographes mécaniques à cylindre – rarement utilisés aujourd'hui – présentent une forte atténuation qui lisse les fluctuations du climat. Les données enregistrées sont à peine comparables aux données mesurées électroniquement.

Les capteurs de température électroniques sont stables sur le long terme, contrairement aux capteurs d'humidité, dont le calibrage doit être révisé chaque année. Si l'utilisateur peut procéder lui-même à un calibrage logiciel, sans avoir à envoyer les appareils de mesure au fabricant, il réalisera des économies importantes.

Afin d'éviter de nouveaux calibrages coûteux et inutiles, il est recommandé de garder comme référence au moins un appareil de mesure calibrée en usine qui permettra de vérifier les valeurs affichées par toutes les sondes conformément à leur spécification. En cas d'écart supérieur à 3 % HR par rapport à un appareil de mesure de référence récemment calibrée (si possible avec une exactitude de  $\pm 0,5$  %), la sonde doit être remplacée ou recalibrée.



### **4.3 Emplacement des appareils de mesure (voir aussi 5.1)**

La mesure est réalisée aux endroits significatifs de la pièce, à proximité des objets, à distance des flux d'air entrant ou sortant de la climatisation et des entrées et sorties, aux emplacements les moins accessibles possibles aux visiteurs et visiteuses. L'appareil de mesure ne doit pas être placé au-dessus de composants électroniques (interrupteur de lumière, sonde de climatisation), car ces appareils produisent de la chaleur perdue et peuvent influencer le résultat de la mesure.

À l'intérieur des vitrines, la mesure doit aussi être effectuée près de l'objet, et non dans le compartiment technique séparé du volume où se trouve l'objet.

Il est possible d'intégrer visuellement les appareils à la scénographie, mais le capteur doit être dégagé. Les appareils visibles peuvent être inclus aux démarches pédagogiques du musée.

Afin d'interpréter les données, une mesure extérieure complémentaire doit être réalisée à un endroit sûr, à l'abri du vent et du soleil direct.

### **4.4 Analyse**

La représentation graphique facilite l'analyse, la comparaison et la présentation des données. On trouvera une vue d'ensemble des méthodes d'analyse courantes, avec des exemples de graphiques, au point 5.1, « Thierry Jacot, Comment déployer une surveillance climatique dans un musée ? »

Il faut impérativement signaler un éventuel lissage des courbes, par exemple par l'utilisation de valeurs moyennes glissantes.

Pour l'interprétation des faits saillants dans les courbes de mesures, il est utile de tenir un journal des événements particuliers. Il peut s'agir par exemple de défaillances des appareils, de travaux de maintenance, de modifications des valeurs de consigne, d'écarts par rapport à la routine quotidienne, de travaux de peinture dans les salles, d'événements climatiques extrêmes, de vernissages d'expositions ou d'autres manifestations entraînant un afflux de visiteurs et de visiteuses, de jours de fermeture, etc.

En règle générale, les enregistreurs produisent des données dans un format spécifique au fabricant. Il est en général possible aussi de les exporter sous forme de fichier CSV (tableau Excel) lisible sur tout ordinateur. L'archivage local doit se faire sous la forme d'ensemble de données dans l'un de ces deux formats. Si le format spécifique du fabricant est conservé, on ne peut ouvrir les fichiers qu'avec le logiciel du fabricant, or les autres institutions n'en disposent généralement pas, et le risque existe que ce format spécifique de fichiers devienne rapidement obsolète. À l'heure actuelle, CSV est le format le plus sûr à long terme pour les ensembles de données, la production de graphiques dans Excel ou dans des logiciels similaires demandant un peu plus de temps que lorsqu'on utilise directement le logiciel du fabricant.

## 4.5 Échange de données dans le cadre des prêts

L'objectif des échanges de données dans le cadre des prêts est de réduire la différence qui peut exister entre les conditions climatiques du prêteur et celles de l'emprunteur pour la rendre acceptable du point de vue de la conservation, et de l'attester. Les données climatiques de l'emprunteur figurant dans le « Facility Report » ou transmises en complément doivent donc être conformes à la réalité (valeurs réelles et non idéales) et significatives au regard de la demande de prêt. En règle générale, elles font partie intégrante de la convention de prêt, et engagent alors contractuellement l'emprunteur.

Les données climatiques de l'emprunteur transmises dans le cadre d'une demande de prêt doivent répondre aux critères suivants :

- Le nom et la fonction de la personne responsable des mesures et du traitement des données.
- Documentation sur les enregistreurs utilisés : type, imprécision de la mesure, lieu de la mesure.
- Couverture des mêmes mois (saisons) que ceux figurant dans la demande de prêt.
- Mesures réalisées dans les mêmes pièces et dans des conditions comparables (état identique du bâti).
- Utilisation d'intervalles de mesure pertinents consignant aussi les fluctuations à court terme, par exemple toutes les dix minutes.
- Présentation graphique synthétique avec un graphique pour la période entière et éventuellement d'autres courbes pour de plus brèves périodes, par exemple une ou plusieurs semaines isolées choisies pour leur représentativité.
- La documentation doit contenir une analyse statistique simple (voir 5.1).
- S'il n'est pas possible de remplir tous ces critères, par exemple en cas de travaux de rénovation du bâtiment, alors il convient de le mentionner sur les courbes existantes.
- Les directives appliquées par l'institution dans le cadre de sa stratégie climatique.

En sus des critères mentionnés, la documentation climatique devrait inclure une analyse statistique simplifiée comprenant les valeurs minimales et maximales de la température et de l'humidité relative pendant la période de mesure, les valeurs moyennes correspondantes, de même que l'écart par rapport aux paramètres cibles et, le cas échéant, leur fréquence.

## 4.6 Potentiel d'adaptation climatique

Les institutions qui empruntent des biens proposent souvent d'adapter les conditions climatiques existantes aux besoins spécifiques des objets particulièrement sensibles. Cela se fait en général à l'échelle de la salle entière, par l'installation d'humidificateurs ou de déshumidificateurs mobiles ou par la climatisation passive d'un espace étanche grâce à un dessiccateur, par exemple au moyen de cadres climatiques pour les peintures et les œuvres sur papier, ou de gel de silice dans les vitrines.

Une modification des conditions climatiques ne peut porter ses fruits que dans un espace hermétique aux échanges d'air. En général, dans les grandes salles ouvertes, les systèmes mobiles d'humidification de l'air sont peu efficaces. Dans le cas des vitrines, il est nécessaire de disposer d'une excellente étanchéité qui n'est généralement garantie que par les vitrines

spécifiquement certifiées que l'on peut trouver dans le commerce. La quantité de produit de régulation hydrique doit être adaptée au volume de la vitrine. La problématique des polluants atmosphériques dans les vitrines étanches doit être prise en compte.

La climatisation active des vitrines au moyen d'un petit humidificateur ou déshumidificateur intégré exige une mise en garde sur les compétence et l'entretien nécessaire au déploiement de ce mode de régulation en vitrine. Un tel dispositif demande à être surveillé de près car, en cas de défaillance de l'appareil, on risque une déstabilisation incontrôlée du climat intérieur de la vitrine.

Dans tous les cas, l'emprunteur doit fournir la preuve de l'efficacité de la solution proposée sous forme de courbes climatiques.

## **5 Exemples pratiques de collecte et d'analyse des données**

Les exemples pratiques suivants proposent des pistes concrètes pour mettre en œuvre une surveillance climatique efficace. Les bases d'une collecte et d'une analyse des données réussies sont tout d'abord récapitulées. Viennent ensuite deux exemples présentant de possibles installations d'appareils et des méthodes d'exploitation adaptées, sans prétention à l'exhaustivité. Il existe sur le marché de nombreux systèmes valables fournissant des services comparables.

### **5.1 Thierry Jacot : Comment déployer une surveillance climatique dans un musée ?**

#### Choisir un appareil de mesure

Il existe sur le marché une large palette d'appareils de mesure pouvant être utilisés dans le cadre de la surveillance des conditions climatiques dans un musée.

Afin d'obtenir des données exploitables, il est nécessaire d'utiliser des appareils de type enregistreurs (*data logger*). Certaines marques proposent des supports de fixation avec cadenas, qui évite le vol et le déplacement des appareils.

Il faut au minimum que l'enregistreur mesure la température et l'humidité relative. Certains appareils indiquent également la température de rosée et l'humidité absolue. La précision des mesures doit être si possible de  $\pm 2\%$  et  $\pm 0,5\text{ °C}$ .

La grande majorité de ces appareils fonctionnent sur pile et disposent d'une autonomie qui dépend de l'intervalle d'enregistrement choisi (de six mois à deux ans). La capacité de la mémoire doit être suffisante pour couvrir l'enregistrement thermo-hygrométrique sur une année (à intervalle de dix minutes), soit au moins de 110 000 données.

#### Choisir un emplacement de mesure

Le choix de l'emplacement de l'appareil dépend de plusieurs facteurs qu'il s'agit d'évaluer. L'emplacement de l'appareil doit correspondre à l'objectif de la surveillance climatique. Il faut qu'il soit représentatif de ce que l'on souhaite mesurer.

Pour la mesure des conditions climatiques générales, l'appareil doit être placé au centre de la pièce, à environ 1,5 m du sol, et éloigné des sources de chaleur, d'humidité et de ventilation.

Pour la mesure des conditions climatiques particulières (microclimat), l'appareil doit être placé le plus près possible de la source du phénomène.

Dans le cas de salles d'exposition, les contraintes muséographiques limitent le choix de l'emplacement de l'appareil de mesure aux seuls murs et cloisons disponibles. Dans le cas d'une vitrine, on cherchera à dissimuler l'appareil aux yeux du public dans l'espace de présentation. Si ce n'est pas possible, un compartiment technique spécial sera aménagé.

#### L'exploitation des données climatiques

L'exploitation des données enregistrées est réalisée sous forme statistique et graphique. On présentera dans un tableau de synthèse les valeurs maximales, moyennes et minimales enregistrées ; les valeurs calculées des variations horaires – journalières, hebdomadaires ou mensuelles selon l'objectif fixé ; les taux de conformité<sup>1</sup>, représentant le niveau de respect des exigences de conservation.

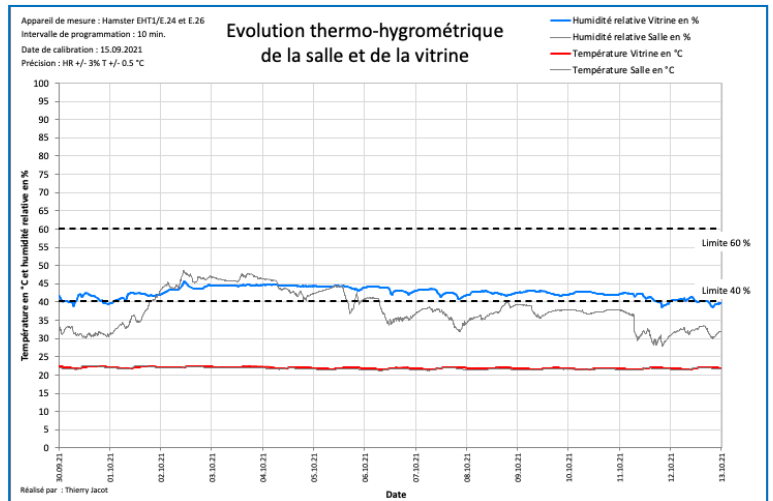
<b>Valeurs statistiques</b>	<b>HR en %</b>	<b>T en °C</b>
Maximales	<b>48,5</b>	<b>22,5</b>
Moyennes	<b>38,1</b>	<b>21,7</b>
Minimales	<b>27,9</b>	<b>21,1</b>
Variation journalière maximale	<b>14,1</b>	<b>0,9</b>
Variation journalière moyenne	<b>5,8</b>	<b>0,6</b>
Taux de conformité	<b>33,5 %</b>	<b>99,8 %</b>
Taux de conformité croisé	<b>33,5 %</b>	

<sup>1</sup> L'indicateur est défini soit en pourcentage soit en nombre de jours, en faisant le ratio des valeurs respectant une plage recommandée par rapport à l'ensemble des valeurs enregistrées. Ainsi on définit un taux de conformité pour l'hygrométrie, un autre pour la température et un dernier pour les deux grandeurs.

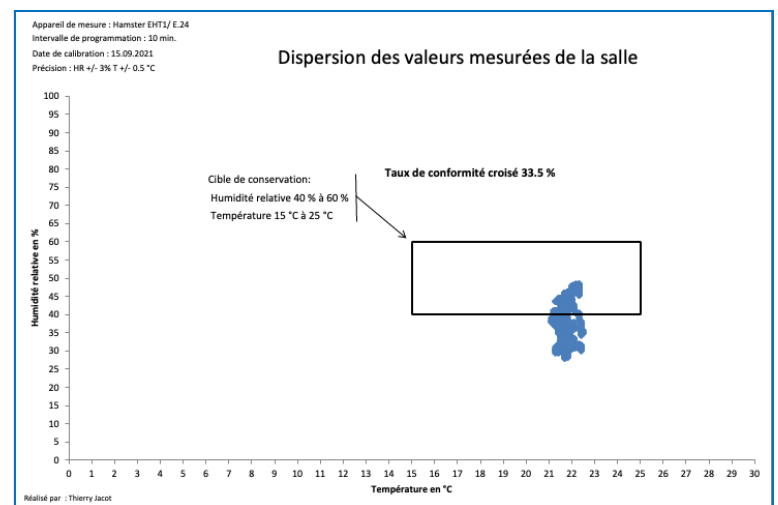
La représentation graphique la plus utilisée est celle présentant l'évolution de la température et de l'humidité relative durant la période de mesure.

Ce graphique permet de repérer visuellement les événements climatiques majeurs (baisse ou élévation rapides) et d'apprécier leur amplitude. La présence de repère sur le graphique permet d'identifier les dates où la température ou l'humidité relative franchissent les valeurs limites recommandées.

Il est également possible de superposer les données de deux appareils de mesure (salle et vitrine) pour les comparer.



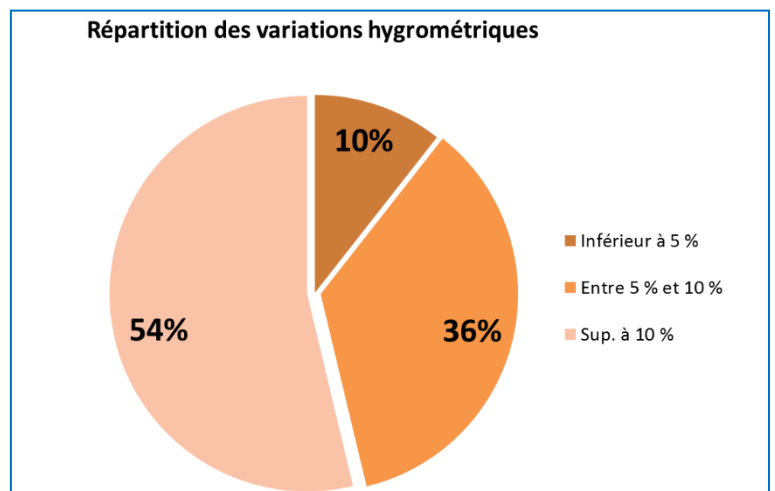
Le graphique en nuage de points offre une visualisation de la dispersion des données enregistrées par rapport à la cible climatique (exigences de conservation). La cible est indiquée par le rectangle noir, associé avec les valeurs limites utilisées. Le pourcentage de mesures à l'intérieur de la cible peut être indiqué grâce au taux de conformité croisé (respect simultané de la température et de l'humidité relative).



Le diagramme en secteurs permet de représenter la proportion des variations journalières d'humidité relative ou de la température en fonction d'intervalles représentant des seuils de risques, par exemple :

Variation hygrométrique < 5 %, soit une situation adaptée à la conservation.

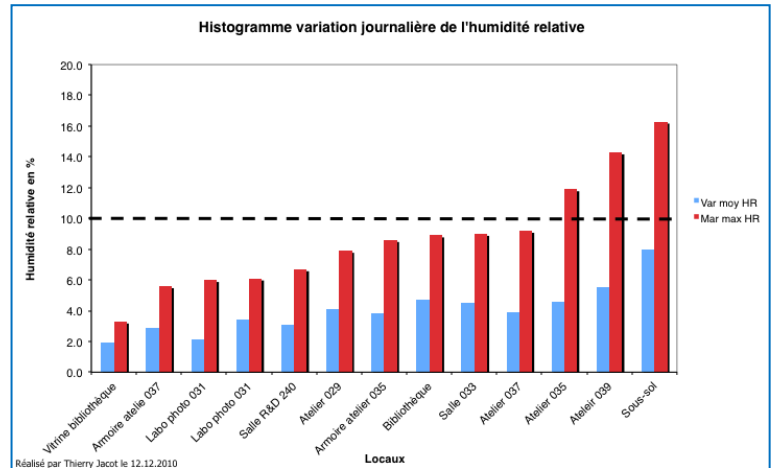
Variation hygrométrique entre 5 et 10 %, soit une situation augmentant le risque de dégradation des matériaux les plus sensibles. Variation hygrométrique > 10 %, soit une situation jugée préjudiciable.



L'histogramme permet de comparer les niveaux de variations hygrométriques journalières moyennes de chaque emplacement de mesure.

Il est alors facile de repérer les emplacements les moins stables.

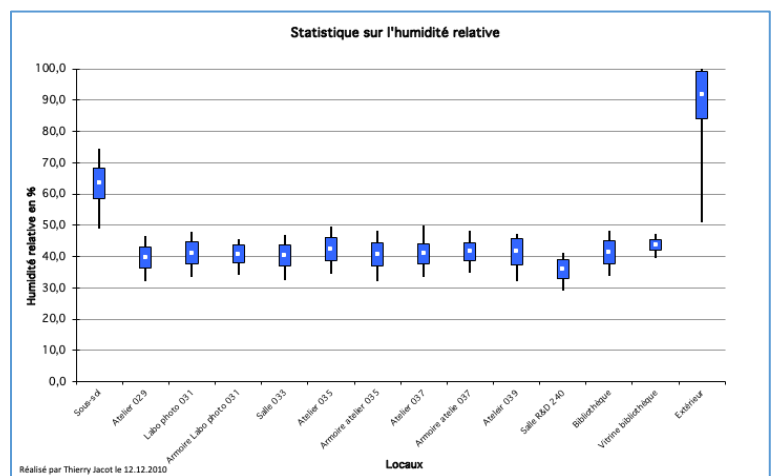
On peut utiliser le même type de graphique pour comparer les taux de conformité des différents emplacements de mesure.



Enfin un graphique un peu particulier, réalisé à partir de l'écart type et des valeurs statistiques maximales, moyennes et minimales, permet d'apprécier la dispersion des valeurs autour de la moyenne.

Il est alors possible de comparer les profils thermiques, hygrométriques et hydriques.

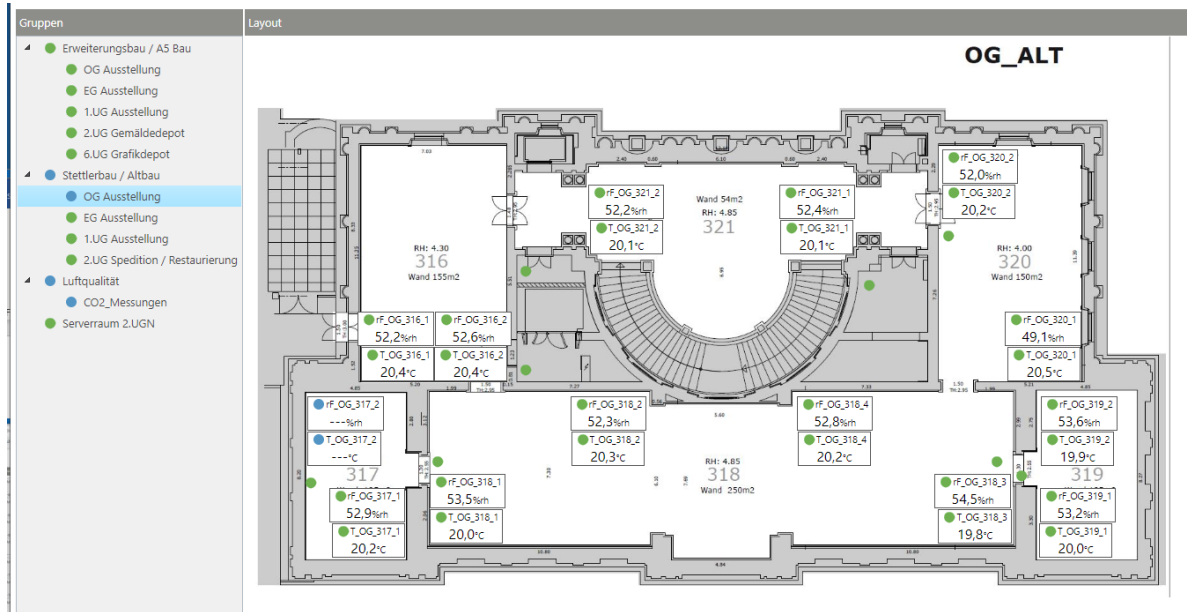
Dans notre cas, les rectangles de couleur bleue représentent 68 % des valeurs dispersées autour de la moyenne (carré blanc). La barre verticale donne l'amplitude des observations entre le minimum mesuré et le maximum.



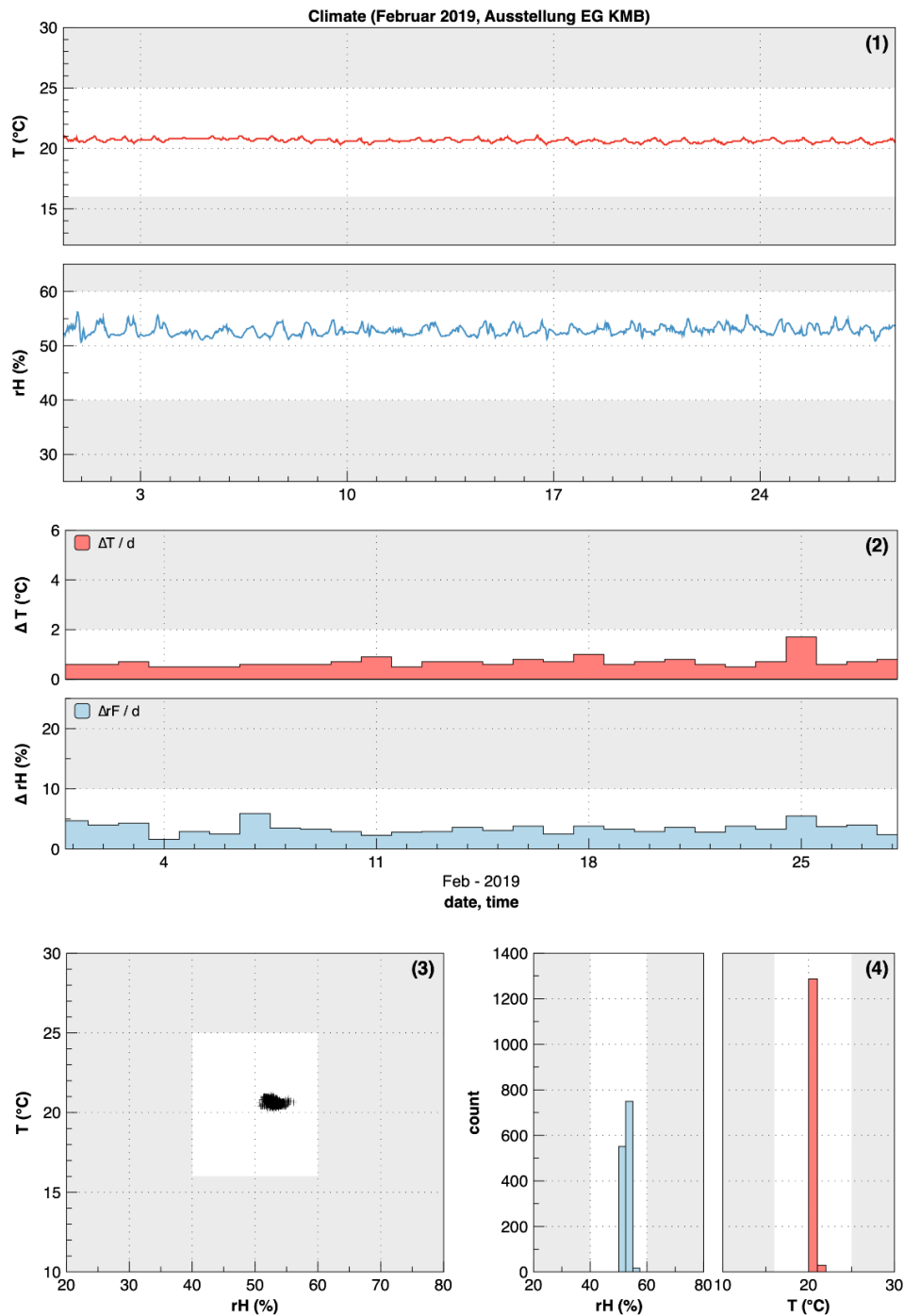
## 5.2 Matthias Lächli : Analyse de la surveillance climatique au Kunstmuseum Bern

Au Kunstmuseum Bern, la surveillance climatique a été mise en place en 2019 par le service de gestion des installations en coopération avec le service de conservation et restauration. Il s'agit d'un dispositif de mesures redondant qui s'ajoute à la saisie des données destinées au pilotage de la climatisation. Dans chaque pièce, la mesure s'effectue à deux endroits, contre le mur, à même hauteur. Les enregistreurs RMS-LOG-L (Rotronic Monitoring System) ont une précision élevée :  $\pm 0,8$  HR /  $\pm 0,1$  °C. Le système est connecté au réseau. Le logiciel d'utilisation basé sur le web est convivial et permet de programmer les valeurs d'alarme et les messages d'alerte correspondants. Les autres possibilités d'analyse des données sont toutefois limitées. Matthias Lächli a formulé une proposition de modèle d'analyse (fondé sur un export au format CSV des données, traitées ensuite avec Microsoft Excel et avec le logiciel Diagraph de VisualData Tools) qui a été testé avec succès au Kunstmuseum Bern et peut être utilisé pour des systèmes très différents.

## Vue d'ensemble des emplacements des enregistreurs avec affichage en temps réel



Emplacement des enregistreurs (système de mesure redondant destiné à la surveillance climatique, s'ajoutant au système de pilotage de la climatisation), à droite sur chaque image (flèche). Les appareils, sous protections, s'intègrent bien à l'environnement, les appareils de mesures restent dégagés.



Exemple de graphique d'analyse des données au Kunstmuseum Bern

(1) Valeurs de la température et de l'humidité relative indiquées sur l'axe du temps.

(2) Fluctuation quotidienne des valeurs, valeur maximale moins valeur minimale par jour.

(3) Le graphique en nuage de points de toutes les valeurs de la période d'analyse avec l'humidité relative en abscisse et la température en ordonnée.

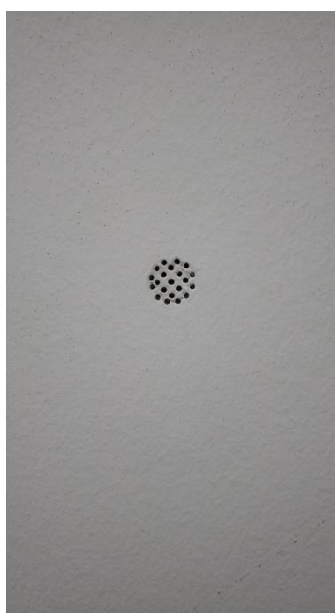
(4) Histogramme de toutes les données de la période d'analyse avec les intervalles de classe 2,5 % (HR) et 1 °C (T).



### **5.3 Markus Gross, Stefan Waldhauser, Sven Eiche : La surveillance climatique à la Fondation Beyeler, Riehen (Bâle)**

Actuellement, on s'efforce d'obtenir tout au long de l'année une température intérieure de  $21\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  et une humidité relative de  $52\% \pm 5\%$  dans les salles d'exposition, les réserves et les ateliers de restauration.

La condition de l'air entrant, qui est produit par la centrale de traitement d'air (avec post-conditionnement partiel), est déterminée en fonction de celle de l'air ambiant. Cette dernière est actuellement mesurée par trois capteurs combinés température/humidité, et transmise sous forme de valeur moyenne aux systèmes de gestion technique du bâtiment. Ces capteurs sont intégrés emplacement par emplacement dans des boîtiers de mesure (accessibles) placés derrière les cloisons intérieures. Ces boîtiers sont exposés en permanence à l'air ambiant au moyen d'une ventilation et de tuyaux.



*Orifice d'aspiration  
du dispositif de mesure  
(diamètre : environ 2 cm,  
hauteur 150 cm)*



*Boîtier de mesure du  
dispositif dans/derrière la  
cloison intérieure (fermé)*

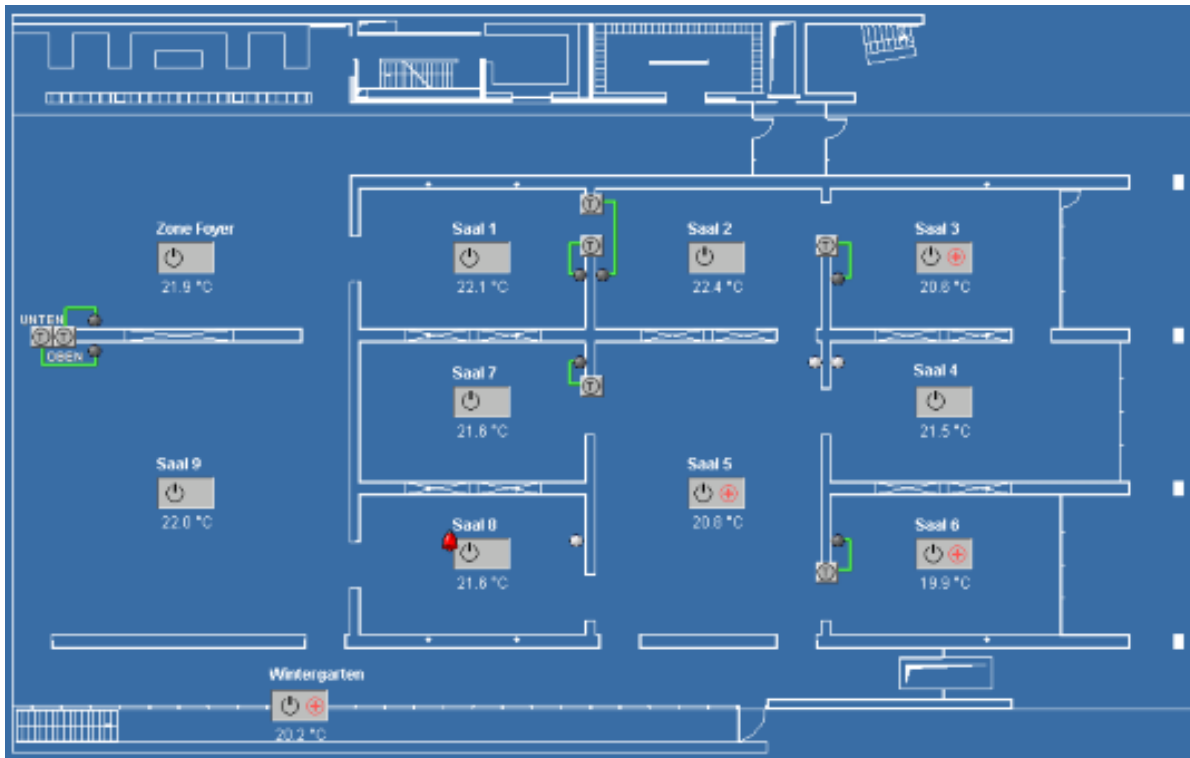


*Intérieur du boîtier de  
mesure avec les 3 capteurs  
du système de gestion  
technique du bâtiment*

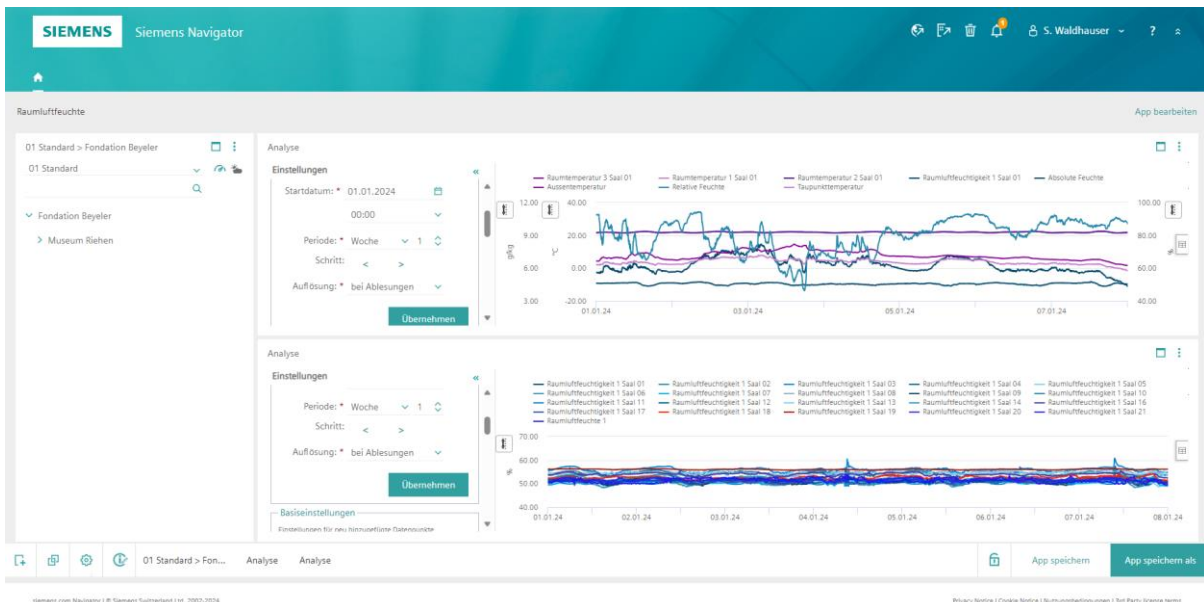
En cas d'écart trop important, le service de gestion des installations est alerté par le système de gestion technique (e-mail).

La position des mesures climatiques figure sur la représentation visuelle du système de gestion technique (Siemens Desigo Insight).

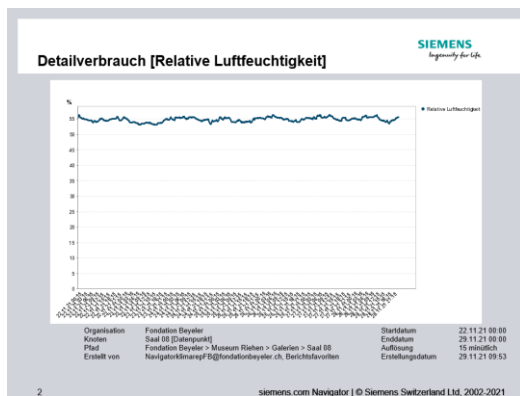
Extrait de la représentation visuelle des conditions climatiques actuelles (remarque : à l'avenir, non seulement la température intérieure sera affichée, mais aussi l'humidité relative).



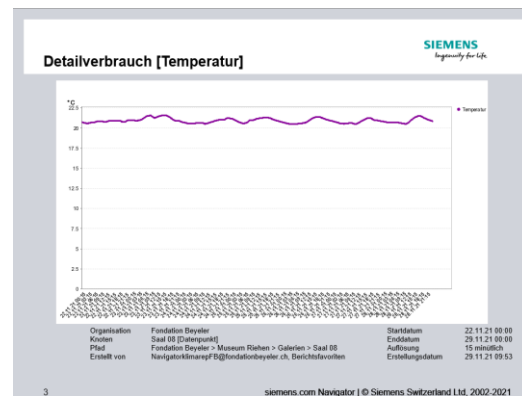
Grâce au logiciel basé sur le web « Siemens Navigator », les services de restauration et de gestion technique peuvent consulter l'évolution du climat intérieur de chaque pièce sous une forme conviviale, sans devoir faire intervenir le système de gestion technique du bâtiment. La fréquence minimale de mesure est d'une minute.



Chaque semaine, le service de gestion des installations reçoit des rapports générés automatiquement par cet outil (fichier PPT) qui retracent l'évolution du climat intérieur par pièce/zone. Ces rapports (résolution de mesure : quinze minutes) sont utiles, car ils présentent sous une forme synoptique les « tendances » de certaines salles.



Évolution de l'humidité relative dans l'une des salles d'exposition (une semaine) ; rapport hebdomadaire envoyé automatiquement par e-mail



Évolution de la température ambiante dans l'une des salles d'exposition (une semaine) ; rapport hebdomadaire envoyé automatiquement par e-mail

Parallèlement, le climat intérieur est contrôlé et analysé à intervalles réguliers (une fois par jour) par le service de gestion des installations au moyen d'appareils de mesure manuels (Testo 440 avec Bluetooth ; modèle 0554111), et ce dans toutes les salles (mesure redondante de contrôle). Les rapports sont simultanément transmis aux restaurateurs/-trices et au responsable de la gestion des installations.