Nom du client : **DRAC Auvergne Rhône Alpes**
Titre de l'affaire : **Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry**

Mesure de température et d'hygrométrie de 2 pièces de stockage et de conservation du Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry

Rapport relevé premier trimestre

Auteur : Florian SIMON
Date : 29 octobre 2024
N/Réf : CMDL/FS.2024.161

Société par actions simplifiée)
Capital de 40 000 euros
Siège social : 23, Avenue du Lac Léman
BP 80209
73374 LE BOURGET DU LAC
RCS CHAMBERY

Table des matières

I. Contexte 3
II. Rappel de la position des capteurs 4
III. Pertes de données de mesure 6
IV. Exports des données 6
V. Analyse des résultats 7
1. Comparaison des Températures 7
i. Température au sein de la salle du Trésor. 7
ii. Température environnantes 8
iii. Température salle réserve 9
2. Comparaison des Humidité Absolues 9
3. Comparaison des Humidité Relative 10

I. Contexte

En 2019, les conditions de conservation du Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry ont été jugées peu satisfaisantes en 2019.

Par conséquent il a été décidé de réaliser une étude préalable à la restauration et à l'aménagement de l'actuelle salle du Trésor de la Cathédrale Saint-François-de-Sale. Dans le cadre de cette étude, il a été constaté que les collections sont, dans l'ensemble, en mauvais état :

- Les vitrines ne sont pas adaptées,
- La pièce de stockage présente d'importantes variations de température et de taux d'humidité entraînant le développement de micro-organismes sur certains objets.

Il semble nécessaire de déplacer les collections dans un espace plus sain, le temps d'améliorer les conditions climatiques de l'actuelle salle du Trésor. Cet espace sera ensuite gardé pour conserver les éléments de la collection qui ne seraient pas exposés.

Dans ce contexte, MANASLU a été consulté pour la mise en place d'instruments de mesure de grandeurs physiques, température et hygrométrie, afin de connaître les variations sur une année de la salle du Trésor, mais également de la salle désignée pour stocker la collection durant les travaux.

Ces mesures doivent permettre à l'architecte et au BET fluides, maitres d'œuvre, de concevoir les améliorations les plus adaptées à envisager, pour l'éclairage, le chauffage éventuellement et de ventilation.

Ces données de mesure doivent également permettre à la spécialiste en conservation préventive de prévoir un cahier des charges le plus adapté selon le type d'objet pour assurer la meilleure conservation possible des objets en connaissant les conditions climatiques des espaces.

II. Rappel de la position des capteurs

Suite à la visite préalable (cf. rapport 240603 rapport de visite site V1) ainsi que les échanges de mails qui ont suivi. Les capteurs ont été positionnés dans 3 salles différentes :

Salle du Trésor

Capteur 1	Capteur 2 (1 m) Capteur 3 (3 m)	Capteur 4
Mur orienté au Nord : Capteur à hauteur d'homme au niveau de la niche	Mur orienté au Sud : 1 capteur à la même hauteur que capteur 1 1 capteur à 3 m	Mur est orienté au Nord : Positionné entre les fenêtres

Environnement Salle du Trésor

Capteur 5	Capteur 6
A l'extérieur façade nord	Dans la cathédrale, secteur Bas-côté Nord

Salle de réserve

Capteur 7	Capteur 8
Mur Nord, à proximité de la fenêtre	Mur Ouest

III. Pertes de données de mesure

En raison d'un défaut des capteurs installés, l'analyse du niveau de charge de piles alimentant les systèmes de mesure s'est révélée être faussée.
Par conséquent, certaines périodes d'enregistrement ont été perdues principalement sur le dernier mois de mesure. Les mesures correctives nécessaires ont été prises pour ne plus subir ce type de pertes. Les valeurs invalides ont été forcées a -50 dans les fichiers exportés.

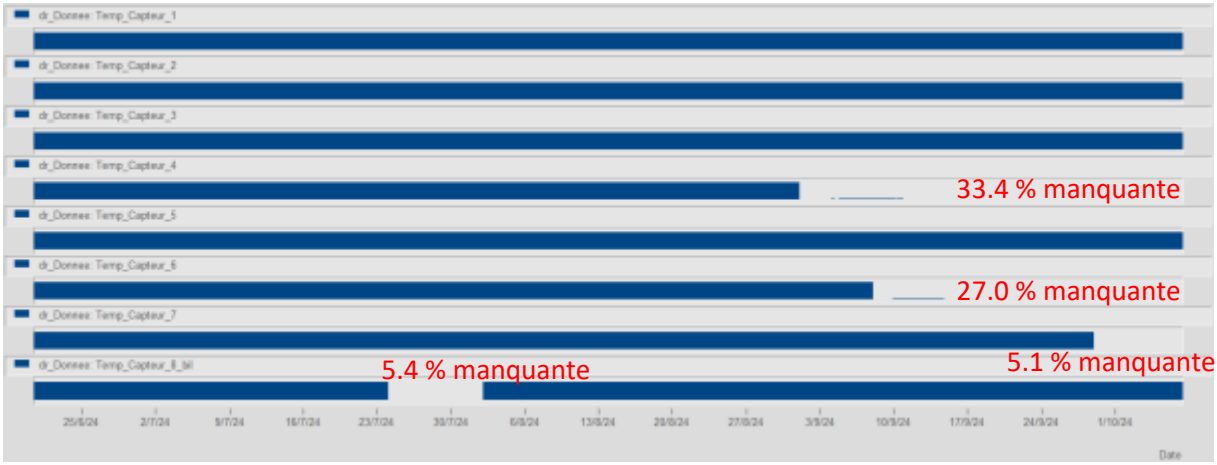


Figure 1 : Plage de validité des capteurs

IV. Exports des données

Les données ont été exportées dans des fichiers Csv communiqués en annexe de ce rapport.

Figure 2 : Vue globale des mesures

V. Analyse des résultats

1. Comparaison des Températures

i. Température au sein de la salle du Trésor.

Sur la première partie de l'été (20/06 -> 01/08), on observe deux groupes de températures : les sondes 1 et 4 situées sur le mur Nord sont semblables entre elles et les sondes 2 et 3 situées sur la paroi Sud ont également un comportement similaire. Les sondes au Nord sont environ 1 °C plus froides que les sondes situées sur la paroi sur intérieure.

Il n'y a pas d'effet visible de la stratification (comparaison sondes 2 et 3) ni d'infiltrations venant des fenêtres (comparaison sondes 1 et 4).

A partir du 1er Août, le comportement change légèrement. Cela correspond probablement au changement d'aménagement de la salle pour les opérations de traitement du mobilier : un meuble imposant a été positionné à environ 80 cm de la paroi Sud créant une limitation des mouvements de convection. On observe des lors une légère stratification avec une différence d'environ 0.5°C entre les sondes 2 et 3 (la sonde 3 étant plus haute mesure la température la plus élevée). L'ampleur de cette différence reste néanmoins faible.

Les sondes 1 et 4 continuent d'avoir un comportement similaire.

A partir de la mi-Septembre l'écart entre toutes les sondes tend à diminuer pour finir en dessous de 0.4°C.
La variation jour/nuit des températures est inférieure à 1°C, ce qui est signe d'une forte inertie thermique.

Sur la période, la température maximale observée est d'environ 25°C et la température minimale de 18°C.

Figure 3 : Comparaison des températures dans la salle du Trésor

Sur la figure suivante, la variable f_Delta_i_j correspond à l'écart de température entre les sondes i et j (Delta_i_j = Température_i – Température_j)

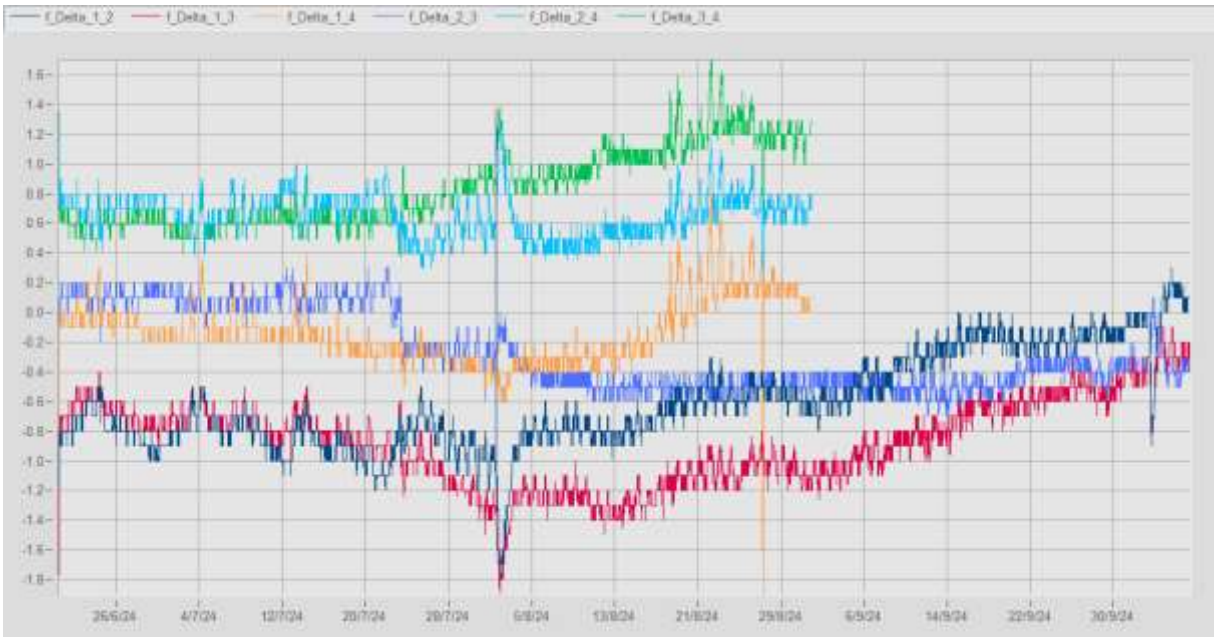


Figure 4 : Ecarts des températures de la salle du Trésor

ii. Température environnantes

La salle principale de la cathédrale est environ 2.5°C plus chaude que la salle de Trésor, ce qui est cohérent avec les observations précédentes (la paroi Sud de la Salle du Trésor étant adjacente à la salle principale de la Cathédrale). Le comportement global des températures dans cette salle et identique au comportement de la salle du Trésor.

Les variations d'ensembles sont corrélées à la température extérieure moyenne, ce qui indique une faible isolation thermique.

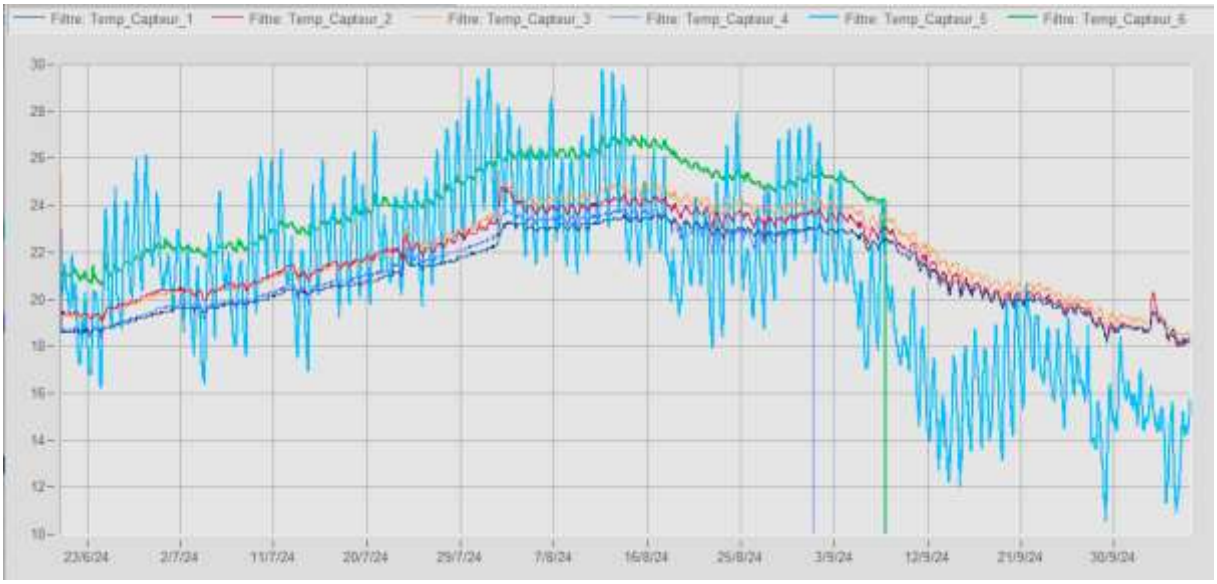


Figure 5 : Comparaison des températures de la salle du Trésor avec les zones environnantes

iii. Température salle réserve

Les deux capteurs de la salle réserve sont très proches sur la majorité de l'été. Le capteur positionné au plus proche de la fenêtre (capteur 7) présente une chute plus rapide en Septembre.
L'amplitude de température dans la salle réserve est plus importante que dans la salle du Trésor avec une température maximale de 28.4 °C et une température minimale de 15.5 °C.

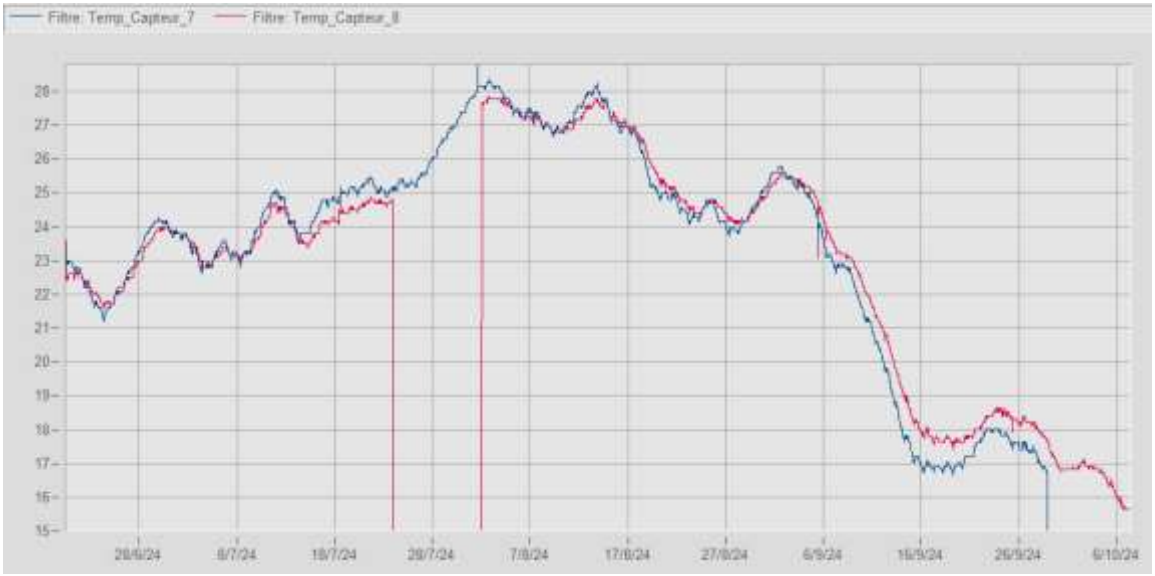


Figure 6 : Comparaison des températures dans la salle Reserve

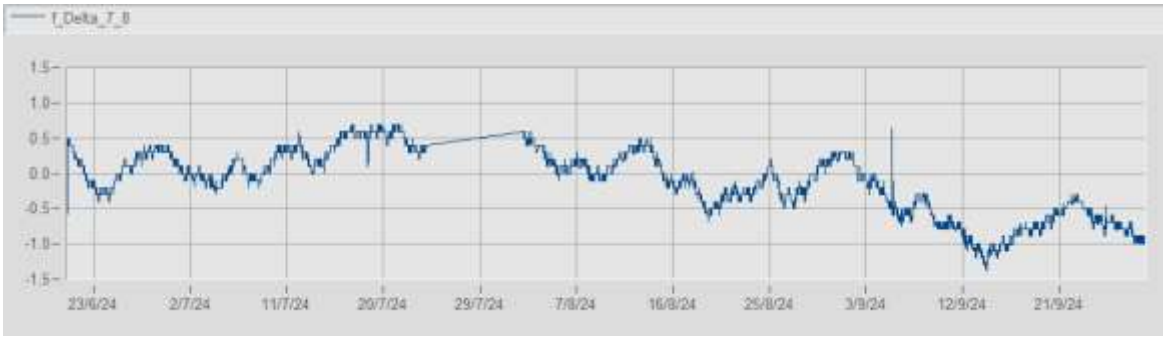


Figure 7 : Ecarts des températures de la salle Reserve

2. Comparaison des Humidité Absolues

Contrairement à l'humidité relative, l'humidité absolue ne dépend pas de la température. Elle permet donc d'évaluer l'homogénéité des ambiances et les échanges avec l'extérieur.

Au sein de la salle du Trésor, les humidités absolues sont toutes très proches et très réactives vis-à-vis de l'humidité absolue extérieure, ce qui permet de supposer une ventilation significative de la pièce.

Au sein de la salle réserve, l'humidité absolue est plus importante que dans la salle du Trésor (surtout sur la période Juin à Aout) et semble mois impactée par l'humidité extérieure, ce qui caractérise une zone peu ventilée. La présence d'infiltration d'eau ne peut pas être écartée, mais la période d'étude est trop faible pour étayer cette hypothèse. Les prochaines analyses devront permettre de vérifier ce risque.

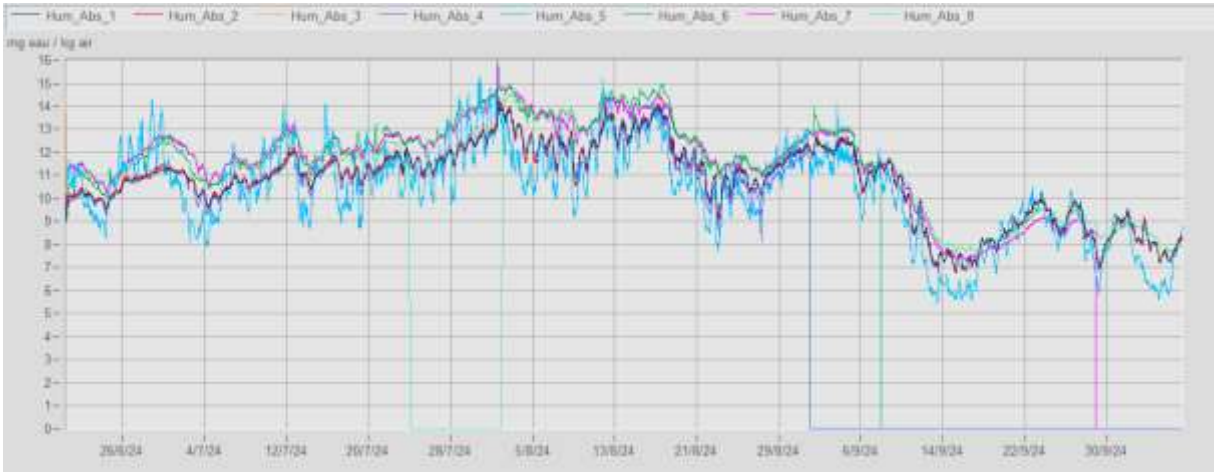


Figure 8 : Comparaison des humidtés absolues

3. Comparaison des Humidité Relative

Le comportement des humidités relatives est la conséquence des précédentes observations.

L'humidité relative dans la salle du Trésor varie entre 45% et 80% durant la période de mesure.

L'humidité relative dans la salle Reserve varie entre 55% et 75% durant la période de mesure.

Figure 9 : Comparaison des humidtés relatives

Nom du client : **DRAC Auvergne Rhône Alpes**
Titre de l'affaire : **Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry**

Mesure de température et d'hygrométrie de 2 pièces de stockage et de conservation du Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry

Rapport relevé deuxième trimestre

Auteur : Florian SIMON
Date : 17 Janvier 2024
N/Réf : CMDL/FS.2025.09

Société par actions simplifiée)
Capital de 40 000 euros
Siège social : 23, Avenue du Lac Léman
BP 80209
73374 LE BOURGET DU LAC
RCS CHAMBERY

Table des matières

I. Contexte 3
II. Rappel de la position des capteurs 4
III. Pertes de données de mesure 6
IV. Exports des données 6
V. Analyse des résultats 6
1. Données d'ambiance 6
2. Comparaison des Températures 7
i. Température au sein de la salle du trésor 7
ii. Températures environnantes 8
iii. Température salle réserve 9
3. Comparaison des Humidité Absolues 10

I. Contexte

En 2019, les conditions de conservation du Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry ont été jugées peu satisfaisantes en 2019.

Par conséquent il a été décidé de réaliser une étude préalable à la restauration et à l'aménagement de l'actuelle salle du Trésor de la Cathédrale Saint-François-de-Sale. Dans le cadre de cette étude, il a été constaté que les collections sont, dans l'ensemble, en mauvais état :

- Les vitrines ne sont pas adaptées,
- La pièce de stockage présente d'importantes variations de température et de taux d'humidité entraînant le développement de micro-organismes sur certains objets.

Il semble nécessaire de déplacer les collections dans un espace plus sain, le temps d'améliorer les conditions climatiques de l'actuelle salle du trésor. Cet espace sera ensuite gardé pour conserver les éléments de la collection qui ne seraient pas exposés.

Dans ce contexte, MANASLU a été consulté pour la mise en place d'instruments de mesure de grandeurs physiques, température et hygrométrie, afin de connaître les variations sur une année de la salle du trésor, mais également de la salle désignée pour stocker la collection durant les travaux.

Ces mesures doivent permettre à l'architecte et au BET fluides, maitres d'œuvre, de concevoir les améliorations les plus adaptées à envisager, pour l'éclairage, le chauffage éventuellement et de ventilation.

Ces données de mesure doivent également permettre à la spécialiste en conservation préventive de prévoir un cahier des charges le plus adapté selon le type d'objet pour assurer la meilleure conservation possible des objets en connaissant les conditions climatiques des espaces.

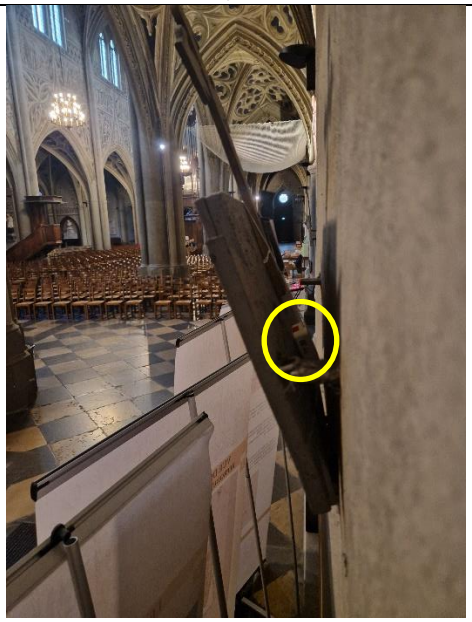
II. Rappel de la position des capteurs

Suite à la visite préalable (cf. rapport 240603 rapport de visite site V1) ainsi que les échanges de mails qui ont suivi. Les capteurs ont été positionnés dans 3 salles différentes :

Salle du trésor

Capteur 1	Capteur 2 (1 m) Capteur 3 (3 m)	Capteur 4
Mur orienté au Nord : Capteur à hauteur d'homme au niveau de la niche	Mur orienté au Sud : 1 capteur à la même hauteur que capteur 1 1 capteur à 3 m	Mur est orienté au Nord : Positionné entre les fenêtres

Environnement Salle du trésor

Capteur 5	Capteur 6
A l'extérieure façade nord	Dans la cathédrale, secteur Bas-côté Nord
	

Salle de réserve

Capteur 7	Capteur 8
Mur Nord, à proximité de la fenêtre	Mur Ouest

III. Pertes de données de mesure

Pas de perte de donnée sur la période de mesure

IV. Exports des données

Les données ont été exportées dans des fichiers Csv

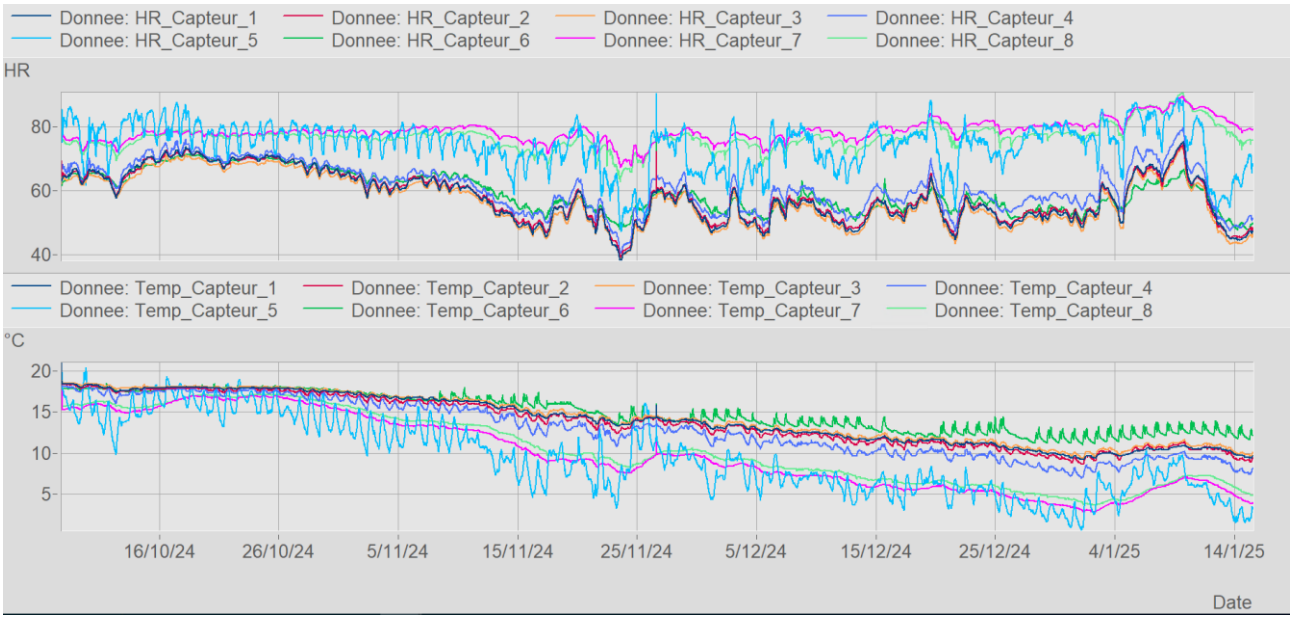


Figure 1 : Vue globale des mesures

V. Analyse des résultats

1. Données d'ambiance

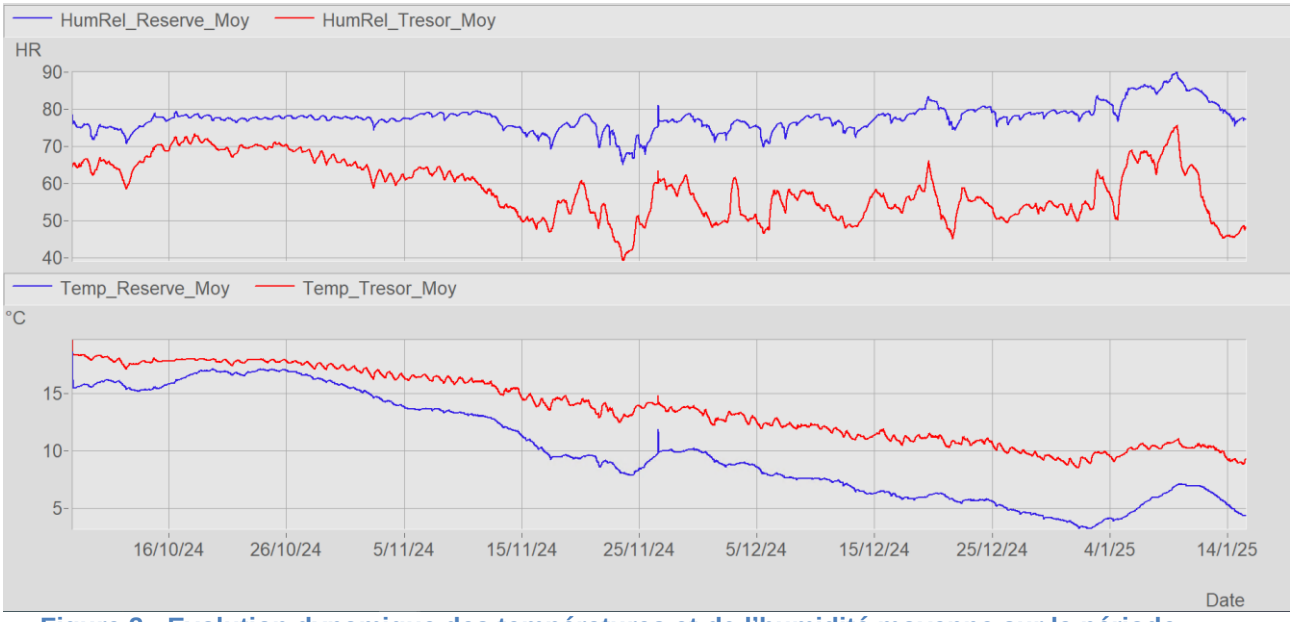


Figure 2 : Evolution dynamique des températures et de l'humidité moyenne sur la période

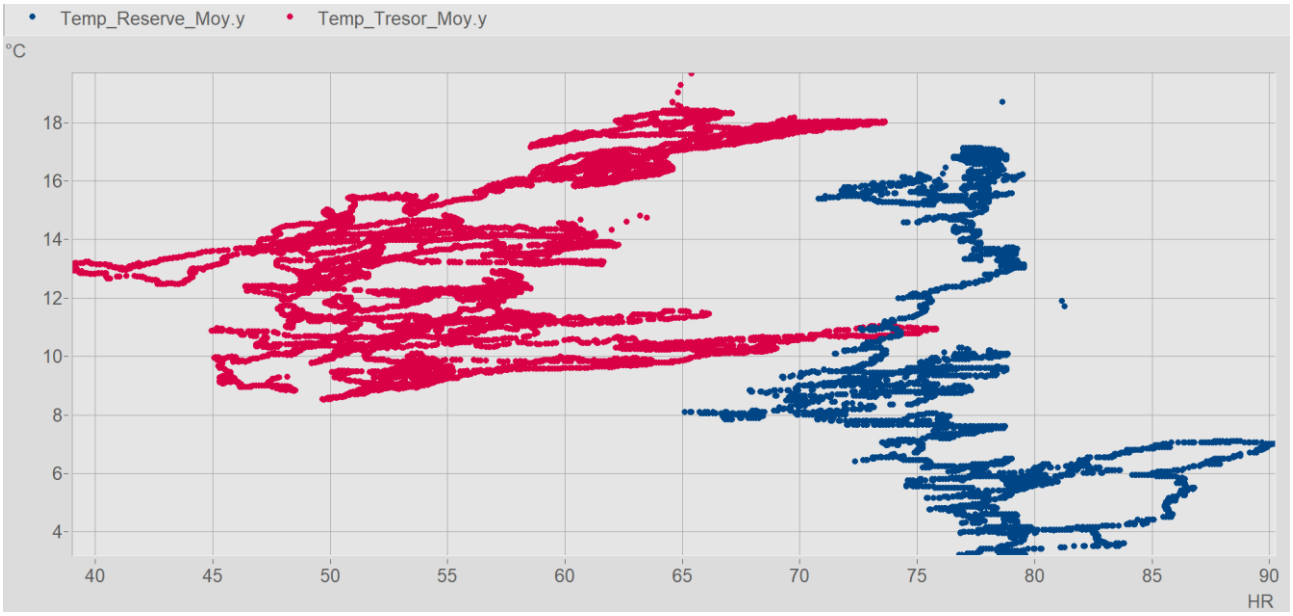


Figure 3 : Graphique XY des conditions d'ambiance dans les deux zones

La salle du trésor a connu des températures entre 8 et 18°C au cours du trimestre. L'humidité relative a dépassé 70% sur deux périodes sans dépasser 76%.
La salle réserve est descendue significativement plus bas en température, et par conséquent l'humidité relative observée est plus haute (jusqu'à 90%).

2. Comparaison des Températures

i. Température au sein de la salle du trésor.

La température au sein de la salle du Trésor est assez homogène sur la période, notamment pour les deux capteurs situés sur la paroi Sud et celui de la niche au Nord.

La sonde située au niveau des fenêtres (capteur 4) est visiblement plus basse que les autres, surtouts à partir du 15 Novembre : écart observé entre 1 et 2°C. La faiblesse thermique (conduction et infiltration) due à la présence des fenêtres explique sans doute ce phénomène.

La variation jour/nuit des températures est inférieure à 1°C, ce qui est le signe d'une forte inertie thermique.

Sur la période, la température maximale observée est d'environ 19°C et la température minimale de 7°C.

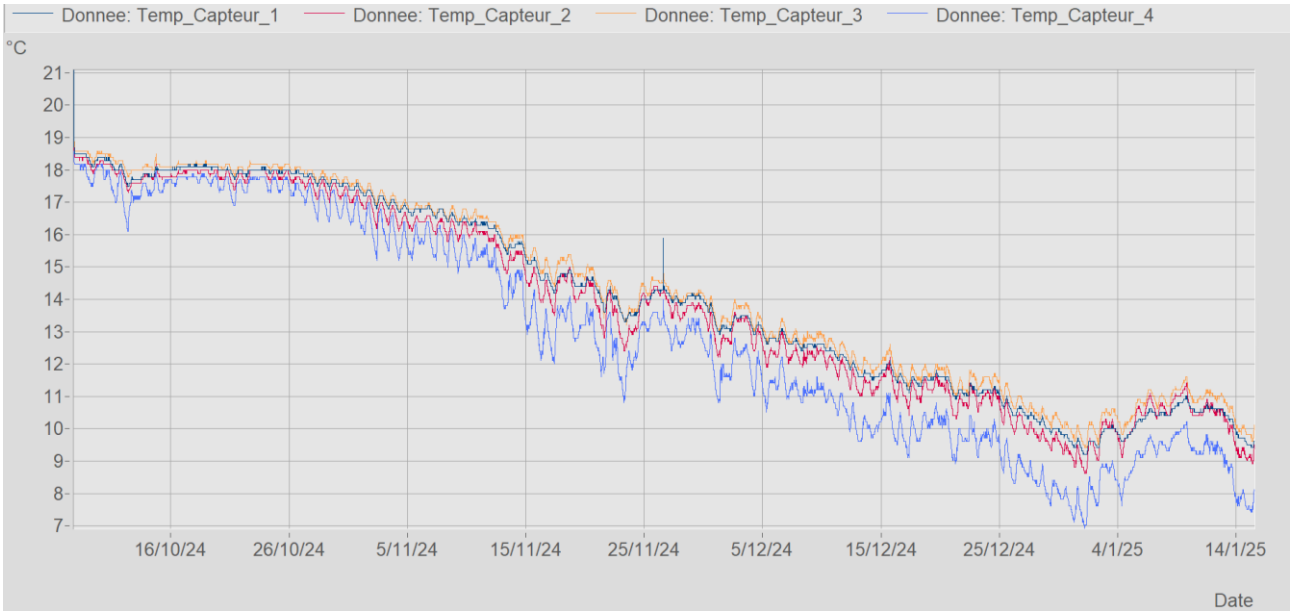


Figure 4 : Comparaison des températures dans la salle du Trésor

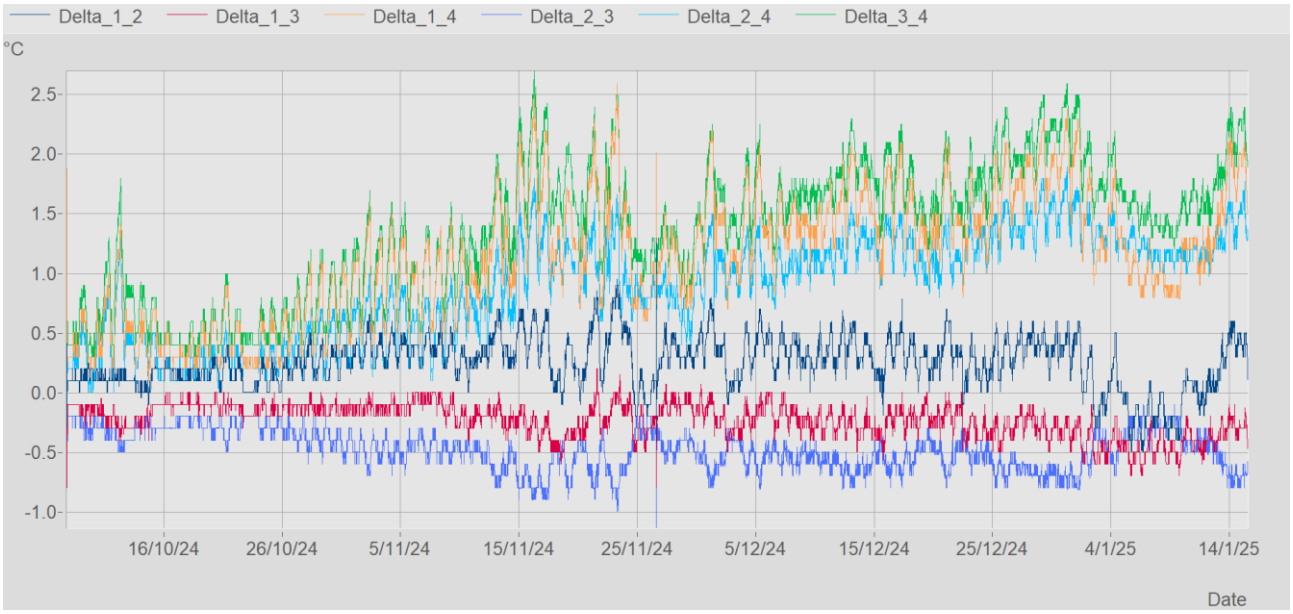


Figure 5 : Ecarts des températures de la salle du Trésor

ii. Températures environnantes

La salle principale de la cathédrale (capteur 6) est environ 2°C plus chaude que la salle de Trésor. Sa mesure connait des variations plus importantes, signe d'apports internes (chauffage, apports solaires, occupation). La proximité avec la salle principale peut donc avoir un impact qui tend à limiter les chutes de températures dans la salle du trésor.

Les mouvements d'ensembles sont corrélées à la température extérieure (capteur 5) moyenne ce qui indique une faible isolation thermique des parois avec l'extérieur.

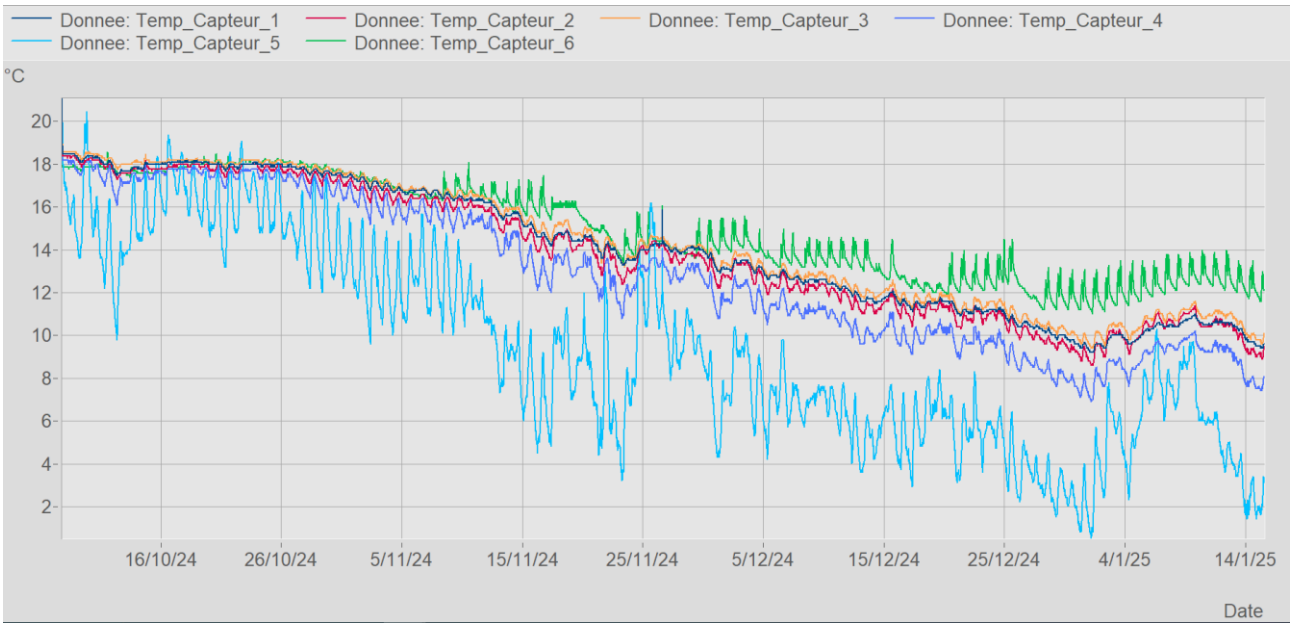


Figure 6 : Comparaison des températures de la salle du Trésor avec les zones environnantes

iii. Température salle réserve

Les deux capteurs de la salle réserve sont très similaires sur la majorité du trimestre de mesure. Le capteur positionné proche de la fenêtre (capteur 7) présente une température marginalement plus faible.
L'isolation de la salle semble très faible car la température descend en dessous de 3°C

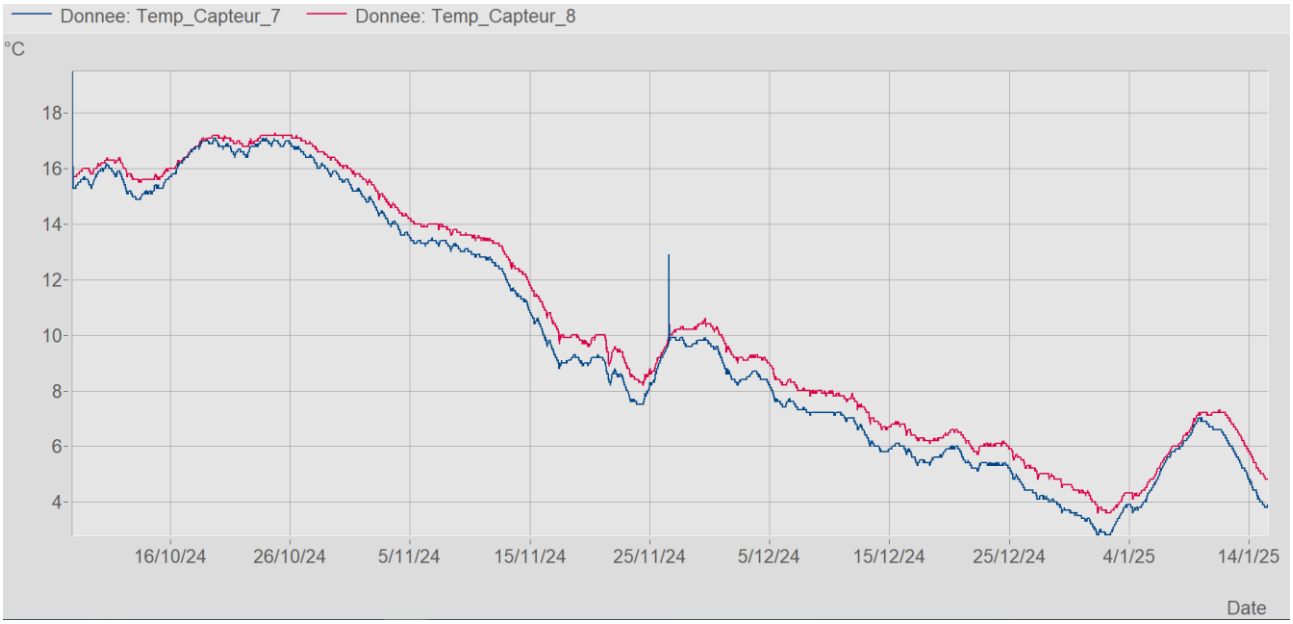


Figure 7 : Comparaison des températures dans la salle Reserve

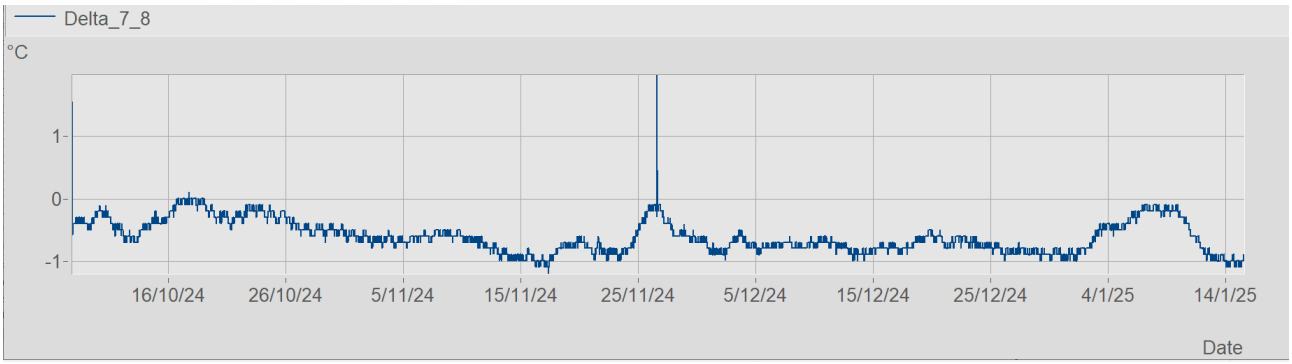


Figure 8 : Ecarts des températures de la salle Reserve

3. Comparaison des Humidité Absolues

Contrairement à l'humidité relative, l'humidité absolue ne dépend pas de la température. Elle permet donc d'évaluer l'homogénéité des ambiances et les échanges avec l'extérieur.

Au sein de la salle du Trésor, les humidités absolues sont toutes très proches et très réactives vis-à-vis de l'humidité absolue extérieure (capteur 5), ce qui permet de supposer une ventilation significative de la pièce.
Au sein de la salle réserve (capteurs 7 et 8), l'humidité absolue semble mois impactée par l'humidité extérieure, ce qui caractérise une zone peu ventilée. La présence d'infiltration d'eau ne semble pas confirmée par les mesures de ce trimestre.

Les perturbations observés au niveau de la température dans la salle principale (capteur 6) est également visible sur le ratio d'humidité, l'impact des occupants est donc probable.

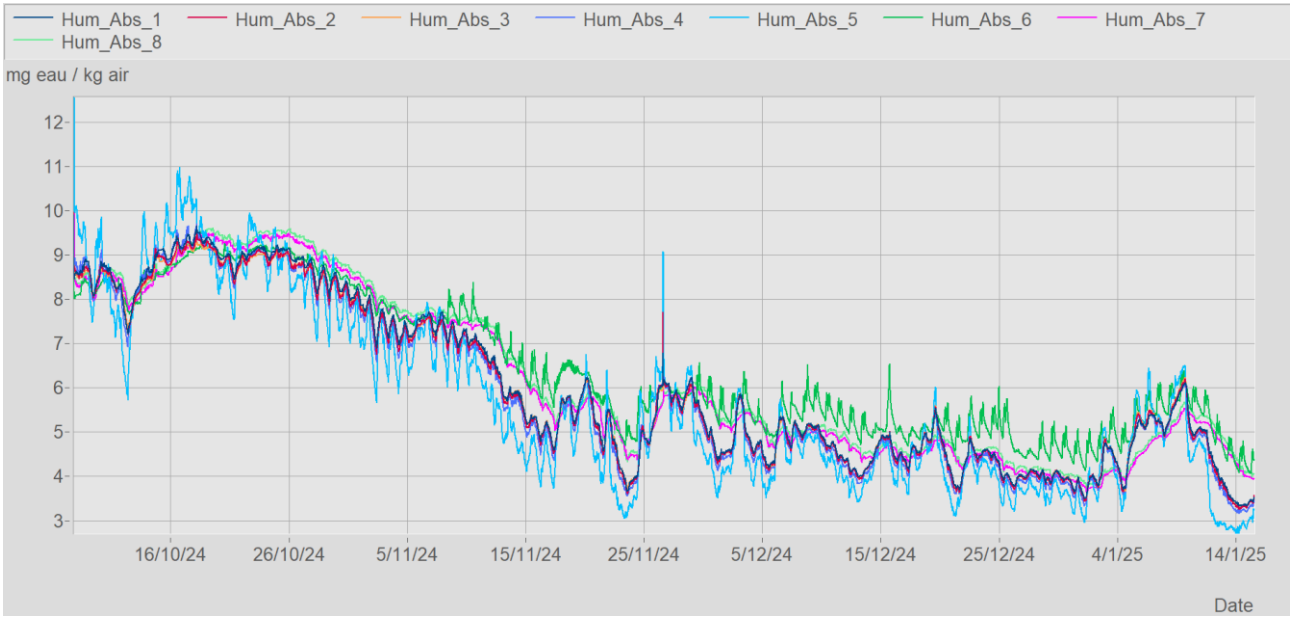


Figure 9 : Comparaison des humidtés absolues

Nom du client : **DRAC Auvergne Rhône Alpes**
Titre de l'affaire : **Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry**

Mesure de température et d'hygrométrie de 2 pièces de stockage et de conservation du Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry

Rapport relevé troisième trimestre

Auteur : Florian SIMON
Date : 02 Mai 2024
N/Réf : CMDL/FS.2025.50

Société par actions simplifiée)
Capital de 40 000 euros
Siège social : 23, Avenue du Lac Léman
BP 80209
73374 LE BOURGET DU LAC
RCS CHAMBERY

Table des matières

I. Contexte 3
II. Rappel de la position des capteurs 4
III. Pertes de données de mesure 6
IV. Exports des données 6
V. Analyse des résultats 6
1. Données d'ambiance 6
2. Comparaison des Températures 7
i. Température au sein de la salle du trésor 7
ii. Températures environnantes 8
iii. Température salle réserve 9
3. Comparaison des Humidité Absolues 10

I. Contexte

En 2019, les conditions de conservation du Trésor de la cathédrale Saint-François-de-Sale de Chambéry ont été jugées peu satisfaisantes.

Par conséquent il a été décidé de réaliser une étude préalable à la restauration et à l'aménagement de l'actuelle salle du Trésor de la Cathédrale Saint-François-de-Sale. Dans le cadre de cette étude, il a été constaté que les collections sont, dans l'ensemble, en mauvais état :

- Les vitrines ne sont pas adaptées,
- La pièce de stockage présente d'importantes variations de température et de taux d'humidité entraînant le développement de micro-organismes sur certains objets.

Il semble nécessaire de déplacer les collections dans un espace plus sain, le temps d'améliorer les conditions climatiques de l'actuelle salle du trésor. Cet espace sera ensuite gardé pour conserver les éléments de la collection qui ne seraient pas exposés.

Dans ce contexte, MANASLU a été consulté pour la mise en place d'instruments de mesure de grandeurs physiques, température et hygrométrie, afin de connaître les variations sur une année de la salle du trésor, mais également de la salle désignée pour stocker la collection durant les travaux.

Ces mesures doivent permettre à l'architecte et au BET fluides, maitres d'œuvre, de concevoir les améliorations les plus adaptées à envisager, pour l'éclairage, le chauffage éventuellement et de ventilation.

Ces données de mesure doivent également permettre à la spécialiste en conservation préventive de prévoir un cahier des charges le plus adapté selon le type d'objet pour assurer la meilleure conservation possible des objets en connaissant les conditions climatiques des espaces.

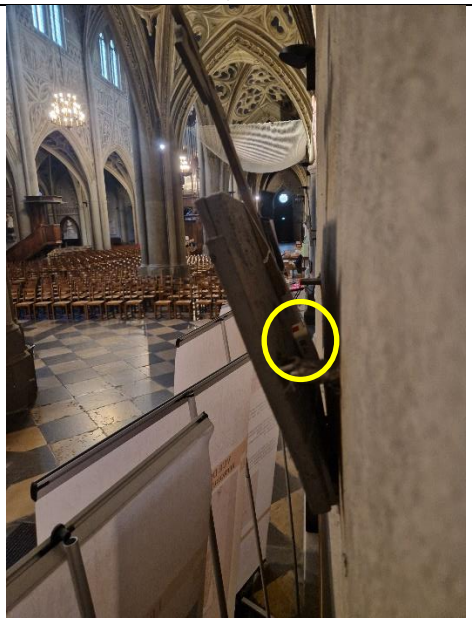
II. Rappel de la position des capteurs

Suite à la visite préalable (cf. rapport 240603 rapport de visite site V1) ainsi que les échanges de mails qui ont suivi. Les capteurs ont été positionnés dans 3 salles différentes :

Salle du trésor

Capteur 1	Capteur 2 (1 m) Capteur 3 (3 m)	Capteur 4
Mur orienté au Nord : Capteur à hauteur d'homme au niveau de la niche	Mur orienté au Sud : 1 capteur à la même hauteur que capteur 1 1 capteur à 3 m	Mur est orienté au Nord : Positionné entre les fenêtres

Environnement Salle du trésor

Capteur 5	Capteur 6
A l'extérieure façade nord	Dans la cathédrale, secteur Bas-côté Nord
	

Salle de réserve

Capteur 7	Capteur 8
Mur Nord, à proximité de la fenêtre	Mur Ouest

III. Pertes de données de mesure

Pas de perte de donnée sur la période de mesure

IV. Exports des données

Les données ont été exportées dans des fichiers Csv

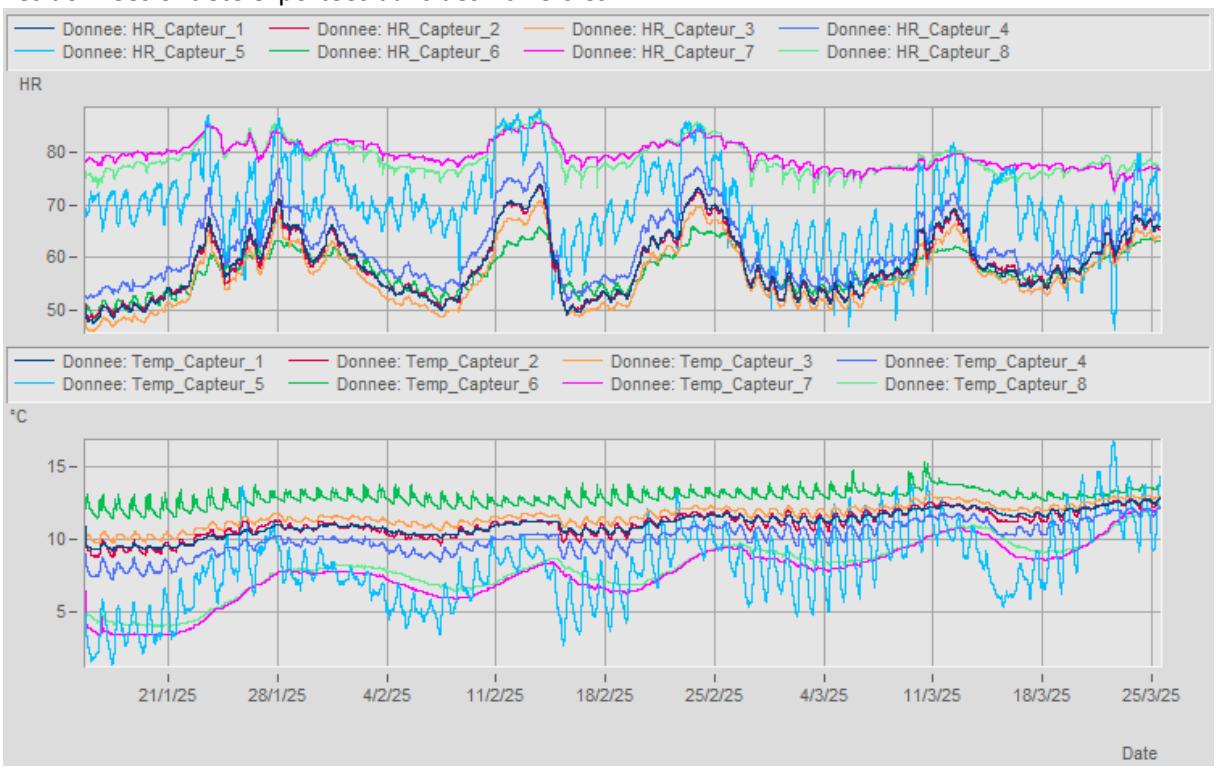


Figure 1 : Vue globale des mesures

V. Analyse des résultats

1. Données d'ambiance

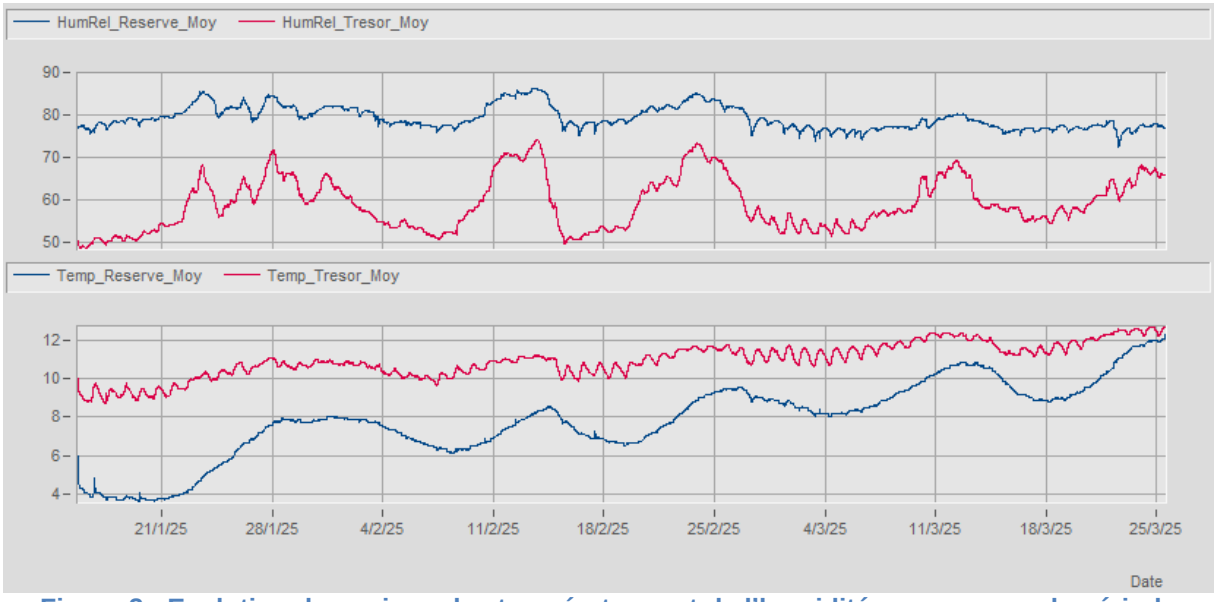


Figure 2 : Evolution dynamique des températures et de l'humidité moyenne sur la période

III. Pertes de données de mesure

Pas de perte de donnée sur la période de mesure

IV. Exports des données

Les données ont été exportées dans des fichiers Csv

Figure 1 : Vue globale des mesures

V. Analyse des résultats

1. Données d'ambiance

Figure 2 : Evolution dynamique des températures et Humidité moyenne sur la période

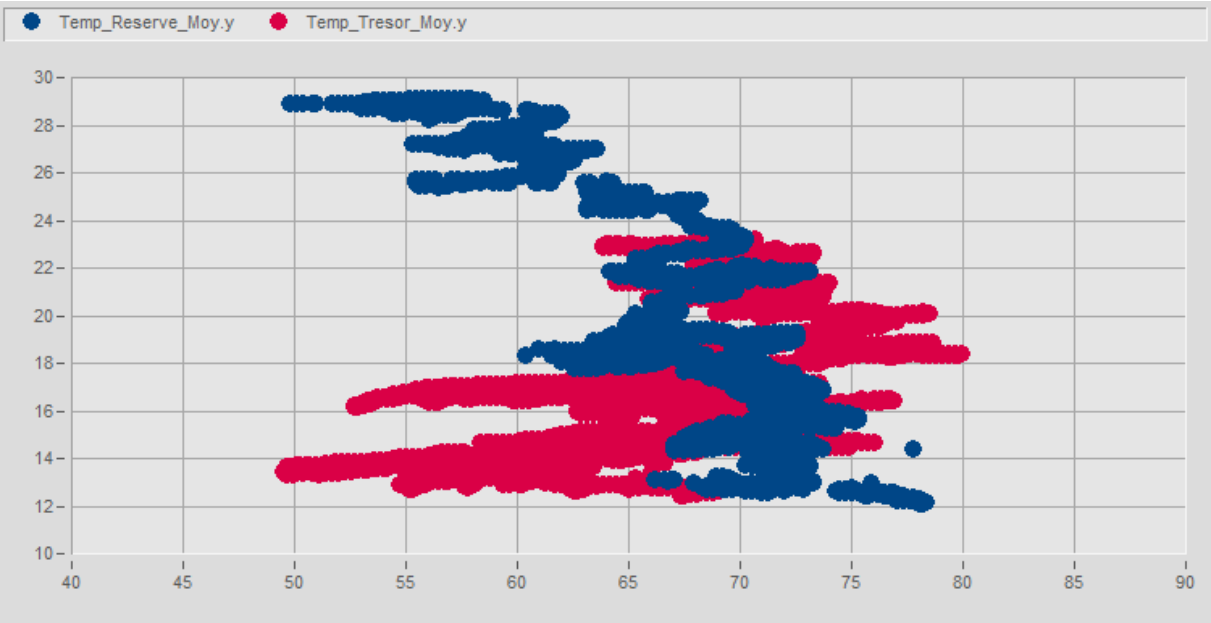


Figure 3 * U D S K L T X H ; < G H V F R Q G L W L R Q V G ¶ D P E L D Q F H G D Q V les deux zones

La salle du trésor a connu des températures en constante augmentation qui vont de 13°C à 23 °C au cours du trimestre alors que les températures extérieures ont dépassé les 30°C. Cette fraicheur, due à o [ ] v , Œ š] entrainé des humidités relatives qui ont ponctuellement dépassé 80%.
La salle réserve est montée significativement plus haut v š u ‰ Œ š µ Œ U š ‰ Œ } v • ‹ µ v š relative observée, qui était haute en début de trimestre, a eu tendance à descendre.

2. Comparaison des Températures

i. Température au sein de la salle du trésor.

Lors du relevé des capteurs réalisé le 04/07/25, la fenêtre de la salle du trésor était entrouverte. (c figure ci-dessous) X E v [À } v • ‰ • [ ] v (} Œ u š] } v • µ Œ o š ‰ Œ š] Œ o ‹

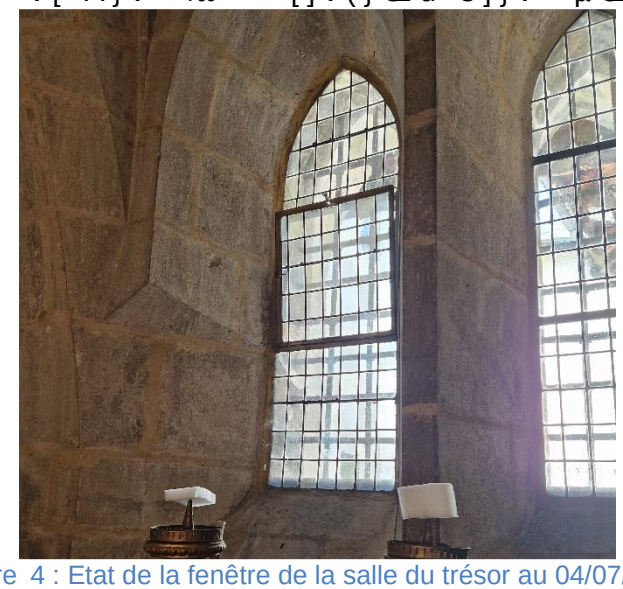


Figure 4 : Etat de la fenêtre de la salle du trésor au 04/07/25

La température au sein de la salle du trésor est assez homogène sur la période, avec des écarts de moins de 1°C entre les capteurs sur la majorité de la période

Les deux sondes situées sur le mur mitoyen avec la pièce principale mesurent des valeurs de température légèrement plus hautes que les autres ce qui est cohérent avec les températures observées dans la salle principale (+1 à +3°C par rapport à la salle du trésor)

La sonde située au niveau des fenêtres (capteur 4) mesurait initialement des températures plus basses que la sonde de la niche, mais, au fil du trimestre, les températures ont été plus hautes. La faiblesse thermique (conduction et infiltration) due à la présence des fenêtres explique sans doute ce phénomène. La sonde de la fenêtre est plus impactée par la température extérieure que les autres sondes

La variation jour/nuit des températures est inférieure à 1°C, ce qui est [illegible] thermique.

Une légère stratification est visible avec la sonde en position haute (sonde 3) mesurant des températures légèrement plus élevées que la sonde 2 (entre 0.5 et 1°C)

[illegible] 24°C et la température minimale de 12°C.

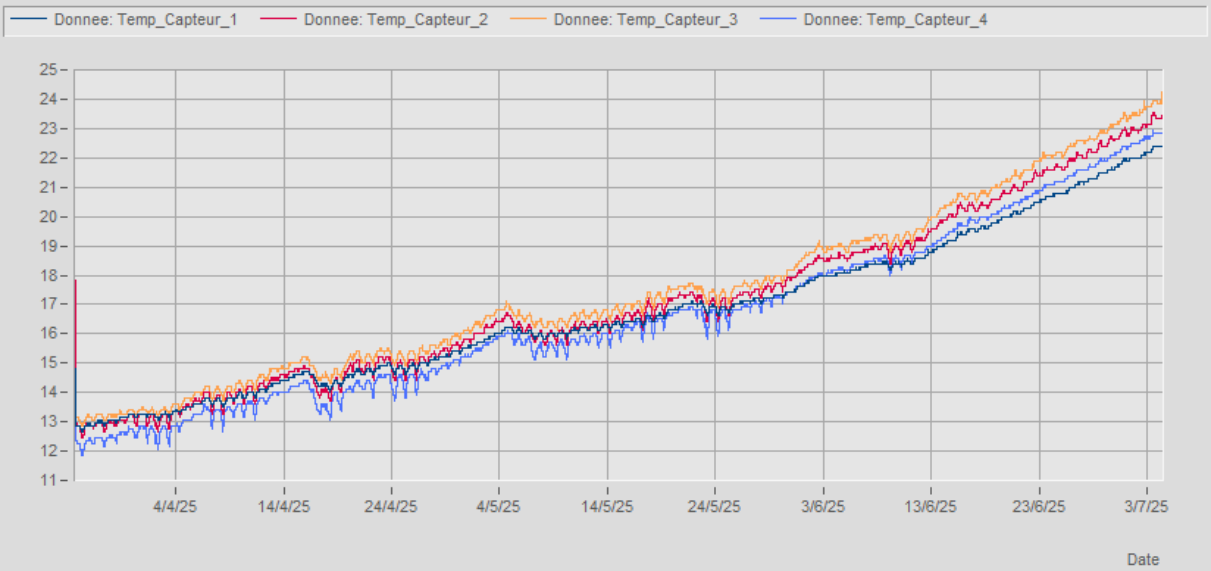


Figure 5 : Comparaison des températures dans la salle du Trésor

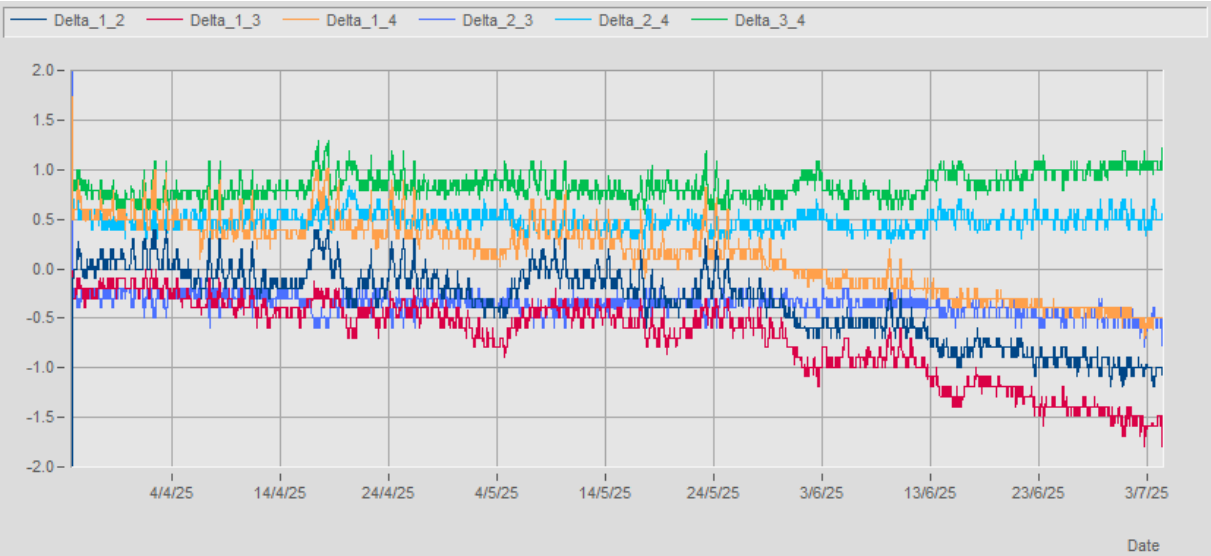


Figure 6 : Ecarts des températures de la salle du Trésor

ii. Températures environnantes

La salle principale de la cathédrale (capteur 6) est environ 1 à 3°C plus chaude que la salle du Trésor. La proximité avec la salle principale peut donc avoir un impact qui tend à réchauffer la salle du Trésor sur la période

Les mouv u v š • [v • u o • • } v š la température extérieure (capteur 5) moyenne ce qui indique une faible isolation thermiq µ • ‰ Œ } extérieur. > [µ P u v š š] } v o š u ‰ Œ dans la salle du trésor reste limitée sur la période de juin, ce qui montre une forte inertie dans la zone.

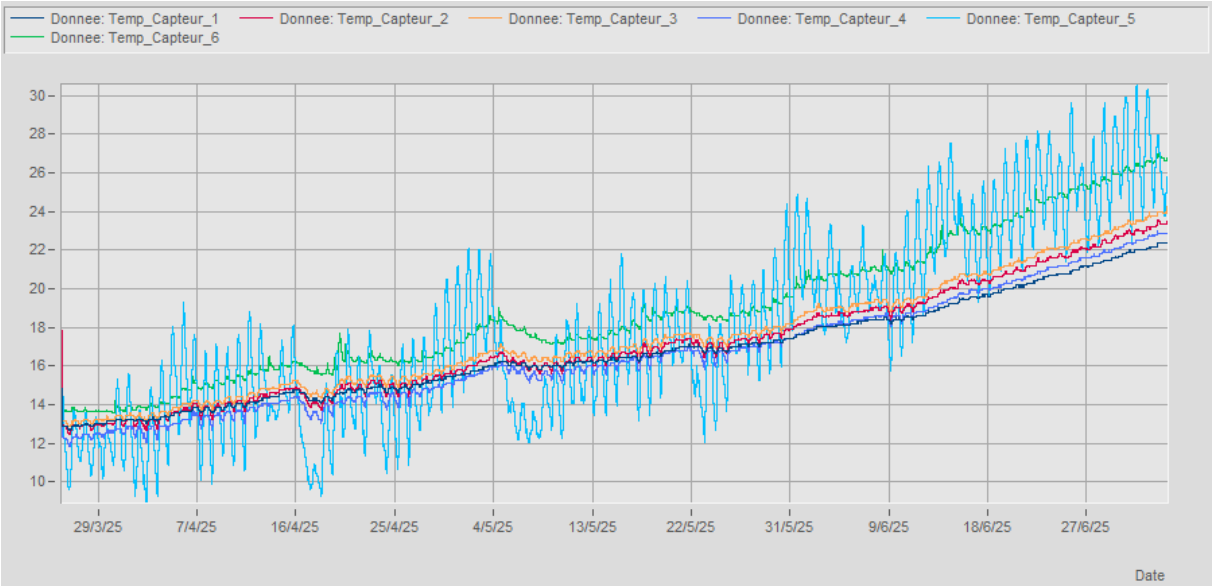


Figure 7 : Comparaison des températures de la salle du Trésor avec les zones environnantes

iii. Température salle réserve

Les deux capteurs de la salle réserve donnent des valeurs très similaires sur la majorité du trimestre de mesure. > [ ] • } o š] } v o • o o • u o š Œ • (u]] v š i µ Œ < 9 °C. š u ‰ Œ š µ Œ

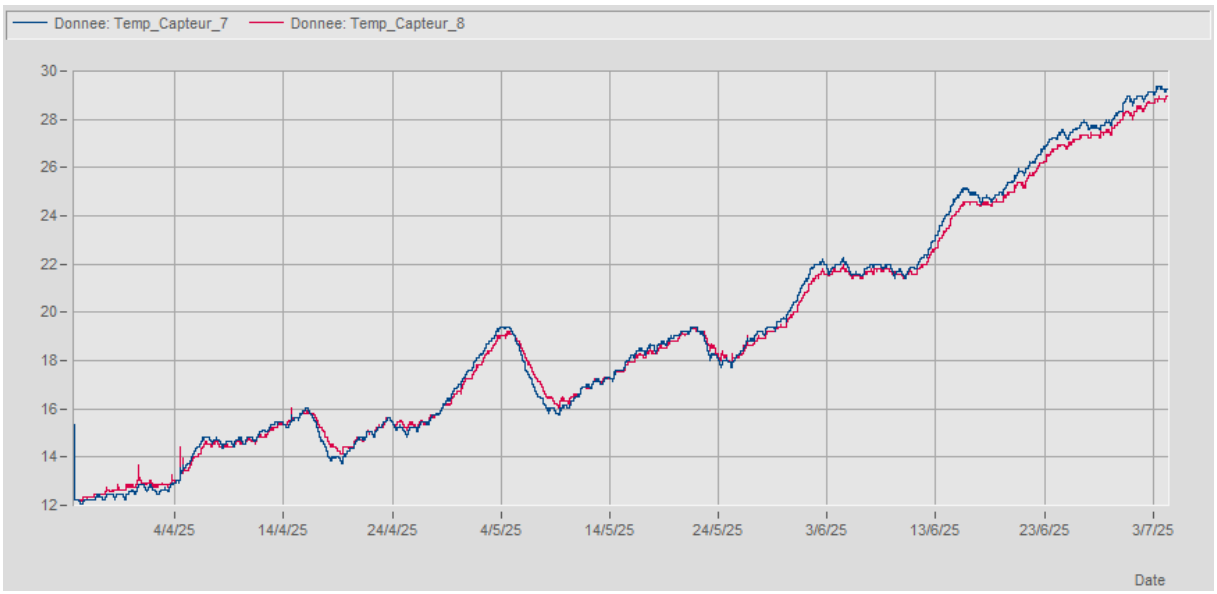


Figure 8 : Comparaison des températures dans la salle Reserve

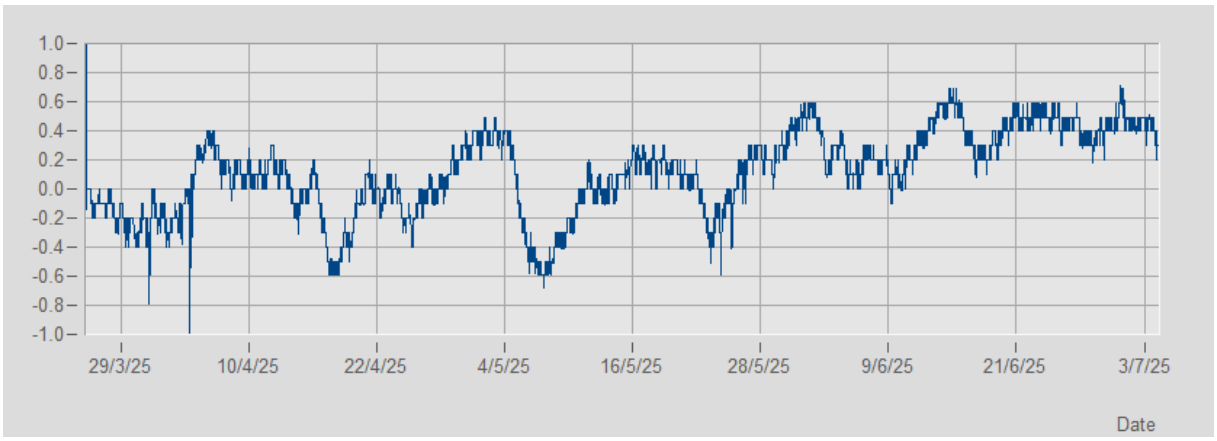


Figure 9 : Ecarts des températures de la salle Reserve

3. Comparaison des Humidité Absolues

} v š Œ] Œ u v š o [Z µ u] Z µ u] Œ] š o š] • À o µ v ‰ v ‰ • o š u ‰ Œ š
} v [À o µ Œ o [Z } u } P v] š • u] v • š o • Z v P • À o [Æ š Œ

Au sein de la salle du Trésor, les humidités absolues sont toutes très proches et très réactives vis à vis o [Z µ u] midité absolue extérieure (capteur 5), ce qui permet de supposer une ventilation significative de la pièce.

Au sein de la salle réserve (capteurs 7 et 8) U o [Z µ u]] š • } o µ • u o u }] •] u ‰ š ‰ extérieure, ce qui caractérise une zone peu ventilée.
> [Z µ u]] š • } o µ réserve ‰ • Œ o • v š µ v o P Œ }] • • v š À o [Z µ u extérieure X v ‰ o µ • [! š Œ u o À v š] o U š š ‰] û à v ‰ ‰ } Œ š [‰ Œ • v Z µ u] v U •] v ( ] o š Œ eau interne (lavage, etc.) ‰ } Œ š [

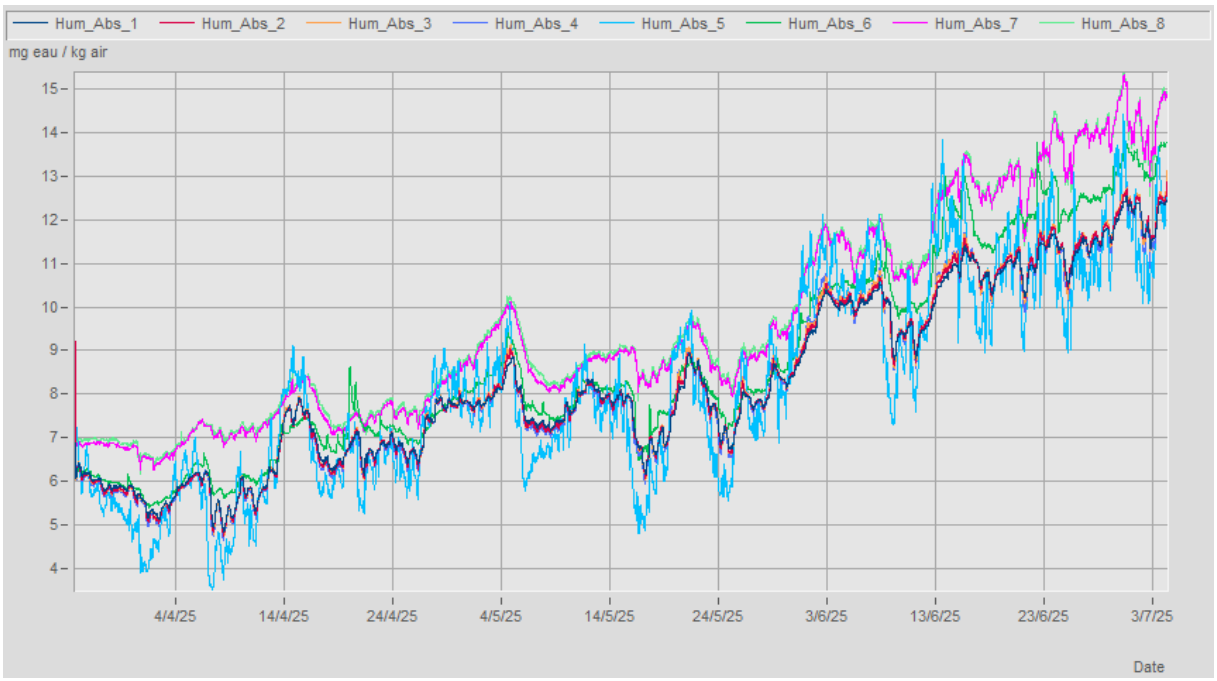


Figure 10 : Comparaison des humidtés absolues