



**HAL**  
open science

**Fonctionnement et mesures des capacités de  
thermorégulation de la salle expérimentale du hall  
technique d'Irstea de Cestas. Températures de consigne :  
de 10°C à 25°C**

Jacky Vedrenne, Sylvia Moreira, G. Jan

► **To cite this version:**

Jacky Vedrenne, Sylvia Moreira, G. Jan. Fonctionnement et mesures des capacités de thermorégulation de la salle expérimentale du hall technique d'Irstea de Cestas. Températures de consigne : de 10°C à 25°C. irstea. 2018, pp.25. hal-02607838

**HAL Id: hal-02607838**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02607838v1>**

Submitted on 16 May 2020

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

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



# Fonctionnement et mesures des capacités de thermorégulation de la salle expérimentale du hall technique d'Irstea de Cestas

TEMPERATURES DE CONSIGNE : DE 10°C A 25°C

SEPTEMBRE 2018  
**JACKY VEDRENNE**  
**SYLVIA MOREIRA**  
**GWILHERM JAN**

Irstea Bordeaux  
50, Avenue de Verdun  
33612 Cestas Gazinet

## Table des matières

1	Problématique .....	1
2	Matériels et méthodes .....	1
2.1	La salle expérimentale thermorégulée et les accessoires associés .....	1
2.2	Le suivi des capacités de régulation thermique de la salle thermorégulée .....	2
3	Résultats et discussions .....	3
3.1	Détermination de la capacité de thermorégulation, sans expérimentation .....	3
3.2	Détermination de la capacité de thermorégulation, avec expérimentation .....	5
3.2.1	Description de l'expérimentation .....	5
3.2.2	Température air ambiant paille sèche .....	6
3.2.3	Température dans la structure expérimentale .....	7
4	Recommandations .....	8
5	Conclusion .....	9

## Table des illustrations :

tableau 1 : Synthèse des suivis de capacité de thermorégulation sans expérimentation avec hystérésis de 1°C .....	3
tableau 2 : Synthèse des suivis de capacité de thermorégulation sans expérimentation avec hystérésis de 2°C .....	4
tableau 3 : Tableau de correspondance entre la température air ambiant structure expérimentale moyenne souhaitée (en absence d'éclairage) et la température de consigne à programmer.....	5
tableau 4 : Synthèse des températures moyennes de l'air ambiant paille sèche (°C), avec et sans expérimentation, à température de consigne 25°C et hystérésis de 1°C.....	7
tableau 5 : Synthèse des températures moyennes (°C) dans la structure expérimentale, lors des expérimentations réalisées à température de consigne 25°C et hystérésis de 1°C.....	8
tableau 6 : Procédure de réglage de la température de consigne et de l'hystérésis .....	10
tableau 7 : Mesures des écarts à une référence de température de l'enregistreur traçable Bx26 .....	16
tableau 8 : Comparaison des mesures de température moyenne « air ambiant structure expérimentale » enregistrées par la sonde externe et le capteur interne du Bx26 .....	17
tableau 9 : Référence et emplacement des tinytags utilisés .....	17
tableau 10 : Comparaison des mesures de température moyenne « air ambiant structure expérimentale » enregistrées par la sonde externe et le capteur tinytag Bx21 .....	18
tableau 11 : Températures enregistrées lors de chaque essai aux différentes températures de consignes et différentes hystérésis, sans expérimentation, par la capteur Bx26.....	20
tableau 12 : Températures enregistrées lors de chaque essai aux différentes températures de consignes et différentes hystérésis, sans expérimentation, par les capteurs tinytags (Bx21, Bx23 et Bx25) .....	21
figure 1 : Dynamique de régulation de la température air ambiant structure expérimentale (passage d'une consigne de 25°C à une consigne de 10°C).....	3
figure 2 : Dynamique de régulation de la température air ambiant structure expérimentale (passage d'une consigne de 10°C à une consigne de 25°C).....	3
figure 3 : Comparaison des mesures à hystérésis 2°C (en rouge) et 1°C (en bleu).....	4
figure 4 : Relation entre les températures air ambiant structure expérimentale moyennes mesurées et la température de consigne programmée .....	5
figure 5 : Evolution de la température de l'air ambiant paille sèche sur 4 jours en configuration expérimentale.....	6
figure 6 : Evolution de la température de l'air ambiant paille sèche le 6/7/18 en configuration expérimentale.....	6
figure 7 : Evolution de la température dans la structure expérimentale.....	7
figure 8 : Défaut de régulation de température le 18/4/18 sans affichage d'un message d'erreur .....	8
figure 9 : Défaut de régulation de température le 18/5/18 sans affichage d'un message d'erreur .....	9
figure 10 : Droite de régression entre les températures mesurées par la sonde externe de l'enregistreur traçable Bx26 et un thermomètre de référence. ....	16
figure 11 : Evolution de la température du 23/1 au 25/1/18 (Consigne : 10°C, Hystérésis 2°C) .....	22
figure 12 : Evolution de la température du 30/1 au 6/2/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 2°C) .....	22
figure 13 : Evolution de la température le 7/2/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 1°C).....	22
figure 14 : Evolution de la température du 10/2 au 12/2/18 (Consigne : 25°C, Hystérésis 1°C) .....	22
figure 15 : Evolution de la température du 14/2 au 1/3/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 1°C) .....	23
figure 16 : Evolution de la température du 2/3 au 13/3/18 (Consigne : 15°C, Hystérésis 1°C) .....	23
figure 17 : Evolution de la température du 15/3 au 3/4/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 1°C) .....	23
figure 18 : Evolution de la température du 4/4 au 18/4/18 (Consigne : 25°C, Hystérésis 1°C) .....	23
figure 19 : Evolution de la température du 24/4 au 14/5/18 (Consigne : 10°C, Hystérésis 1°C) .....	24
figure 20 : Evolution de la température du 15/5 au 18/5/18 (Consigne : 25°C, Hystérésis 2°C) .....	24
figure 21 : Evolution de la température du 1/6 au 18/6/18 (Consigne : 15°C, Hystérésis 2°C) .....	24
figure 22 : Evolution des écarts à la température de consigne en fonction de la différence entre la température de consigne et la température moyenne du hall technique ou de l'air ambiant extérieur (hystérésis 1°C) .....	25
figure 23 : Evolution des fluctuations de température moyenne en fonction de la différence entre la température de consigne et la température moyenne du hall technique ou de l'air ambiant extérieur (hystérésis 1°C) .....	25

Liste des Annexes :

Annexe 1 : Réglage de la température de consigne et de l'hystérésis sur la centrale de programmation de la régulation.....	10
Annexe 2 : Emplacement des 2 ventilateurs, des 3 résistances électriques et des sondes de température dans la salle thermorégulée .....	11
Annexe 3 : Contrôle de la centrale de traitement de l'air (CTA).....	12
Annexe 4 : Comment pallier aux messages d'erreurs affichés par la centrale de programmation de la thermorégulation de la salle expérimentale .....	13
Annexe 5 : Configuration expérimentale .....	14
Annexe 6 : Caractéristiques des enregistreurs de température.....	16
Annexe 7 : Emplacement des capteurs de température .....	19
Annexe 8 : Températures enregistrées lors des essais à différentes températures de consignes et différentes hystérésis .....	20
Annexe 9 : Evolution de la température lors de différents cycles de régulation .....	22
Annexe 10 : Evolution des écarts à la température de consigne et des fluctuations de température moyenne .....	25

# 1 Problématique

A la suite de quelques dysfonctionnements de la régulation de la température de la salle thermorégulée du hall technique de l'Irstea de Cestas aux cours d'expérimentations en 2017, il a été nécessaire de réaliser ce rapport afin d'optimiser cette régulation et de faire un retour d'expérience quant à son fonctionnement.

Les capacités de régulation de la chambre thermorégulée sont ainsi précisées grâce au suivi en continu des températures de la salle thermorégulée à différentes périodes au cours de l'année 2018 afin de couvrir un panel important de variations de conditions climatiques (température air ambiant extérieur). De plus, différentes programmations de la régulation (température de consigne, hystérésis) et configurations d'expérimentales (avec et sans éclairage au-dessus des réacteurs expérimentaux) ont permis d'étudier l'impact du changement : de la température de consigne, de l'hystérésis, d'éclairage permettant ainsi de couvrir le plus possible l'ensemble des conditions expérimentales plausibles.

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 La salle expérimentale thermorégulée et les accessoires associés

Cette salle expérimentale thermorégulée est une salle de 11,9 m<sup>2</sup> (35,7m<sup>3</sup>)<sup>1</sup> isolée et équipé d'un système de régulation de température à l'aide d'un groupe froid et d'un ensemble de résistances thermiques. Elle est localisée dans le hall technique d'Irstea de Bordeaux (Cestas). Ce système de régulation a été mis en place en 2007 en remplacement d'un précédent système non satisfaisant. Les détails (câblage et puissances électrique, dimensions) de l'installation ne sont pas abordés dans ce rapport, l'ensemble des documents techniques sont placés dans le bureau des techniciens EABX (cf. Gwilherm Jan).

Les principales informations à connaître sont résumées ci-dessous.

- La température de consigne qui est la température souhaitée par l'expérimentateur doit être programmée dans la centrale de programmation de la régulation, sur chacun des 2 régulateurs pilotant le groupe froid et les résistances thermiques. Cette centrale est placée à l'entrée de la salle thermorégulée (cf photo 1). L'Annexe 1 décrit précisément les étapes de programmation.

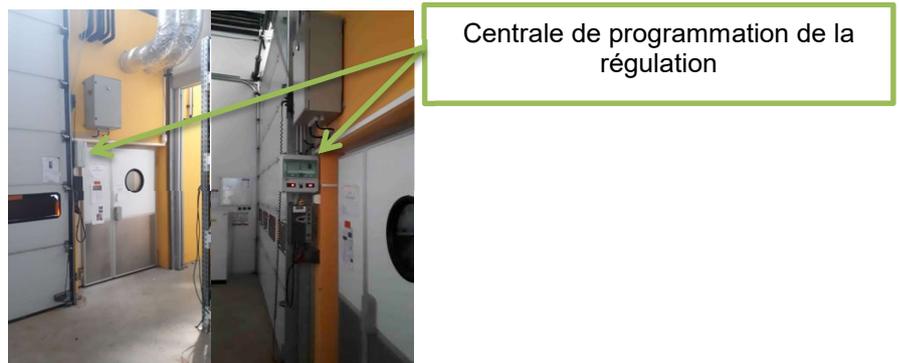


photo 1 : Emplacement de la centrale de programmation de la régulation

- En fonction de l'écart de température mesuré par rapport à la température de consigne : un groupe froid (compresseur) placé sur le toit du hall technique permet d'abaisser la température de l'air dans la salle thermorégulée, l'augmentation de la température quant à elle est assurée par 3 résistances électriques se trouvant derrière les ventilateurs dans la salle thermorégulée (photo 3 Annexe 2). L'air régulé est pulsé dans la pièce par 2 ventilateurs fonctionnant simultanément, le flux d'air important généré par ces deux ventilateurs et le bruit

<sup>1</sup> longueur : 4181 mm, largeur : 2854 mm et hauteur : 2995 mm

sont à considérer lors des expérimentations (évaporation forte, ambiance sonore). Il est possible d'arrêter momentanément la régulation (bouton interrupteur, photo 2 Annexe 1) pour réaliser des prélèvements et de s'équiper d'un casque antibruit.

- La température mesurée dans la salle thermorégulée est reportée en façade de la centrale de programmation de la régulation sur chacun des afficheurs (photo 2 Annexe 1). Sur l'afficheur du régulateur froid (à gauche) les températures sont indiquées au degré (°C) alors que sur l'afficheur du régulateur chaud elles sont exprimées au dixième de degré (0,1°C). Il ne faut pas trop tenir compte des températures affichées sur la centrale, car les sondes de température réalisant les mesures sont placées derrière les ventilateurs et proches du plafond (photo 4 Annexe 2), elles ne reflètent pas exactement la température ambiante au niveau des paillasses. Une sonde de température est utilisée par le régulateur « chaud » et une autre par le régulateur « froid ». Lors des expérimentations, il est nécessaire d'avoir un thermomètre de précision avec afficheur plongé dans le milieu expérimental afin de connaître précisément les conditions expérimentales.
- Pour des raisons de sécurité, une extraction d'air est installée dans cette salle pilotée par la centrale de traitement de l'air (photo 5 Annexe 3), 4 buses sont placées au plafond aux 4 coins de la salle (photo 6 Annexe 3). Afin de maintenir au mieux la régulation de température pendant les expérimentations il est nécessaire d'éviter d'utiliser cette extraction, toutefois il est conseillé de l'utiliser en cas de production d'odeurs gênantes lors des expérimentations en présence de personnel.

## 2.2 Le suivi des capacités de régulation thermique de la salle thermorégulée

Les températures de consignes susceptibles d'être les plus utilisées dans cette salle varient de 10°C à 25°C. Les essais réalisés ont été effectués à 4 températures de consigne équitablement réparties à savoir 10, 15, 20, 25°C. Une consigne supplémentaire doit être paramétrée (Annexe 1), il s'agit de l'hystérésis<sup>2</sup> qui est la tolérance (en °C) que l'on admet autour de la valeur de consigne pour éviter des démarrages et arrêt trop fréquent du groupe froid et des résistances. Les essais ont été réalisés avec des hystérésis de 1°C et 2°C (valeur généralement préprogrammée par défaut).

Les essais se sont déroulés du 8/1 au 12/7/18, répartis en deux principales périodes :

- du 8/1 au 22/6/18 (soit environ 6 mois), l'objectif était de déterminer les performances de la régulation de température de la salle thermorégulée en l'absence d'expérimentation générant des sources de chaleurs (absence d'éclairage et de pompes).
- du 22/6 au 12/7/18 (soit 20 jours), l'objectif était de déterminer l'impact d'une expérimentation sur les performances de la régulation de température de la salle thermorégulée en présence de sources de chaleurs (éclairage, pompes ...).

Afin de déterminer ces performances, des enregistreurs de température ont été utilisés, ces enregistreurs sont décrits dans l'Annexe 6 avec leurs fréquences d'acquisition de données. Ils ont été placés :

- du 8/1/18 au 22/6/18 à la surface d'aquariums vides dans la salle thermorégulée pour mesurer la température de l'air ambiant au niveau des potentiels futurs réacteurs expérimentaux (photo 11 Annexe 7), ces températures sont dénommées « *température air ambiant structure expérimentale* ». Ces capteurs ont ensuite été déplacés du 22/6/18 au 12/7/18 pour les localiser judicieusement en fonction de l'expérimentation (photo 12 Annexe 7).
- à l'air ambiant en extérieur des bâtiments, à l'ombre, dénommée « *air ambiant extérieur* » et à l'air ambiant dans le hall technique à l'entrée de la salle thermorégulée (tableau 9 Annexe 6) dénommée « *air ambiant hall technique* ». L'objectif étant de connaître les températures pouvant influencer les performances de régulation de température de la salle thermorégulée lors de ces suivis.

---

<sup>2</sup> On définit généralement une hystérésis autour de la valeur de consigne, pour éviter des oscillations trop fréquentes de changement d'état (marche/arrêt) du dispositif contrôlé (*source : Notice technique régulateurs*). Le dispositif contrôlé désigne dans ce cas de figure le groupe froid et les résistances thermiques.

L'ensemble des suivis ont été réalisés sans mise en marche de l'extraction d'air (CTA, Annexe 3).

La moyenne des températures par période a été calculée pour chaque capteur de température à partir du lendemain (à 00h00) de la mise en place de la valeur de consigne (changement de consigne toujours réalisé en matinée), jusqu'à la veille du changement de consigne (23h59) hors incidents. Ainsi la mise en température de la salle ne fait pas partie de la moyenne, en effet nous avons constaté que la puissance de régulation de la température permet d'atteindre la valeur de consigne en moins de 6 heures comme l'indique la figure 1 et la figure 2.

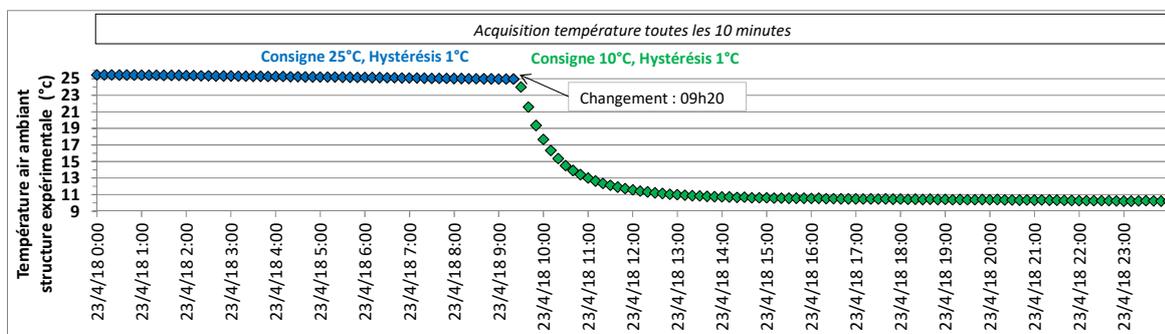


figure 1 : Dynamique de régulation de la température air ambiant structure expérimentale (passage d'une consigne de 25°C à une consigne de 10°C)

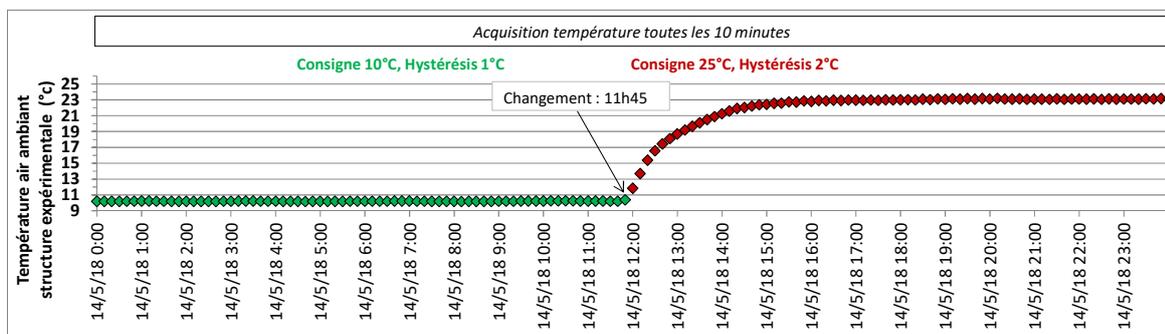


figure 2 : Dynamique de régulation de la température air ambiant structure expérimentale (passage d'une consigne de 10°C à une consigne de 25°C)

### 3 Résultats et discussions

#### 3.1 Détermination de la capacité de thermorégulation, sans expérimentation

La synthèse des températures enregistrées sans expérimentation (air ambiant structure expérimentale) est présentée dans le tableau 1 et le tableau 2, l'ensemble des résultats sont reportées dans l'Annexe 8.

tableau 1 : Synthèse des suivis de capacité de thermorégulation sans expérimentation avec hystérésis de 1°C

Température de consigne (°C)	Température moyenne : (°C)	Température minimum/maximum : (°C)	fluctuation température (°C)	Nombre de jour de mesures	Température moyenne : Air ambiant hall technique (°C)	Température moyenne : Air ambiant extérieur (°C)
10	10,2 <sup>a</sup>	09,7/10,6 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup>	20	20,2 <sup>b</sup>	13,4 <sup>c</sup>
15	15,5 <sup>a</sup>	14,3/15,9 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	11	16,5 <sup>b</sup>	10,6 <sup>c</sup>
20	19,1 <sup>a</sup>	18,8/19,7 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup>	35	14,9 <sup>b</sup>	06,7 <sup>c</sup>
25	24,0 <sup>a</sup>	23,6/24,6 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup>	14	18,3 <sup>b</sup>	11,3 <sup>c</sup>

a : Bx26, b : Bx23, c : Bx25

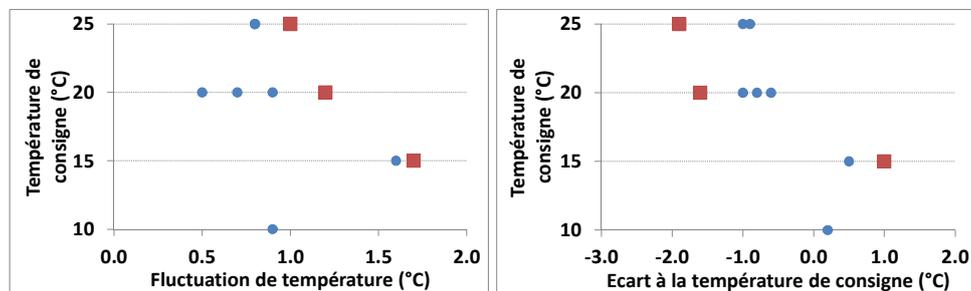
**tableau 2 : Synthèse des suivis de capacité de thermorégulation sans expérimentation avec hystérésis de 2 °C**

Température de consigne (°C)	Température moyenne : (°C)	Température minimum/maximum : (°C)	fluctuation température (°C)	Nombre de jour de mesures	Température moyenne : Air ambiant hall technique (°C)	Température moyenne : Air ambiant extérieur (°C)
10	11,0 <sup>d</sup>	/	/	2	16,3 <sup>b</sup>	10,5 <sup>c</sup>
15	16,0 <sup>a</sup>	14,9/16,6 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	17	24,4 <sup>b</sup>	18,4 <sup>c</sup>
20	18,4 <sup>a</sup>	17,9/19,1 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	7	13,7 <sup>b</sup>	05,5 <sup>c</sup>
25	23,1 <sup>a</sup>	22,7/23,7 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup>	3	20,6 <sup>b</sup>	15,0 <sup>c</sup>

a : Bx26, b : Bx23, c : Bx25, d : Bx21

Les figures en Annexe 9 présentent les cycles de régulation des périodes étudiées, on constate que des cycles fréquents de mis en marche du groupe froid et des résistances électriques ont lieu, la période des cycles est également variable. Il est difficile de conclure sur l'intérêt d'utiliser l'hystérésis de 1°C ou 2°C pour économiser le matériel car les cycles se répètent tous les 10 à 50 minutes pour les deux hystérésis.

Les essais réalisés avec l'hystérésis de 1°C permettent d'obtenir inévitablement des fluctuations (écart entre la valeur de température maximale et la valeur de température minimale) moins importantes qu'avec l'hystérésis de 2°C comme le confirme la figure 3. Les écarts entre la température de consigne et la température air ambiant structure expérimentale moyenne sont plus importantes avec l'hystérésis de 2°C (figure 3). Il faut noter qu'à température de consigne de 15°C, les fluctuations de température sont les plus importants et que les écarts à la température de consigne sont nettement positifs.



**figure 3 : Comparaison des mesures à hystérésis 2°C (en rouge) et 1°C (en bleu)**

Le tableau 3 ci-après permet de connaître la température de consigne à programmer afin d'obtenir la température air ambiant structure expérimentale moyenne souhaitée en fonction de l'hystérésis et en absence d'expérimentation. Ce tableau a été réalisé à partir de l'ensemble des mesures réalisées sans distinguer les variations de conditions de températures extérieures afin d'englober au maximum l'ensemble des variations de températures extérieures observées. Les températures de l'air ambiant extérieur enregistrées lors des mesures sont indiquées entre parenthèses dans le tableau 3. L'équation de la droite de régression obtenue sur la figure 4 permet d'estimer également les consignes à programmer qui sont légèrement décalées par rapports aux mesures présentées dans le tableau 3.

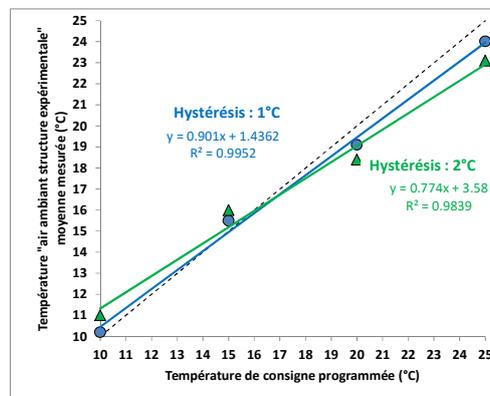
Toutefois, à partir de mesures réalisées à 20°C et 25°C (hystérésis 1°C), la figure 22 (Annexe 10) présente une tendance à une chute de l'écart à la température de consigne avec les essais réalisés aux températures les plus éloignées de l'air ambiant du hall ou extérieur. Ce qui tend à prouver la bonne efficacité des résistances électriques. En extrapolant, on peut admettre qu'il n'est pas nécessaire dans une certaine limite de tenir compte de la température extérieure pour les futures

expérimentations. Par contre aucune tendance n'est observée concernant la fluctuation des températures comme l'indique la figure 23 (Annexe 10).

**tableau 3 : Tableau de correspondance entre la température air ambiant structure expérimentale moyenne souhaitée (en absence d'éclairage) et la température de consigne à programmer**

Température moyenne souhaitée (°C)	Consigne à programmer : Hystérésis de 1°C	Consigne à programmer : Hystérésis de 2°C
10	9,8 (13,4 : 3,4/27,7) <sup>a</sup>	9,0 (10,5 : 7,5/14,1) <sup>a</sup>
15	14,5 (10,6 : 3,3/20,1) <sup>a</sup>	14,0 (18,4 : 12,5/25,9) <sup>a</sup>
20	20,9 (6,7 : -5,3/20,2) <sup>a</sup>	21,6 (5,5 : -0,2/10,8) <sup>a</sup>
25	26,0 (11,3 : -1,4/24,6) <sup>a</sup>	26,9 (15,0 : 11,3/20,8) <sup>a</sup>

a : température air ambiant extérieur enregistrées au cours des mesures, température moyenne (température minimale/température maximale)



**figure 4 : Relation entre les températures air ambiant structure expérimentale moyennes mesurées et la température de consigne programmée**

## 3.2 Détermination de la capacité de thermorégulation, avec expérimentation

### 3.2.1 Description de l'expérimentation

Les capacités de régulation de température de cette salle ont été suivies avec une expérimentation pour confirmer ou non les précédents résultats obtenus sans expérimentation. Cette expérimentation a été menée du 25/6 au 9/7/18 (soit 15 jours) à une température de consigne de 25°C, avec une hystérésis de 1°C.

Cette expérimentation comprenait 4 aquariums placés en parallèle (photo 7 Annexe 5) remplis chacun de 34 litres d'eau du plan d'eau d'Irstea. Au-dessus de ces aquariums (environ 50 cm) des tubes fluorescents d'éclairages (caractéristiques techniques en Annexe 5) étaient programmés pour s'allumer cycliquement afin de simuler les phases d'éclairage naturel du jour et de la nuit. La programmation utilisée permettait d'avoir 16 heures de jour (éclairage) et 8 heures de nuit (absence d'éclairage). Afin d'obtenir une homogénéité dans le flux lumineux et de pouvoir s'affranchir de l'impact lumineux potentiel d'expérimentations réalisées concomitamment dans cette salle thermorégulée, une couverture opaque et une couverture réfléchissante ont été mis en place (photo 7 Annexe 5).

Pour éviter au maximum l'effet opérateur par ouverture des rideaux ou autres manipulations, nous avons sélectionné uniquement les enregistrements du 5/7/18 9h00 au 9/7/18 9h00 soit 4 jours en continu.

Les enregistreurs de températures ont été placés comme indiqué sur la photo 12 (Annexe 7).

### 3.2.2 Température air ambiant paille sèche

La température moyenne de l'air ambiant au niveau de la paille sèche est de 25,5°C, elle varie entre 24,5 et 26,1°C comme l'indique la figure 5 et la figure 6. Cette température moyenne observée est donc supérieure de 0,5°C à la consigne, ce qui ne corrobore pas avec les températures air ambiant structure expérimentale mesurées sans expérimentation qui était inférieure d'environ 1°C à la même température de consigne et la même hystérésis (tableau 4). En effet, du 10/2/18 au 13/2/18 et du 4/4/18 au 18/4/18 (tableau 11 Annexe 8) les deux essais indiquent une température inférieure de l'ordre de 1°C à la température de consigne, il y a donc une augmentation de la température moyenne sur la paille sèche de 1,5°C avec cette configuration expérimentale générant de la chaleur. De plus, la variation de température observée entre la température minimale et maximale dans cette configuration expérimentale (avec éclairage) est de 1,6°C, alors qu'elle était de 0,8°C sans expérimentation.

Il faudra donc en tenir compte lors de futures expérimentations simultanées proches de cette structure expérimentale. Les écarts constatés ne sont valables qu'avec la puissance d'éclairage correspondant à cette expérimentation.

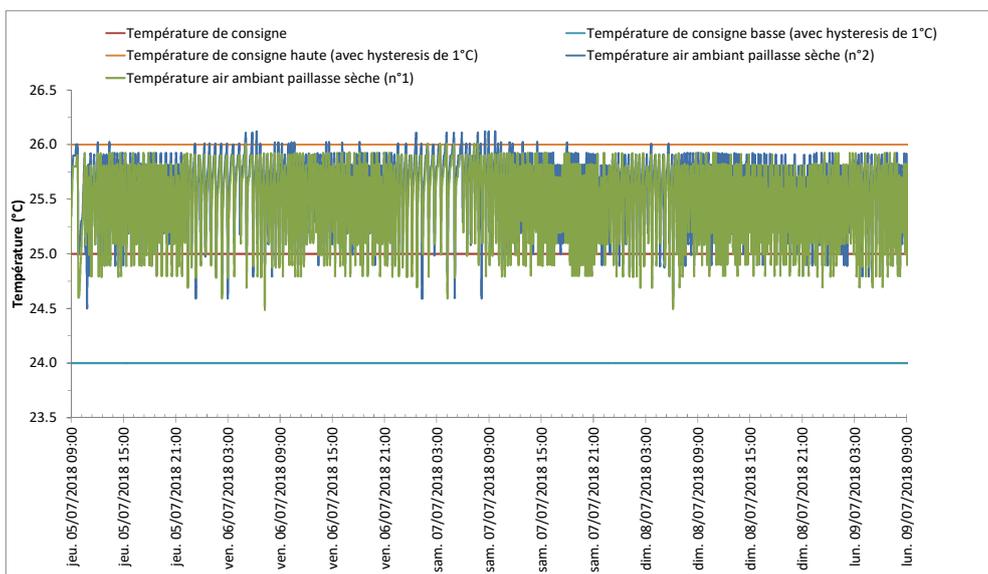


figure 5 : Evolution de la température de l'air ambiant paille sèche sur 4 jours en configuration expérimentale

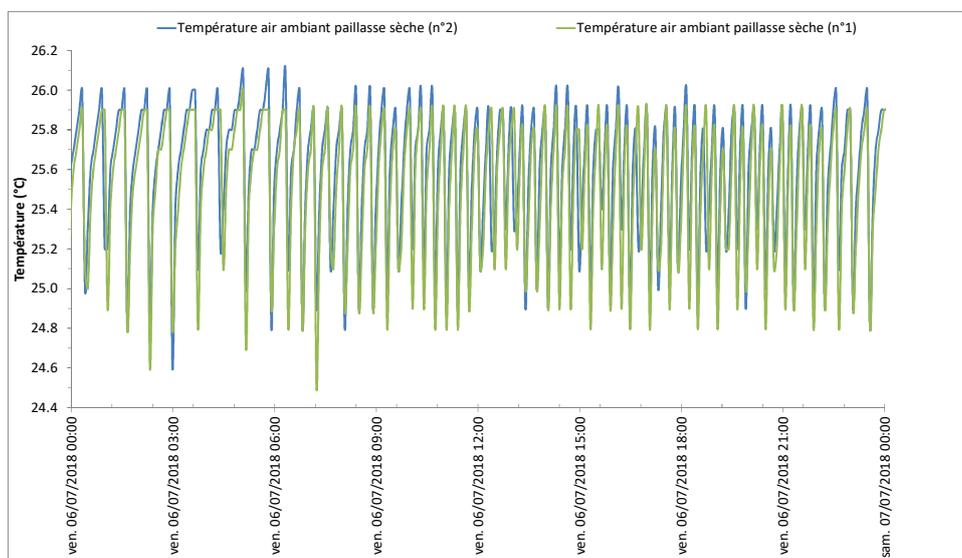


figure 6 : Evolution de la température de l'air ambiant paille sèche le 6/7/18 en configuration expérimentale

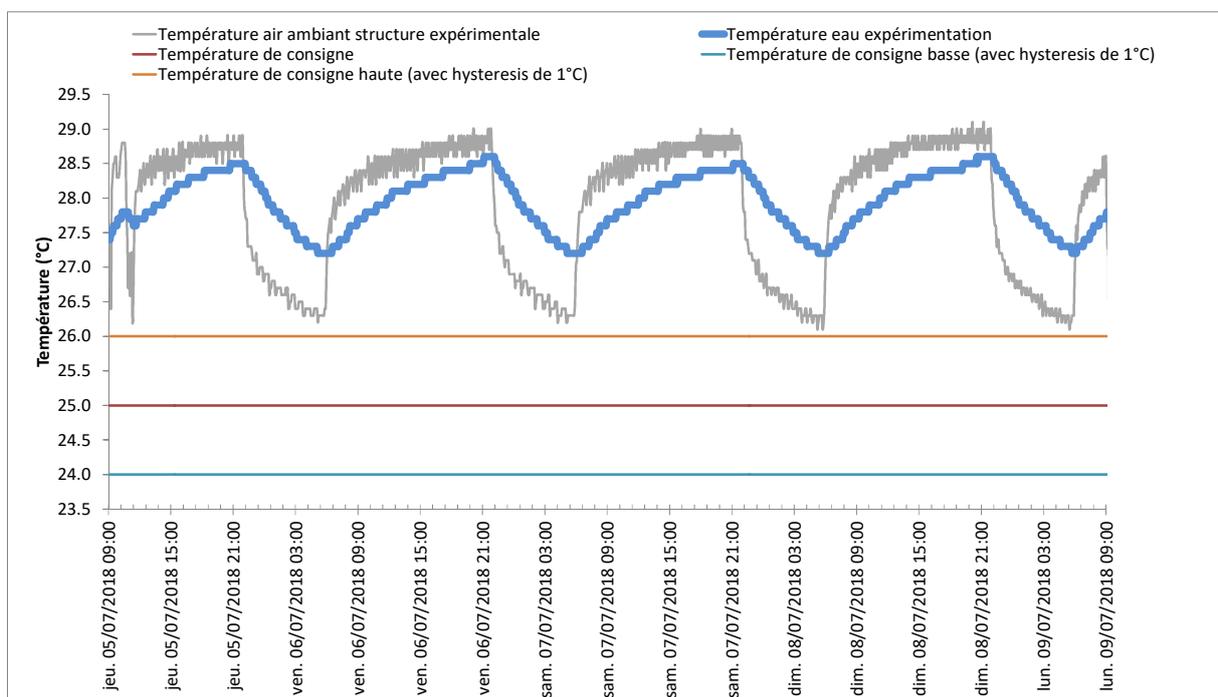
**tableau 4 : Synthèse des températures moyennes de l'air ambiant paille sèche (°C), avec et sans expérimentation, à température de consigne 25°C et hystérésis de 1°C**

		Température moyenne air ambiant ( <i>minimum/maximum</i> )						
		Paille sèche salle thermorégulée					Hall technique	Extérieur
		Sans exp.*	Avec exp.*	Ecart /Consigne	Fluctuation	Jours mesures		
Du 10/2/18 au 12/2/18	Sonde externe	24,1 <sup>a</sup> (23,8/24,6)	/	-0,9	0,8	3	13,5 (9,0/17,2)	5,4 (-1,4/11,6)
	Capteur interne	24,2 <sup>a</sup> (24,1/24,5)	/	/	/	/		
4/4/18 au 18/4/18	Sonde externe	24,0 <sup>a</sup> (23,6/24,4)	/	-1,0	0,8	14	19,3 (16,0/23,9)	12,6 (6,9/24,6)
	Capteur interne	24,1 <sup>a</sup> (23,8/24,3)	/	/	/	/		
Du 5/7/18 au 9/7/18	Capteur interne	/	25,5 <sup>d</sup> (24,5/26,1)	+0,5	1,6	4	/	21,8 (15,1/30,7)

exp.\* : expérimentation, a : température air ambiant structure expérimentale (Bx26), b : température air ambiant paille sèche (Bx26 et Bx29)

### 3.2.3 Température dans la structure expérimentale

Dès la mise en marche des tubes fluorescents (de 6h00 à 22h00), une production de chaleur se produit comme l'indique la figure 7.



**figure 7 : Evolution de la température dans la structure expérimentale**

Ainsi pour une consigne de 25°C et hystérésis de 1°C, nous constatons (tableau 5) que la température eau expérimentation moyenne et la température moyenne air ambiant structure expérimentale sont identiques (27,9°C), mais avec des variations plus faible dans l'eau (27,2°C/28,6°C) que dans l'air (26,1°C/29,1°C). La température de consigne est en moyenne dépassée de 2,9°C dans l'eau et dans l'air (l'écart de la température de l'eau variant de + 2,2°C à + 3,6°C et la température de

l'air au-dessus des aquariums variant de + 1,1°C à + 4,1°C par rapport à la consigne) dans cette configuration expérimentale.

L'éclairage augmente la température de l'air ambiant juste au-dessus des aquariums de 2,3°C en moyenne par rapport à la paille sèche (sans lumière artificielle), et impact donc également la température de l'eau des aquariums avec une augmentation moyenne de 2,5°C (les pompes génèrent quelques calories supplémentaires). Cette augmentation relative de température s'explique par la mise en place de la couverture opaque.

Les écarts constatés ne sont valables qu'avec la puissance d'éclairage correspondant à cette expérimentation, le flux lumineux réel mesuré est de  $83 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Il est donc particulièrement important dans les futures expérimentations avec éclairage par tubes fluorescents (et couverture opaque) de tenir compte de cet écart.

**tableau 5 : Synthèse des températures moyennes (°C) dans la structure expérimentale, lors des expérimentations réalisées à température de consigne 25°C et hystérésis de 1°C**

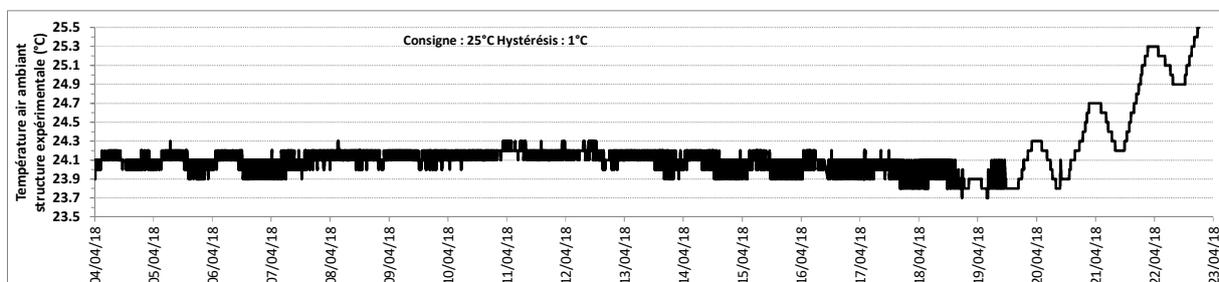
	Température moyenne		Ecart / Consigne		Augmentation température air ambiant structure expérimentale / température air ambiant paille sèche	
	Eau	Air	Eau	Air	Eau	Air
<b>Moyenne</b>	<b>27,9</b>	<b>27,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>
<i>Minimum</i>	<i>27,2</i>	<i>26,1</i>	<i>2,2</i>	<i>1,1</i>	<i>2,7</i>	<i>1,6</i>
<i>Maximum</i>	<i>28,6</i>	<i>29,1</i>	<i>3,6</i>	<i>4,1</i>	<i>2,6</i>	<i>3,0</i>

## 4 Recommandations

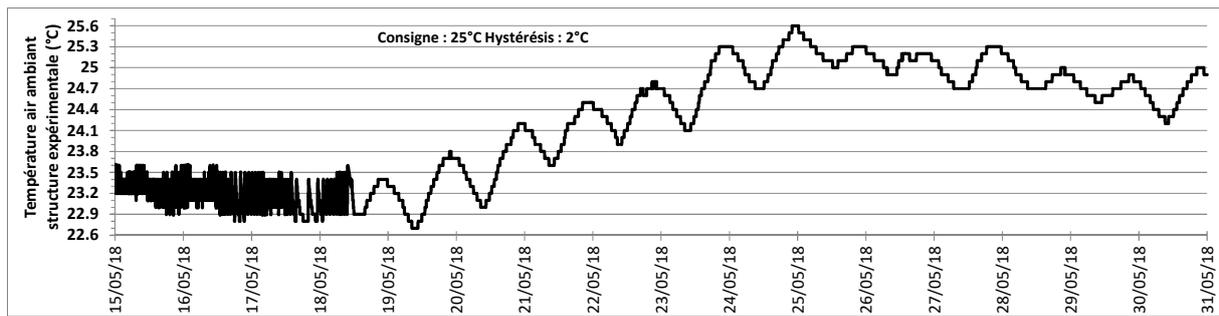
Au cours de ces différents essais, des défauts de régulation ou apparition de messages d'erreurs sont apparus sur la centrale de programmation et sont listés ci-dessous :

- à température de consigne de 25°C, le 18/4/18 après 15 jours de suivis sans affichage de message d'erreur (figure 8) et le 18/5/18 après 4 jours de suivis sans affichage de message d'erreur (figure 9). A la date de rédaction de ce rapport aucune explication n'a été trouvée.
- à la suite d'un orage violent le message d'erreur E00 est apparu le 5/7/18 après 9 jours de suivis (à température de consigne de 25°C, hystérésis 1°C), sans impact sur la régulation de température car ce défaut a été levé rapidement (Annexe 4). Lors des épisodes orageux, il est nécessaire de réaliser à minima une visite de contrôle quotidienne au cours de laquelle il faudra vérifier l'absence de messages d'erreurs sur les régulateurs.
- à température de consigne de 20°C (hystérésis 1°C), un message d'erreur E23 (protection résistance n°3) est apparu après 2 jours de suivis le 8/2/18, mais n'a pas impacté la régulation de température.

Les messages d'erreurs rencontrés et les procédures pour pallier à ces dysfonctionnements sont présentés en Annexe 4, ces messages d'erreurs sont apparus uniquement sur l'afficheur du régulateur chaud.



**figure 8 : Défaut de régulation de température le 18/4/18 sans affichage d'un message d'erreur**



**figure 9 : Défaut de régulation de température le 18/5/18 sans affichage d'un message d'erreur**

Il faut donc être particulièrement vigilant lors de futures expérimentations en plaçant un thermomètre dans l'air ambiant au niveau de la paillasse avec affichage externe en complément du suivi de la température du liquide expérimental, afin de déceler des erreurs de régulation sans affichage de message d'erreur. Les enregistreurs traçeurs sont particulièrement adaptés car ils possèdent une fonction d'enregistrement de la température minimale et maximale (avec système d'alarme) et peuvent être remis à zéro après chaque contrôle.

## 5 Conclusion

Le tableau 3 de ce rapport permet de connaître la température de consigne à programmer afin d'obtenir la température souhaitée de l'air ambiant au niveau des paillasses dans la salle thermorégulée, à condition d'avoir une expérimentation ne générant pas de chaleur excessive. A titre d'exemple, ce rapport présente une expérimentation avec éclairage générant une augmentation moyenne de la température de l'ordre de 1,5°C par rapport à une expérimentation sans lumière, les fluctuations de température observées sont également plus importantes. A l'avenir, le changement des tubes fluorescents par des LEDs permettra de pallier à cette production de chaleur qui peut être parfois excessive.

De plus il faut être particulièrement vigilant au dysfonctionnement de la régulation, comme indiqué dans le chapitre recommandations un passage au minimum quotidien dans cette salle permettra de s'assurer qu'il n'y a pas de message d'erreur sur la centrale de programmation. De plus, il est nécessaire de mettre en place des cartes de contrôles basées sur des mesures de sondes de température autonome avec affichage pour suivre la température réelle dans cette salle thermorégulée.

Il n'a pas été démontré l'intérêt d'appliquer une hystérésis de 2°C par rapport à 1°C afin de permettre de réduire le nombre de démarrage et d'arrêt des équipements producteurs de chaleur ou de froid. Par conséquent, il est recommandé d'appliquer une hystérésis de 1°C afin de diminuer les variations de températures, même si l'on suppose que cela va entraîner un fonctionnement plus fréquent des équipements entraînant une usure prématurée.

**Annexe 1 : Réglage de la température de consigne et de l'hystérésis sur la centrale de programmation de la régulation**

1- Après arrêt de la centrale de programmation de la régulation (position centrale du bouton interrupteur<sup>3</sup>, photo 2), il est possible de régler les différents paramètres comme indiqué dans le tableau 6.



Bouton interrupteur mise en marche et arrêt de la régulation de température

photo 2 : Bouton interrupteur mise en marche et arrêt de la régulation de température

tableau 6 : Procédure de réglage de la température de consigne et de l'hystérésis

	<b>Régulateur froid (n°1)</b>	<b>Régulateur chaud (n°2)</b>
<b>Réglage de la température de consigne.</b> <i>(Mettre la même température de consigne sur les 2 régulateurs)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appuyer sur touche set (1seconde)</li> <li>• appuyer sur touche set (1seconde)</li> <li>• appuyer sur touches flèches haute ou basse pour ajuster la valeur <sup>4</sup></li> <li>• La consigne sera prise en compte au bout de quelques minutes ou alors appuyer sur fn (<i>permet de remonter dans le menu</i>)</li> <li>• Bien vérifier que la modification a été prise en compte, en reproduisant la procédure ci-dessus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appuyer sur touche set (&gt;3secondes), un point apparait devant l'icône dossier.</li> <li>• Ensuite Appuyer sur touches flèches haute ou basse pour ajuster la valeur <sup>5</sup></li> <li>• La consigne sera prise en compte au bout de quelques minutes ou alors appuyer simultanément sur bnd et set</li> <li>• Bien vérifier que la modification a été prise en compte, en reproduisant la procédure ci-dessus.</li> </ul>
<b>Réglage Hystérésis</b> <i>(à modifier qu'en présence d'un agent permanent)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appuyer sur touche set (&gt;9secondes) affichage=CP.</li> <li>• Appuyer de nouveau sur set (1seconde) affichage diF</li> <li>• Appuyer de nouveau sur set (1seconde) : affichage de la valeur d'hystérésis (°C) que l'on peut modifier en agissant sur les flèches haute et basse</li> <li>• La diF sera prise en compte au bout de quelques minutes ou alors appuyer sur fn (<i>permet de remonter dans le menu</i>)</li> <li>• Bien vérifier que la modification a été prise en compte, en reproduisant la procédure précédente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appuyer sur touche bnd (&gt;3secondes), un point apparait devant l'icône dossier.</li> <li>• Ensuite appuyer sur touche flèches haute ou basse pour ajuster la valeur (attention valeur affichée = valeur désirée/3, exemple pour hystérésis souhaitée de 1°C il faut programmer 3)</li> <li>• La bnd sera prise en compte au bout de quelques minutes ou alors appuyer simultanément sur bnd et set</li> <li>• Bien vérifier que la modification a été prise en compte, en reproduisant la procédure précédente</li> </ul>

2- Puis remise en fonctionnement de la centrale de programmation de régulation (bouton interrupteur à placer sur la gauche en position marche)

<sup>3</sup> Le bouton interrupteur de la centrale de programmation de la régulation en position O&G permet de réaliser le brassage d'air sans régulation de température uniquement à l'aide des 2 ventilateurs.

<sup>4</sup> La régulation du groupe froid se programme degré par degré (°C).

<sup>5</sup> La régulation de l'ensemble des résistances thermiques se programme au dixième de degré (0,1°C).

**Annexe 2 : Emplacement des 2 ventilateurs, des 3 résistances électriques et des sondes de température dans la salle thermorégulée**



2 ventilateurs fonctionnant simultanément

**photo 3 : Emplacement des 3 résistances électriques et des 2 ventilateurs**



Les sondes de température de la centrale de programmation de régulation sont placées entre le coffre et le mur.

**photo 4 : Emplacement des 2 sondes de température des régulateurs (froid et chaud)**

### Annexe 3 : Contrôle de la centrale de traitement de l'air (CTA)

Il ne s'agit pas d'un traitement de l'air mais d'une simple extraction de l'air. Pour piloter la CTA, il suffit de changer la position de l'interrupteur « CTA » : 1 (marche), 0 (arrêt).



photo 5 : Interrupteur marche/ arrêt de l'extraction d'air (CTA)



photo 6 : Emplacement des buses d'extraction d'air

**Annexe 4 : Comment pallier aux messages d'erreurs affichés par la centrale de programmation de la thermorégulation de la salle expérimentale**

Les messages d'erreur sont indiqués sur les afficheurs, comme indiqué dans l'exemple ci-dessous.

Exemple : E0.0



- Erreur du type E23 « protection résistance 3 » ou E13 « protection résistance 2 » sur afficheur régulateur chaud.

- Arrêter pendant 2 à 3 minutes
- Remettre en fonctionnement
- Vérifier la consigne et l'hystérésis

*A priori n'engendre pas de perte de programmation*



- Erreur du type E0.0 « Arrêt à distance » sur afficheur régulateur chaud.

- Couper l'alimentation électrique durant 2 à 3 minutes (nécessaire d'avoir une échelle)
  - Réalimenter
  - Vérifier la consigne et l'hystérésis
- N'engendre pas de perte de programmation*



## Annexe 5 : Configuration expérimentale

### ➤ Dispositif expérimental

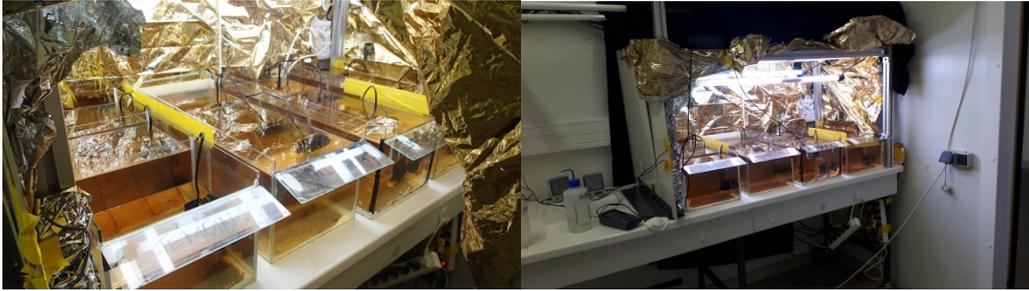


photo 7 : Détail des 4 aquariums placés en parallèle avec 3 pompes immergées fonctionnant en continue dans chaque aquarium (à gauche). Emplacement de la structure expérimentale dans la salle thermorégulée avec les couvertures opaque et réfléchissante relevées (à droite).

### ➤ Production de lumière

La source lumineuse placée au plafond de la structure expérimentale est composée de 8 tubes fluorescents, la photo 8 présente la disposition de cette source lumineuse.



photo 8 : Disposition des tubes fluorescents

- 6 tubes fluorescents de 18 Watts chacun, dont les principales caractéristiques sont indiquées sur la photo 9.



photo 9 : Tube fluorescent Osram 18W 965 G13 Lumilux De Luxe, 1000 Lumens

## Annexe 5 (suite) : Configuration expérimentale

### ➤ Production de lumière (suite)

- 2 tubes fluorescents de 15 Watts chacun, dont les principales caractéristiques sont indiquées sur la photo 10



photo 10 : Tube T8 SOLAR à spectre complet de lumière du jour pour aquarium d'eau douce, 750 Lumens

La puissance consommée théorique est de 138 W, avec une production théorique de flux lumineux de 7500 Lumens soit environ  $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## Annexe 6 : Caractéristiques des enregistreurs de température

Pour connaître la température dans la salle thermorégulée, nous avons utilisés les enregistreurs de température référencés par Irstea Bordeaux sous Bx26, Bx29, Bx21. Le suivi de la température de l'air ambiant du hall technique est assuré par l'enregistreur Bx23 et le suivi de la température extérieure est assuré par l'enregistreur Bx25 (tableau 9).

### 1- Caractéristiques des enregistreurs de température traçable à carte mémoire (référence Irstea : Bx26, Bx29)

Ces enregistreurs sont équipés :

- de sondes inox externes permettant une plage de mesure de -30 à 70°C
- d'un capteur interne permettant la mesure de la température ambiante de 0 à 50°C.

La précision constructeur annoncée est de +/-5°C de 0 à 25°C et de +/-0,6°C de 25 à 50°C.

### 11- Caractéristiques mesurés de la sonde de température externe en inox du Bx26

La précision de cette sonde a été vérifiée le 12/12/2017, le tableau 7 présente la synthèse des comparatifs entre la sonde inox externe de l'équipement Bx26 et un thermomètre de précision (thermomètre à mercure : -8°C à 32°C) immergé dans un bain thermostaté.

tableau 7 : Mesures des écarts à une référence de température de l'enregistreur traçable Bx26

Thermomètre de précision = référence (°C) <sup>a</sup>	Sonde externe Bx26 (°C) <sup>a</sup>	Ecart entre référence et sonde externe Bx26 (°C)	Ecarts type (°C) des 10 mesures
7,4	7,2	0,2	0,3
11,5	11,3	0,1	0,2
16,5	16,4	0,1	0,1
20,7	20,7	0,0	0,1
25,6	25,5	0,1	0,1
30,5	30,5	0,0	0,1

a : moyenne de 10 mesures toutes les minutes

Cet appareil est donc nettement plus précis que les informations fournis par le constructeur, on admet donc globalement une sous-estimation de 0,1°C, pour être précis la figure 10 présente la droite de régression et l'équation associée. Au vu des écarts types du tableau 7 et de la précision souhaitée dans le cadre de ce rapport, on considérera que le capteur Bx26 enregistre la bonne température (aucun correctif n'a donc été appliqué).

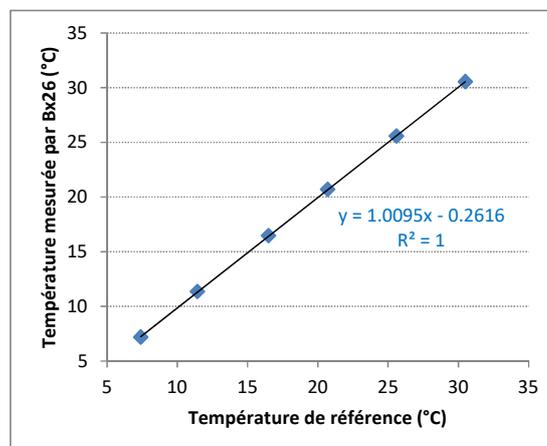


figure 10 : Droite de régression entre les températures mesurées par la sonde externe de l'enregistreur traçable Bx26 et un thermomètre de référence.

## Annexe 6 (suite) : Caractéristiques des enregistreurs de température

Les comparatifs ci-dessus n'ont pas été réalisés pour le thermomètre Bx29, dans ce rapport il a été considéré que ce thermomètre avait les mêmes caractéristiques que le thermomètre Bx26.

### 12- Caractéristiques du capteur de température interne de l'enregistreur traçable Bx26

Plusieurs enregistrements simultanés, dans les mêmes conditions, des températures par le capteur interne de température et la sonde de température externe en inox ont été confrontés. Le tableau 8 indique que l'on peut considérer que la température moyenne enregistrée par le capteur interne est identique ou très proche des mesures réalisées par la sonde externe, les valeurs de température de ces capteurs ont donc été utilisées sans correctifs car la précision est largement suffisante dans le cadre de ce rapport.

**tableau 8 : Comparaison des mesures de température moyenne « air ambiant structure expérimentale » enregistrées par la sonde externe et le capteur interne du Bx26**

date	Température moyenne (°C) : sonde externe Bx26 <sup>a</sup>	Température moyenne (°C) : capteur interne Bx26 <sup>a</sup>	Ecart (°C)	Nombre jours mesures
Du 24/4/18 au 14/5/18	10,2	10,3	-0,1	20
Du 2/3/18 au 13/3/18	15,5	15,7	-0,2	11
Du 1/6/18 au 18/6/18	16,0	16,1	-0,1	17
Du 14/2/18 au 1/3/18	19,2	19,3	-0,1	15
Le 7/2/18	19,4	19,5	-0,1	1
Du 15/3/18 au 3/4/18	19,0	19,2	-0,2	19
Du 30/1/18 au 6/2/18	18,4	18,6	-0,2	7
Du 4/4/18 au 18/4/18	24,0	24,1	-0,1	14
Du 10/2/18 au 12/2/18	24,1	24,2	-0,1	3
Du 15/5/18 au 18/5/18	23,1	23,2	-0,1	3

a : une mesure de température toutes les 5 minutes

Les comparatifs ci-dessus n'ont pas été réalisés pour le thermomètre Bx29, dans ce rapport il a été considéré que ce thermomètre avait les mêmes caractéristiques que le thermomètre Bx26.

Les enregistrements indiquent que les fluctuations de température (écarts entre la température minimale et maximale) sont plus importantes avec la sonde externe qu'avec la sonde interne (Annexe 9).

### 2- Caractéristiques des enregistreurs de température tinytags (références Irstea : Bx21, bx23, bx25)

Trois capteurs tinytags aquatic 2 ont été utilisés dans cette étude et sont présentés dans tableau 9, chacun réalisant l'acquisition de température (moyenne, minimale, maximale) à chaque temps d'acquisition.

**tableau 9 : Référence et emplacement des tinytags utilisés**

Emplacement	Intitulé température	Temps d'acquisition (mn)	Référence
Sur aquarium dans la structure expérimentale	« air ambiant structure expérimentale »	10	Bx21
Sur le boîtier commande du volet roulant	« air ambiant hall technique »	10	Bx23
A l'ombre, accroché à un arbre en face bureau 26 de l'Irstea	« air ambiant extérieur »	60	Bx25

**Annexe 6 (suite) : Caractéristiques des enregistreurs de température**

**21- Comparaison des mesures de l'air ambiant structure expérimentale**

Tous les tinytags utilisés ont fait l'objet d'un suivi métrologique en 2017 indiquant que leurs justesses entre 16°C et 25°C étaient inférieures à 0,1°C (Bx21 et Bx23) et de 0,16°C (Bx25) par rapport à un thermomètre de référence. Plusieurs enregistrements simultanés, dans les mêmes conditions, des températures par la sonde de température externe en inox et le tinytag Bx21 ont été confrontés. Le tableau 10 indique que l'on peut considérer que la température moyenne enregistrée par le capteur Bx21 est identique ou très proche des mesures réalisées par la sonde externe, les valeurs de température moyenne de tous les tinytags ont donc été utilisées sans correctifs car la précision est largement suffisante dans le cadre de ce rapport.

**tableau 10 : Comparaison des mesures de température moyenne « air ambiant structure expérimentale » enregistrées par la sonde externe et le capteur tinytag Bx21**

<b>date</b>	<b>Température moyenne (°C) : sonde traçable Bx26<sup>a</sup></b>	<b>Température moyenne (°C) : Bx21<sup>b</sup></b>	<b>Ecart (°C)</b>	<b>Nombre jours mesures</b>
Du 24/4/18 au 14/5/18	10,2	10,2	0,0	20
Du 2/3/18 au 13/3/18	15,5	15,5	0,0	11
Du 1/6/18 au 18/6/18	16,0	16,0	0,0	17
Du 14/2/18 au 1/3/18	19,2	19,1	0,1	15
Le 7/2/18	19,4	19,3	0,1	1
Du 15/3/18 au 3/4/18	19,0	18,9	0,1	19
Du 30/1/18 au 6/2/18	18,4	18,4	0,0	7
Du 4/4/18 au 18/4/18	24,0	23,9	0,1	14
Du 10/2/18 au 12/2/18	24,1	24,0	0,1	3
Du 15/5/18 au 18/5/18	23,1	23,0	0,1	3

*a : une mesure de température toutes les 5 minutes*

*b : une mesure de température toutes les 10 minutes*

Les enregistrements réalisés par le capteur Bx21 indiquent que les fluctuations de température (écarts entre la température minimale et maximale) sont moins prononcées qu'avec la sonde de température externe (Bx26). Les tinytags sont prévus pour l'enregistrement des températures dans un liquide et ont une inertie plus importante que le capteur Bx26 en cas de changement brutal de température. Dans ce rapport, seules les températures moyennes des tinytags sont utilisées.

Les comparatifs ci-dessus n'ont pas été réalisés avec les tinytags Bx23 et Bx25. Dans ce rapport il a été considéré que ces capteurs avaient les mêmes caractéristiques que le tinytag Bx21 donc par conséquent aussi du thermomètre Bx26.

## Annexe 7 : Emplacement des capteurs de température

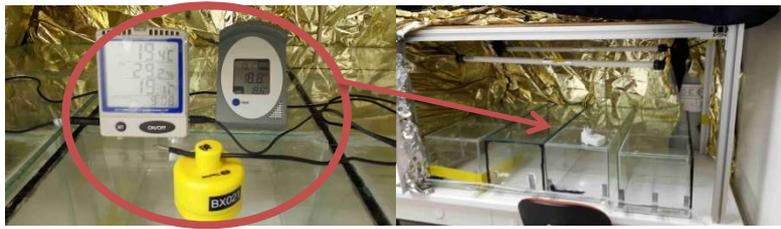
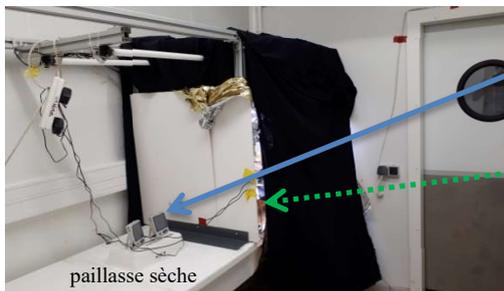


photo 11 : Emplacement des capteurs de température sur les aquariums dans la salle thermorégulée en l'absence d'expérimentation avec les couvertures relevées, température dénommée « *température air ambient structure expérimentale* »



Les deux thermomètres enregistreurs sont placés sur la paillasse sèche à côté de la structure expérimentale :

- Les deux capteurs internes sont utilisés pour les mesures de température de l'air ambient en surface de paillasse sèche, température dénommée « *température air ambient paillasse sèche* ».
- Les deux sondes inox filaires sont placées dans la structure expérimentale : une dans le liquide dénommée « *température eau expérimentation* » et une à l'air dénommée « *température air ambient structure expérimentale* »

photo 12 : Positions des thermomètres enregistreurs avec les couvertures réfléchissantes et opaques fermées autour de la structure expérimentale, lors de l'expérimentation.

**Annexe 8 : Températures enregistrées lors des essais à différentes températures de consignes et différentes hystérésis**

**tableau 11 : Températures enregistrées lors de chaque essai aux différentes températures de consignes et différentes hystérésis, sans expérimentation, par la capteur Bx26**

Date (de 00h00 à 00h00)	Nombre jours mesures	Température de Consigne (°C)		Température moyenne air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx26 sonde externe	Température minimale air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx26 sonde externe	Température maximale air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx26 sonde externe	Température moyenne air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx26 capteur interne	Température minimale air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx26 capteur interne	Température maximale air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx26 capteur interne	Ecart (°C) : Bx26 Sonde externe/capteur interne	fluctuation température Bx26 sonde externe (°C)	fluctuation température Bx26 sonde interne (°C)	Ecart à la consigne du Bx26 sonde externe (°C)
			Hystérésis (°C)										
Du 24/4/18 au 14/5/18	20	10	1	10.2	9.7	10.6	10.3	10.2	10.6	-0.1	0.9	0.4	0.2
Du 23/1/18 au 25/1/18	2	10	2	/	/	/	/	/	/	0.0	0.0	0.0	-10.0
Du 2/3/18 au 13/3/18	11	15	1	15.5	14.3	15.9	15.7	15.2	16.1	-0.2	1.6	0.9	0.5
Du 1/6/18 au 18/6/18	17	15	2	16.0	14.9	16.6	16.1	15.6	16.6	-0.1	1.7	1.0	1.0
Du 14/2/18 au 1/3/18	15	20	1	19.2	18.8	19.7	19.3	18.9	19.6	-0.1	0.9	0.7	-0.8
Le 7/2/18	1	20	1	19.4	19.1	19.6	19.5	19.4	19.7	-0.1	0.5	0.3	-0.6
Du 15/3/18 au 3/4/18	19	20	1	19.0	18.8	19.5	19.2	18.9	19.6	-0.2	0.7	0.7	-1.0
Du 30/1/18 au 6/2/18	7	20	2	18.4	17.9	19.1	18.6	18.2	19.1	-0.2	1.2	0.9	-1.6
Du 4/4/18 au 18/4/18	14	25	1	24.0	23.6	24.4	24.1	23.8	24.3	-0.1	0.8	0.5	-1.0
Du 10/2/18 au 12/2/18	3	25	1	24.1	23.8	24.6	24.2	24.1	24.5	-0.1	0.8	0.4	-0.9
Du 15/5/18 au 18/5/18	3	25	2	23.1	22.7	23.7	23.2	22.8	23.6	-0.1	1.0	0.8	-1.9

**Annexe 8 (suite) : Températures enregistrées lors des essais à différentes températures de consignes et différentes hystérésis**

**tableau 12 : Températures enregistrées lors de chaque essai aux différentes températures de consignes et différentes hystérésis, sans expérimentation, par les capteurs tinytags (Bx21, Bx23 et Bx25)**

Date (de 00h00 à 00h00)	Nombre jours mesures	Température de Consigne (°C)		Hystérésis (°C)	Température moyenne air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx21	Température minimale air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx21	Température maximale air ambiant structure expérimentale (°C) : Bx21	Ecart (°C) : Bx26 Sonde externe/Bx21	Température moyenne air ambiant Hall technique (°C) : Bx23	Température minimale air ambiant Hall technique (°C) : Bx23	Température maximale air ambiant Hall technique (°C) : Bx23	Température moyenne Air Ambiant extérieur (°C) : Bx25	Température minimale Air Ambiant extérieur (°C) : Bx25	Température maximale Air Ambiant extérieur (°C) : Bx25
Du 24/4/18 au 14/5/18	20	10	1	10.2	10.1	10.4	0.0	20.2	14.4	25.6	13.4	3.4	27.7	
Du 23/1/18 au 25/1/18	2	10	2	11.0	10.9	11.2	-11.0	16.3	14.5	18.9	10.5	7.5	14.1	
Du 2/3/18 au 13/3/18	11	15	1	15.5	15.3	15.9	0.0	16.5	12.4	19.9	10.6	3.3	20.1	
Du 1/6/18 au 18/6/18	17	15	2	16.0	15.8	16.2	0.0	24.4	21.2	28.2	18.4	12.5	25.9	
Du 14/2/18 au 1/3/18	15	20	1	19.1	18.8	19.4	0.1	13.8	7.8	18.2	5.1	-5.3	15.7	
Le 7/2/18	1	20	1	19.3	19.2	19.4	0.1	11.3	9.8	13.4	1.6	-1.1	5.4	
Du 15/3/18 au 3/4/18	19	20	1	18.9	18.5	19.1	0.1	15.9	10.6	20.7	8.3	-1.2	20.2	
Du 30/1/18 au 6/2/18	7	20	2	18.4	18.1	18.6	0.0	13.7	10.4	17.0	5.5	-0.2	10.8	
Du 4/4/18 au 18/4/18	14	25	1	23.9	23.1	24.1	0.1	19.3	16.0	23.9	12.6	6.9	24.6	
Du 10/2/18 au 12/2/18	3	25	1	24.0	23.8	24.2	0.1	13.5	9.0	17.2	5.4	-1.4	11.6	
Du 15/5/18 au 18/5/18	3	25	2	23.0	22.6	23.2	0.1	20.6	18.2	22.9	15.0	11.3	20.8	

## Annexe 9 : Evolution de la température lors de différents cycles de régulation

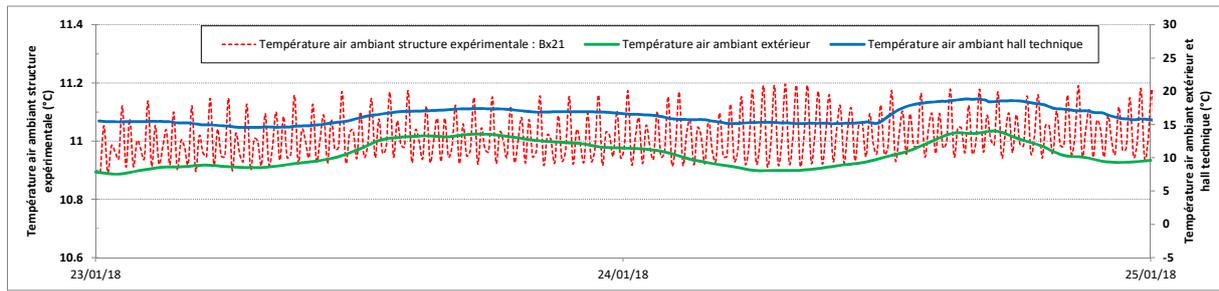


figure 11 : Evolution de la température du 23/1 au 25/1/18 (Consigne : 10°C, Hystérésis 2°C)

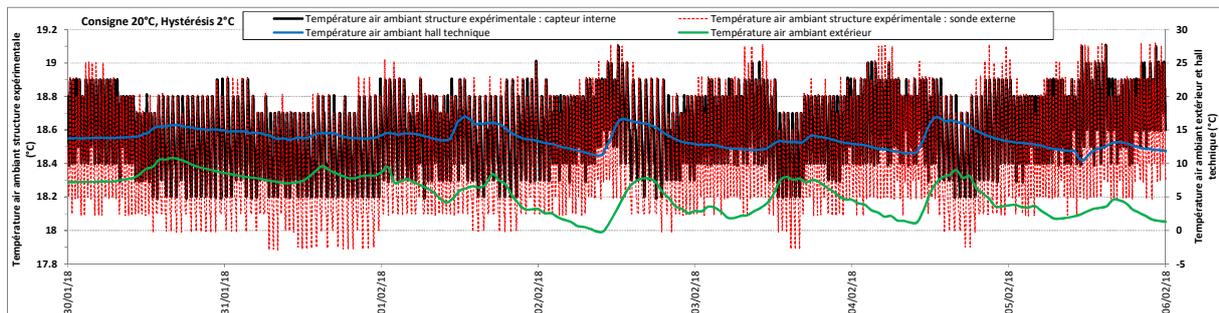


figure 12 : Evolution de la température du 30/1 au 6/2/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 2°C)

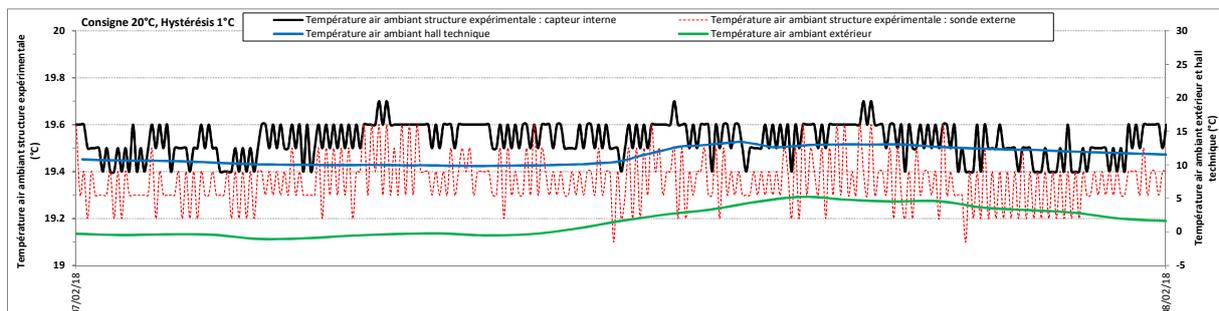


figure 13 : Evolution de la température le 7/2/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 1°C)

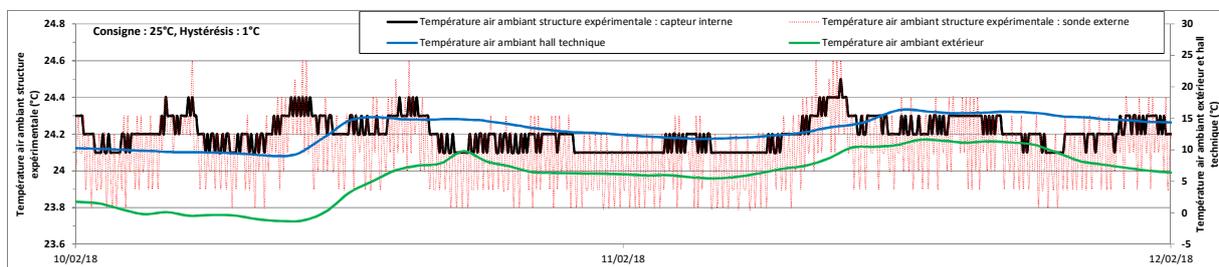


figure 14 : Evolution de la température du 10/2 au 12/2/18 (Consigne : 25°C, Hystérésis 1°C)

## Annexe 9 (suite) : Evolution de la température lors de différents cycles de régulation

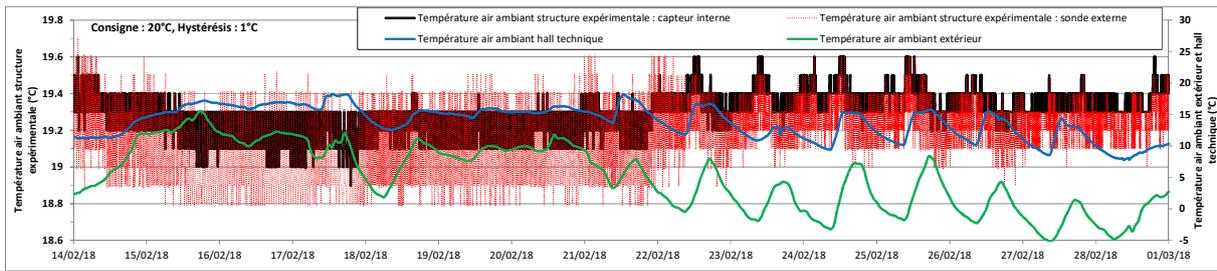


figure 15 : Evolution de la température du 14/2 au 1/3/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 1°C)

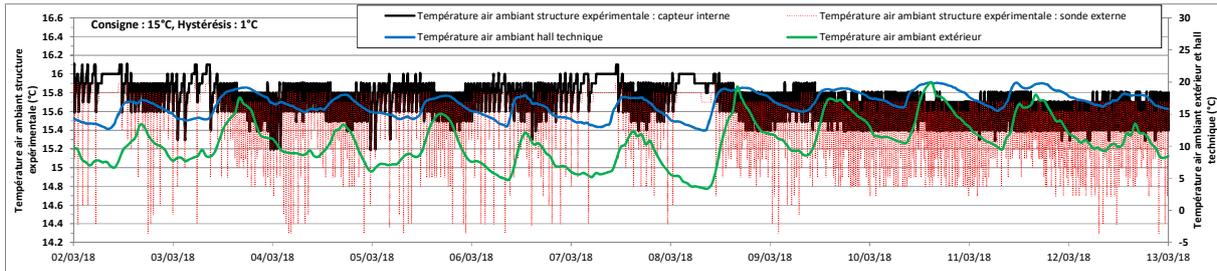


figure 16 : Evolution de la température du 2/3 au 13/3/18 (Consigne : 15°C, Hystérésis 1°C)

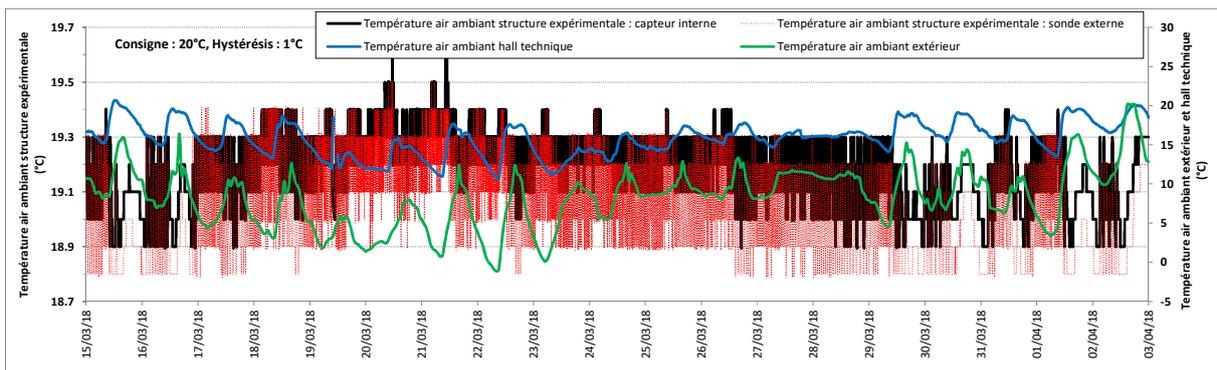


figure 17 : Evolution de la température du 15/3 au 3/4/18 (Consigne : 20°C, Hystérésis 1°C)

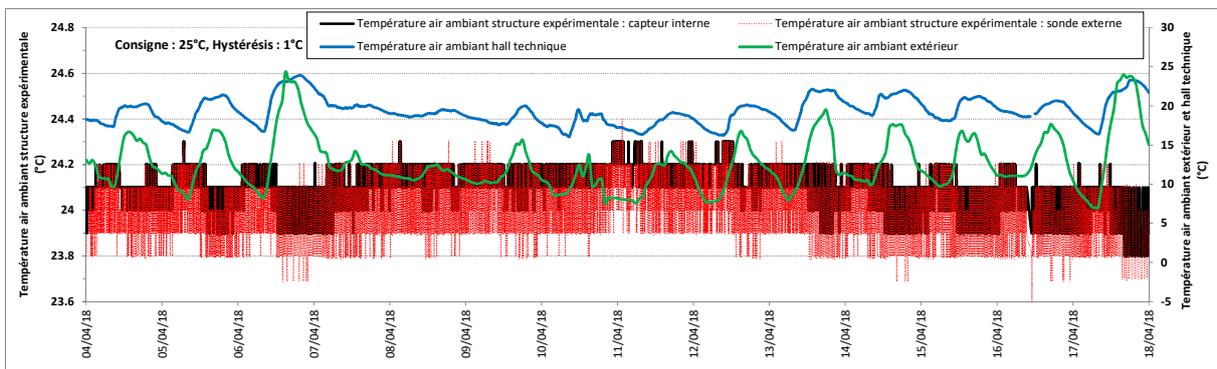


figure 18 : Evolution de la température du 4/4 au 18/4/18 (Consigne : 25°C, Hystérésis 1°C)

## Annexe 9 (suite) : Evolution de la température lors de différents cycles de régulation

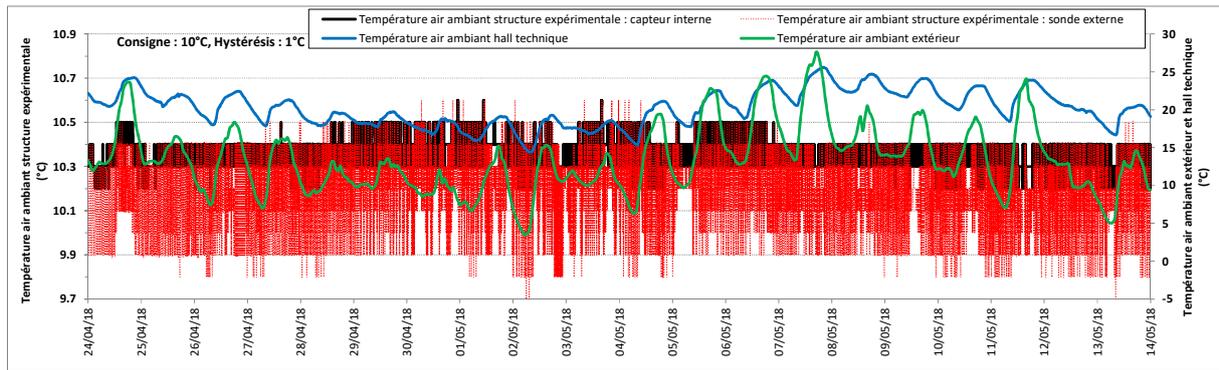


figure 19 : Evolution de la température du 24/4 au 14/5/18 (Consigne : 10°C, Hystérésis 1°C)

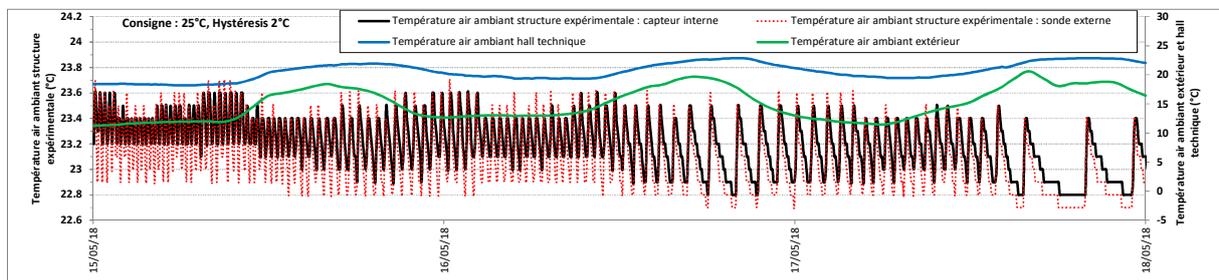


figure 20 : Evolution de la température du 15/5 au 18/5/18 (Consigne : 25°C, Hystérésis 2°C)

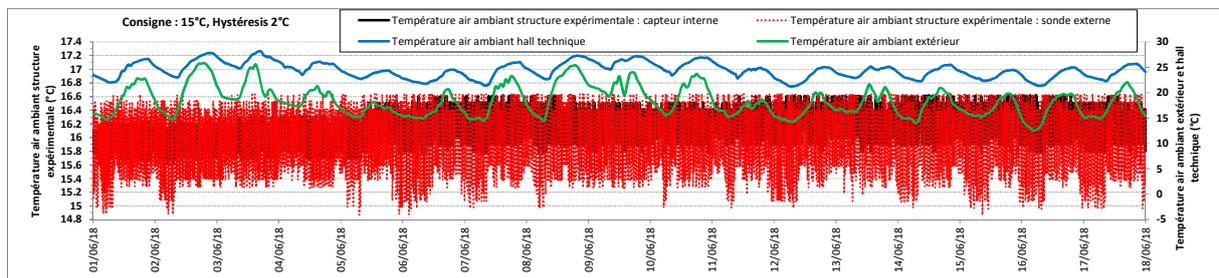
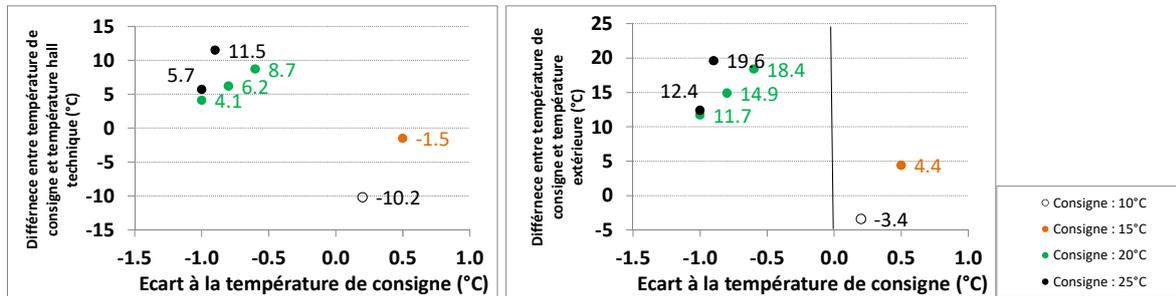
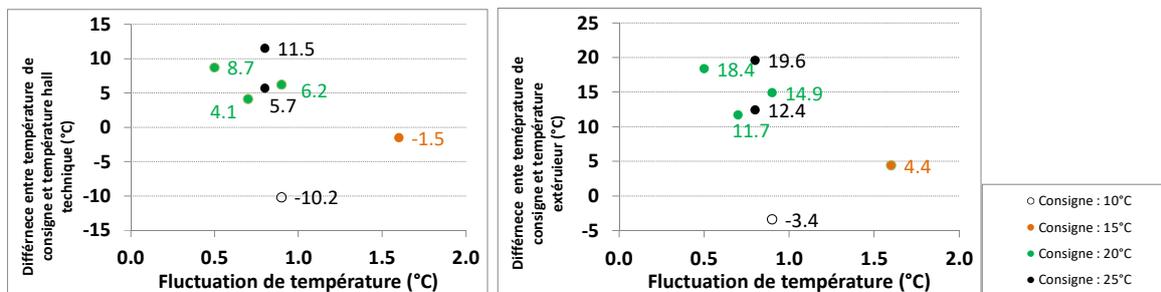


figure 21 : Evolution de la température du 1/6 au 18/6/18 (Consigne : 15°C, Hystérésis 2°C)

**Annexe 10 : Evolution des écarts à la température de consigne et des fluctuations de température moyenne**



**figure 22 : Evolution des écarts à la température de consigne en fonction de la différence entre la température de consigne et la température moyenne du hall technique ou de l'air ambiant extérieur (hystérésis 1°C)**



**figure 23 : Evolution des fluctuations de température moyenne en fonction de la différence entre la température de consigne et la température moyenne du hall technique ou de l'air ambiant extérieur (hystérésis 1°C)**