

Vérification automatique de sondes de pilotage d'enceintes climatiques

Rémi Gardet,¹ Jérémie Garnier², Thomas Bertho², Rousseau Tawegoum³ et Gérard Sintès³

Résumé : *L'Inra, en s'engageant dans une démarche qualité, s'est fixé comme objectif, entre autres, la fiabilité des résultats mesurables. Cet engagement et cet objectif s'imposent à tous, y compris à ceux qui comme l'institut national d'horticulture (INH), partagent des installations expérimentales avec l'Inra. C'est ainsi qu'une étude a été réalisée, afin de caractériser les enceintes climatiques et de vérifier leurs sondes de régulation. L'étude s'est portée sur les sondes de température et d'hygrométrie du pilotage des enceintes, avec comme questions :*

*Comment vérifier la fiabilité des sondes de température et d'hygrométrie ?
Comment vérifier cette fiabilité simplement et rapidement ?*

Mots clés : serre, température, hygrométrie, vérification

Introduction

Une étude a été réalisée, afin de caractériser les enceintes climatiques et de vérifier leurs sondes de régulation.

Le champ d'étude a été restreint aux sondes de température et d'hygrométrie du pilotage des enceintes. Se posent alors plusieurs questions : comment vérifier la fiabilité des sondes de température et d'hygrométrie ? comment vérifier cette fiabilité simplement et rapidement ?

Les installations du domaine de l'INH sont utilisées principalement par 4 UMR. L'outil principal est une serre de 3200m² composée de 32 modules autonomes. 32 enceintes où un automate gère le climat en fonction de consignes (selon les protocoles des expérimentations installées dans la serre) et de mesures indiquées par les sondes de pilotage. Un système mobile d'acquisition de données, équipé de sondes de référence et placé dans les enceintes, permet l'édition d'un constat de vérification certifiant la fiabilité des mesures de régulation.

Après une présentation du contexte, le matériel et la méthode seront exposés avant la présentation des résultats.

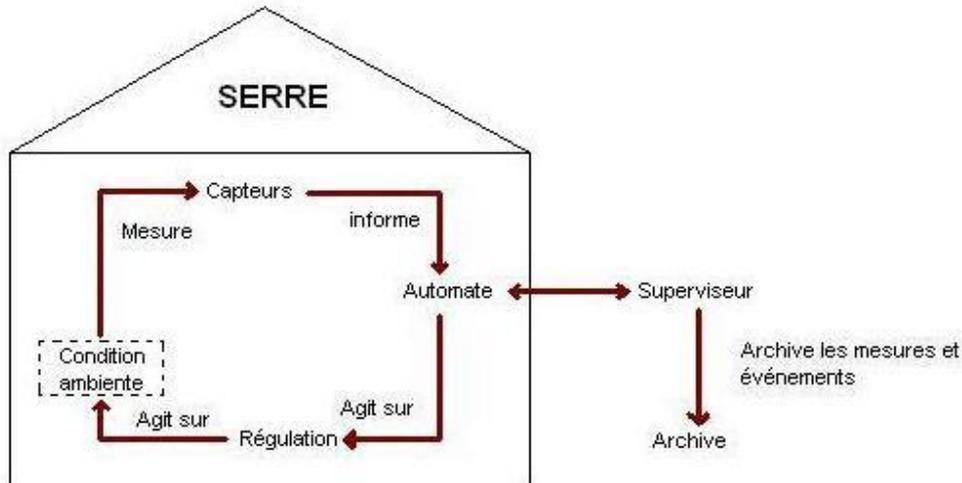
¹ Domaine pédagogique et expérimental de l'INH (Institut national d'horticulture)
☎ 0626808027 ✉ remi.gardet@inh.fr

² Etudiants de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers

³ UMR Inra-INH- Université d'Angers - Sciences Agronomiques Appliquées à l'Horticulture - SAGAH –
BP 60057 49071 Beaucouzé Cedex ☎ 02 41 22 56 30 ✉ sagah@angers.inra.fr

1. La recherche sur le végétal, la qualité dans la recherche et l'automatisation de la qualité

Pour cultiver des plantes n'importe où et n'importe quand, la recherche agronomique utilise des enceintes climatiques régulées : chambres de cultures et serres par exemple (schéma 1).



1. Schéma général de fonctionnement d'une enceinte climatique régulée (Bertho, 2007)

L'opérateur de l'enceinte programme les consignes de climat en fonction du protocole expérimental. Pour une serre, il s'agit classiquement des consignes de température et quand les équipements le permettent des consignes d'hygrométrie, d'éclairage additionnel, d'ombrage... L'information issue de ces sondes conditionne le respect du protocole.

Un horticulteur modifie les consignes de sa serre en fonction de l'état de sa culture. De ce fait il corrige, de façon non intentionnelle, les éventuelles dérives de ces sondes d'ambiance. A contrario, ce feed back n'est pas possible pour l'expérimentateur. Il se doit de respecter le protocole, les valeurs des consignes prévues et donc de s'assurer de la fiabilité des mesures de régulation. Cette dernière exigence est d'autant plus importante si l'expérimentateur utilise les mesures issues du système de régulation comme sources de données expérimentales.

1.1. Le domaine pédagogique et expérimental de l'INH : le contexte local de l'étude

Cette étude a été menée par le domaine pédagogique et expérimental de l'INH (domaine p&e), en collaboration avec l'UMR SAGAH. Le domaine p&e gère un parc d'équipements d'expérimentation : salles de cultures, chambres froides, serres verre, tunnels plastique et parcelles. Il accueille principalement les travaux d'expérimentation de 4 UMR. Le domaine p&e héberge aussi des travaux dirigés et pratiques des étudiants de l'INH.

Ce service d'appui doit garantir aux différents utilisateurs des équipements en bon état de fonctionnement ; pour cela, il assure des maintenances curatives, préventives. Pour la maintenance préventive, le domaine p&e doit vérifier ses systèmes de régulation ainsi que leurs sondes.

Plus de 200 sondes sont ainsi inventoriées sur l'ensemble des équipements du domaine p&e, dans un ordre décroissant d'importance quantitative : sondes de température, sondes

d'hygrométrie, sondes de conductivité, sondes pH et sondes météo. Le domaine p&e a intégré très tôt cette vérification dans l'élaboration de sa démarche qualité.

Les services d'appui sont souvent issus d'une stratégie de mutualisation avec un objectif d'économie d'échelle. La mise en oeuvre des procédures de contrôle, comme la vérification des sondes de régulation, doit être réfléchiée pour des exécutions aisées. De plus, ces procédures doivent être construites dans un cadre reconnu par les utilisateurs.

1.2. Comment vérifier la fiabilité des sondes de pilotage ?

La réponse technologique à cette question doit être simple et rapide.

Les normes FD X 07-028 d'octobre 2002 : procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres, estimation des incertitudes sur les mesures de température, prévoient la vérification des sondes de température et d'hygrométrie dans le cas de régime établi. Il existe des solutions commerciales pour vérifier un parc de thermomètres de laboratoire, le plus souvent avec l'utilisation d'un bain thermostatique.

Localement, nous avons pu étudier deux projets proches du notre :

- En conformité avec une norme internationale sur le contrôle des semences, la station nationale d'étude des semences (SNES) certifie ses expertises en utilisant des données collectées sur un système de régulation. Pour se faire, la SNES a réalisé selon la norme NF X 15-140 (Enceintes climatiques et thermostatiques – Caractérisation et vérification) un système de caractérisation de la température de ses chambres de germination. En complément, la SNES confie en parallèle, dans le cadre d'un contrat de maintenance, la vérification de ses sondes de température. Ce système est valable pour un régime établi de chambre de germination.

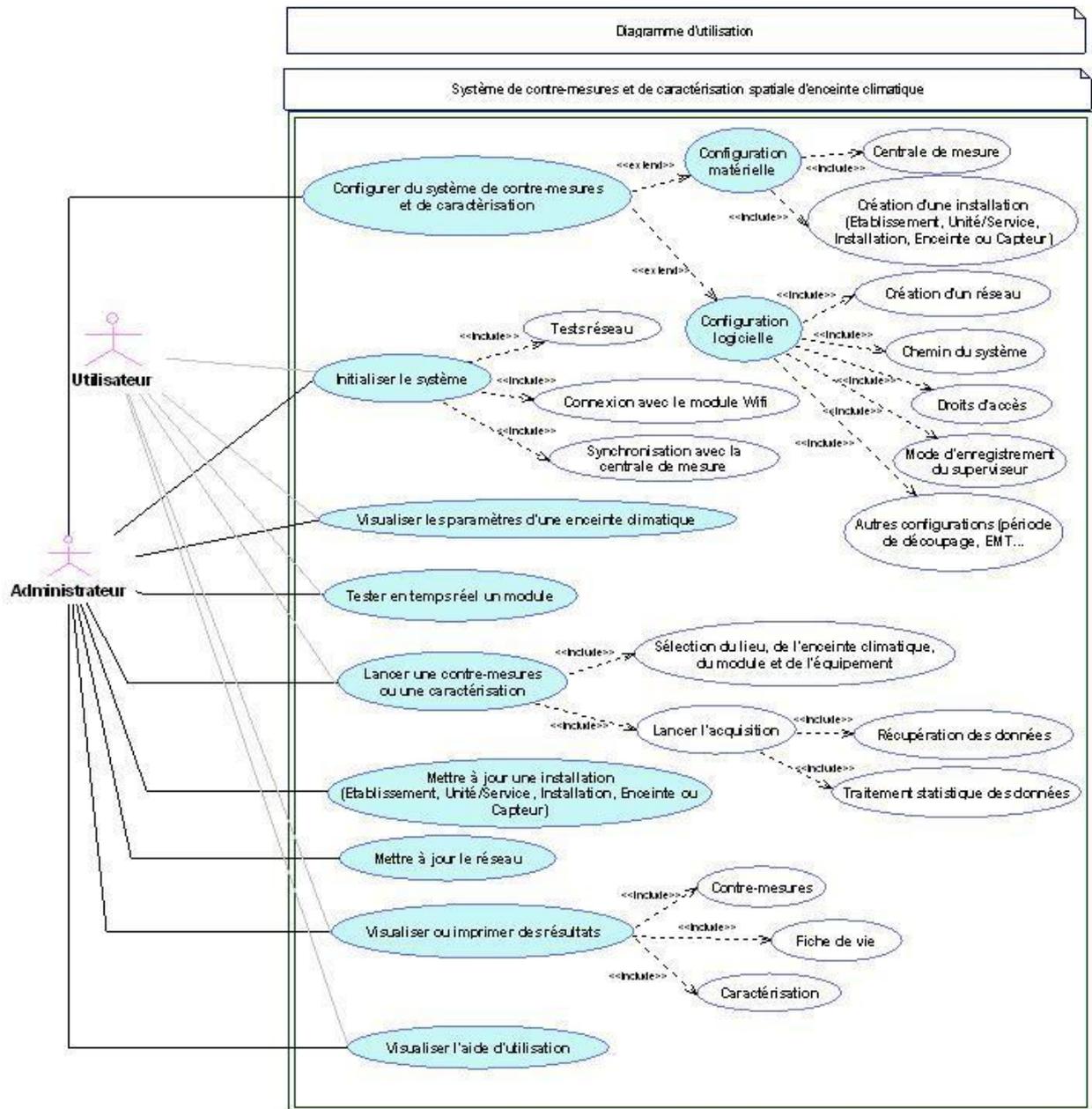
- Gérard Sintès de l'UMR SAGAH avait mis au point un système de vérification de la régulation de sa serre à l'aide d'automates. Ces derniers récupéraient le signal de la sonde de pilotage et de la sonde de vérification. L'opération se faisait *in situ*, sans démontage de la sonde de pilotage. Le traitement des données était réalisé par un fichier excel. Le système nécessitait un cablage supplémentaire dans les serres.

Dans notre projet nous retenons le principe de la vérification *in situ* sur une plage horaire définie. Les manipulations sont simplifiées. L'ensemble de la chaîne de mesures est vérifié (sonde, alimentation et carte d'acquisition de l'automate). Les normes évoquent principalement le régime établi. Or une serre, soumise aux conditions météorologiques extérieures, ne présente jamais de régime établi pour la température comme pour l'hygrométrie. Dans notre cas, nous observons un régime transitoire pour lequel nous convenons de vérifier en plusieurs points les mesures de température et d'hygrométrie.

2. Une instruction informatisée, automatisée et une unité mobile d'acquisition

L'automatisation de la procédure permet à la fois la répétabilité exigée par la démarche qualité, la simplicité et la rapidité de mise en oeuvre. Elle comprend le paramétrage de la vérification y compris les éventuels certificats d'étalonnage, l'acquisition des données de référence vérifiées et leur traitement y compris l'édition et l'archivage des constats de vérification (schéma 2).

L'instruction de vérification est transposée dans un logiciel. La chronologie de l'instruction est automatisée, l'utilisateur doit respecter l'ordre établi pour passer d'une étape à l'autre.



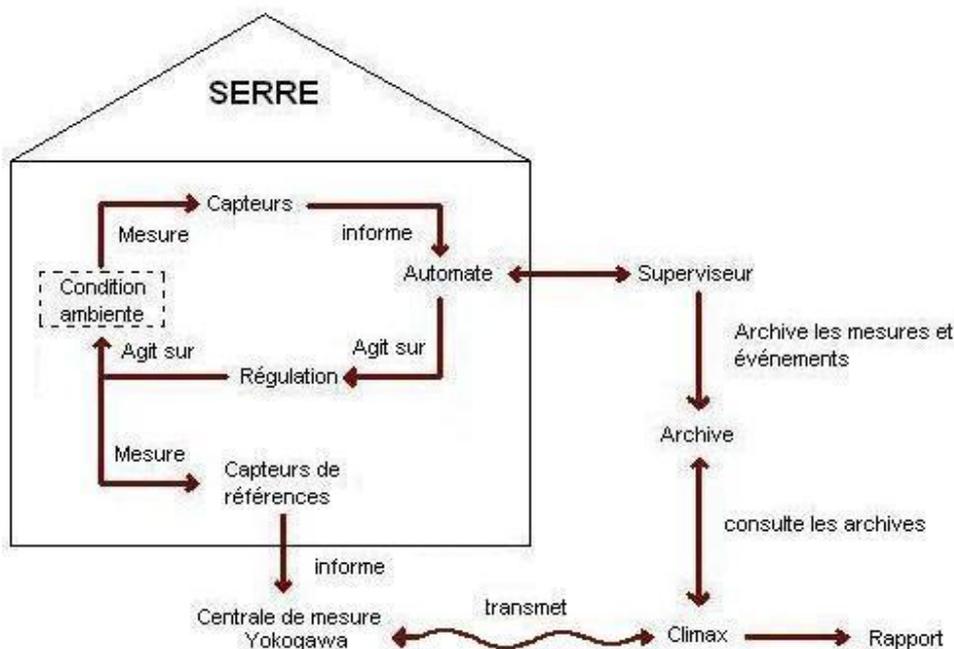
2. Diagramme d'utilisation de l'analyse d'une vérification (Garnier, 2005)
 le terme « contre-mesure » est utilisé à la place de vérification dans ce diagramme

Le logiciel dialogue avec les systèmes d'acquisition de données : la centrale de mesure qui accueille les sondes de références et l'automate qui utilise les sondes vérifiées. Le dialogue avec l'automate peut s'effectuer de deux façons : il existe un système d'enregistrement compatible avec le système informatique du logiciel de vérification et il y a réellement un dialogue (échange de fichiers) entre les deux systèmes ; il n'existe pas de système d'enregistrement compatible et le signal de la sonde est récupéré en parallèle par la centrale de mesure qui accueille les sondes de référence.

Ainsi le logiciel récupère automatiquement sous forme de fichiers synchronisés les données des différentes sondes. Selon des formules définies, le logiciel calcule et interprète les valeurs de vérification. Enfin, en utilisant ces valeurs enregistrées, il édite les certificats de vérification prêts à imprimer et archive ces résultats dans une base de données.

L'opérateur effectue toutes ces étapes sur un unique logiciel. Au préalable il installe la sonde de référence et la centrale d'acquisition (unité mobile) à proximité de la sonde à vérifier. En fin de procédure, il démonte le système de contrôle. A une périodicité définie, les sondes de vérification sont étalonnées.

Pour accélérer la mise en place de ce système de contrôle, le logiciel de vérification dialogue avec l'unité mobile via une communication sans fil (schéma 3). L'opérateur se libère des contraintes spatiales de l'installation expérimentale.



3. Schéma général de fonctionnement du système de vérification (Bertho, 2007)

2.1. Labview, un environnement de développement de programmes dédié à la mesure

Labview est un environnement de développement de programmes, tout comme BASIC ou langage C. Labview diffère de ces applications sur deux points importants :

Contrairement aux autres systèmes qui emploient des langages textuels pour générer des lignes de code, Labview utilise un langage de programmation graphique pour créer des programmes sous forme de diagrammes. L'unité-programme de base est un instrument virtuel (VI) qui comporte trois parties : une interface avec l'utilisateur, un diagramme (code exécutable) et une icône (connection avec d'autres VI). Cette originalité demande une gymnastique particulière. L'investissement consenti représente alors un effort important pour l'utilisateur.

Labview offre une deuxième particularité qui nous a poussé à consentir l'effort évoqué ci-dessus. Labview est dédié à la mesure et de nombreuses fonctions de mesure sont intégrées comme, par exemple, les formats des sondes, l'édition de rapport...

Avec Labview, nous pouvons créer une application autonome capable de gérer de la mesure. Installée sur une machine connectée à un réseau informatique, ce programme peut dialoguer avec un ou plusieurs systèmes d'acquisition de données, connectés sur le même réseau.

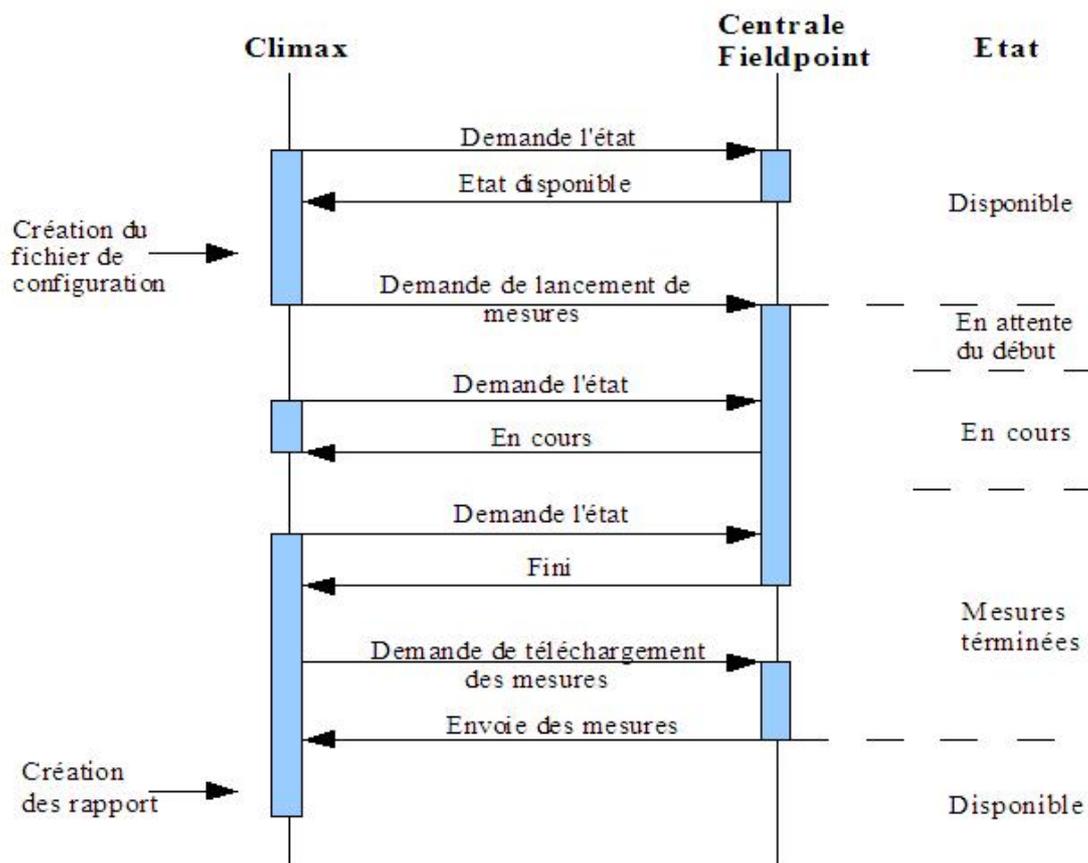
2.2. Un système d'acquisition modulaire sur port ethernet et qui embarque une partie du programme

Le système d'acquisition a évolué en 2007 avec le remplacement d'une centrale Yokogawa MX100 par une centrale National Instrument cFP-2100.

Les deux centrales disposent d'un port ethernet pour une communication à distance via un réseau informatique équipé de bornes wifi. Par ailleurs elles offrent une architecture modulaire ce qui permet d'envisager l'évolution de la vérification à la caractérisation nécessitant plus d'entrées de mesures.

Toutefois, le matériel National Instrument permet d'embarquer une partie du logiciel (l'acquisition des données de référence) et ainsi de disposer d'une autonomie vis à vis du réseau wifi, peu fiable en serre. Les différentes composantes du logiciel fonctionnent sur le principe du statut ce qui accroît encore cette autonomie (illustration 4).

Le système d'acquisition peut être exploité en conditions expérimentales abritées dans une armoire IP65.



4. Diagramme de séquence d'une vérification : la centrale cFP-2100 exécute de façon autonome une partie du programme dénomé CLIMAX (Bertho, 2007)

2.3. Démarche qualité INRA, le fil conducteur du projet

Depuis 2000, l'Inra s'est engagé dans une démarche qualité conforme aux recommandations préconisées dans la norme FD X 50-550, en se dotant de sa propre politique qualité (Mission qualité, 2004). Deux objectifs ont été définis pour l'institut : traçabilité des activités de recherche et fiabilité des résultats mesurables. Les unités de recherche et d'expérimentation se sont engagées volontairement et progressivement dans la mise en place de cette démarche qualité. Partenaire du centre Inra d'Angers et hébergeant les 4 UMR du centre, le domaine pédagogique et expérimental de l'INH a suivi cette démarche.

Les instructions réalisées ont utilisé notamment comme références l'instruction de «vérification d'une balance» et l'enregistrement «constat de vérification» rédigée par la mission qualité de l'Inra.

2.4. Les serres S1, l'outil de référence

L'outil retenu pour la mise au point du système de vérification est la serre S1 du domaine p&e. Cet équipement récent héberge une soixantaine d'expérimentations par an. Ses utilisateurs exigeants sont à l'initiative de ce projet.

Il s'agit aussi d'un équipement complet. Il existe un système de supervision. Les 32 modules sont équipés de sondes de température et d'hygrométrie. La présence du réseau informatique en un point limite les frais d'installation avec la mise en place d'un seul routeur wifi.

3. CLIMAX, un progiciel de vérification automatique

Le progiciel est appelé CLIMAX. Au total, la première version de ce programme comprenait 260 Vis (unité de programmation labview) dont 148 uniquement pour le driver de la centrale de mesure MX100. Aujourd'hui, il est constitué de 120 Vis dont une partie embarquée dans la centrale cFP-2100.

Ce progiciel réalise la vérification en appliquant les instructions définies dans la démarche qualité du domaine p&e (illustrations 5,6 et 7). L'administrateur, conformément à ces instructions, configure les installations à contrôler : emplacement, type de sonde, supervision...

7. VERIFICATION PERIODIQUE

7.1 Opérations préliminaires

Lancer le progiciel CLIMAX

Vérifier toutes les configurations nécessaires à la réalisation d'une vérification sur le progiciel CLIMAX

Installer les sondes de vérification et mettre la centrale de mesure MX100 sous tension

Synchroniser et tester la connexion avec la centrale via le progiciel CLIMAX

7.2 Essai de justesse (linéarité)

Calculer les erreurs de justesse de l'indicateur de température (E_j) pour chaque température j mesurée.

$E_j = \text{valeur lue sur l'indicateur de température (Vit)} - \text{valeur lue sur l'étalon de travail (Vet)}$

$E_j = Vit - Vet$

7.3 Essai de fidélité

Pour une température j mesurée au minimum 10 fois par l'étalon de travail, calculer l'erreur de fidélité (E_f).

$E_f = \text{valeur maximum lue sur l'indicateur de température (Vitmax)} - \text{valeur minimum lue sur l'indicateur de température (Vitmin)}$

$E_f = Vitmax - Vitmin$

7.4 Exploitation des résultats

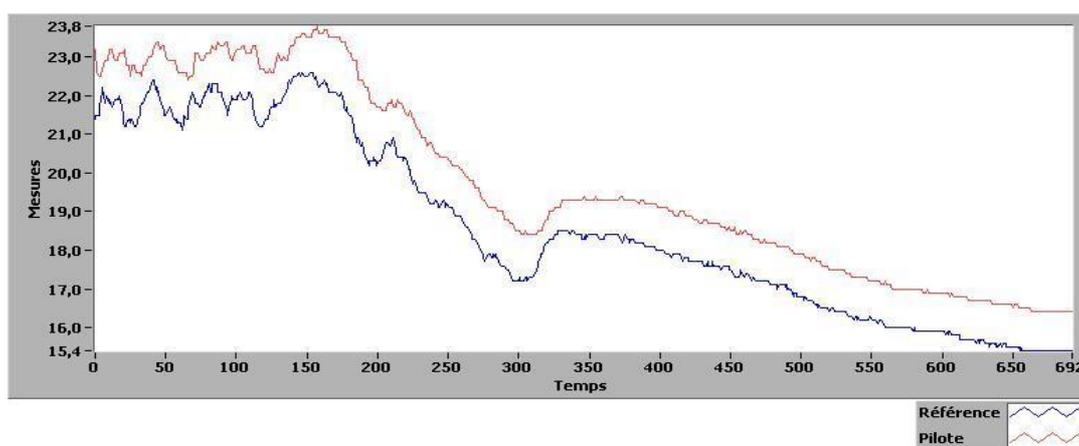
Valeur absolue $\text{Max}(E_j) \leq \text{Erreur Maximale Tolérée (EMT) indicateur de température}$

Valeur absolue $\text{Max}(E_f) \leq \text{Erreur Maximale Tolérée (EMT) indicateur de température}$

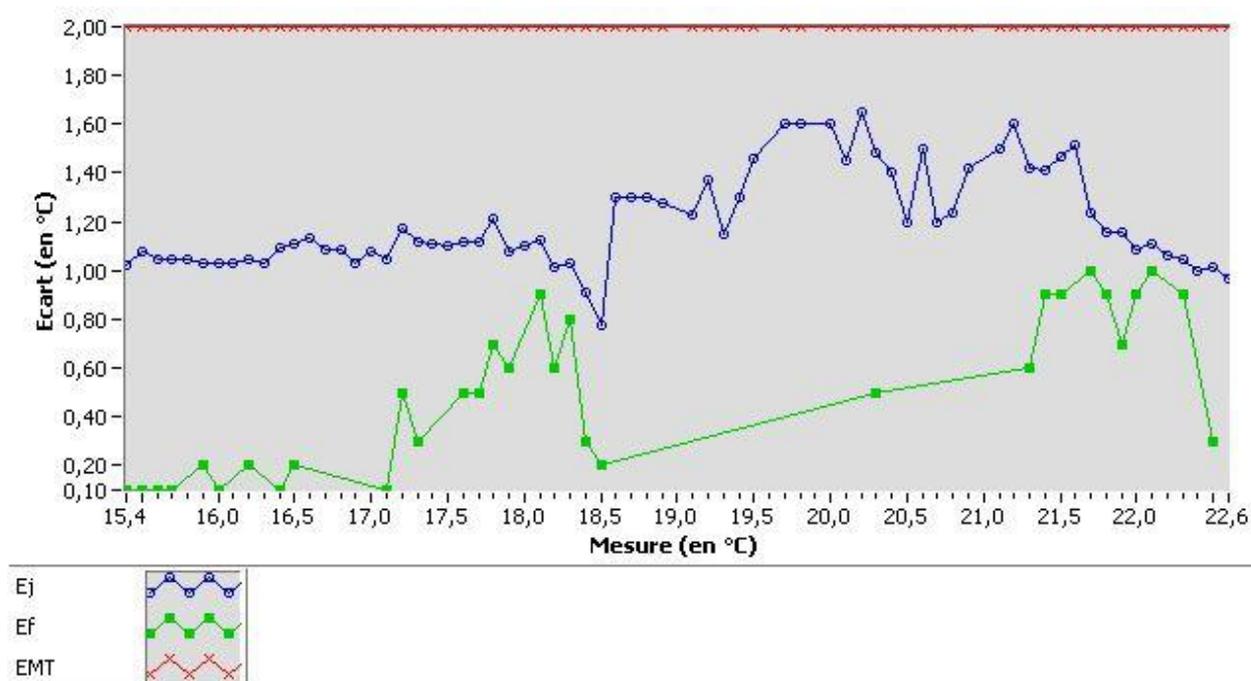
7.5 Présentation de résultats

Le progiciel rédige automatiquement le constat de vérification. Il mentionne sur la fiche de vie de l'appareil la date de la vérification et le résultat. L'opérateur imprime et valide par sa signature le constat de vérification.

5. Extrait de l'instruction «vérification périodique d'un indicateur de température »



6. Graphe des mesures effectuées lors de la vérification du 30/05/2005 à 16h42 pour une durée de 12h sur le capteur de température de la serre S1-S11 (Garnier, 2005)



7. *Graphique des résultats effectués lors de la vérification du 30/05/2005 à 16h42 pour une durée de 12h sur le capteur de température de la serre S1-S11, Ej et Ef sont inférieures à EMT le capteur est déclaré conforme (Garnier, 2005)*

L'application de l'instruction et certaines fonctions sont verrouillées : ni l'administrateur ni l'utilisateur ne peuvent modifier ces consignes. Cependant, un mode manuel de vérification est offert dans lequel l'opérateur peut modifier le temps de la vérification. Ce mode ne permet pas l'édition d'un constat de vérification valide.

Pour gagner du temps, CLIMAX peut vérifier en même temps la sonde de température et la sonde d'hygrométrie d'un même compartiment. Dans ce cas les deux instructions sont compatibles.

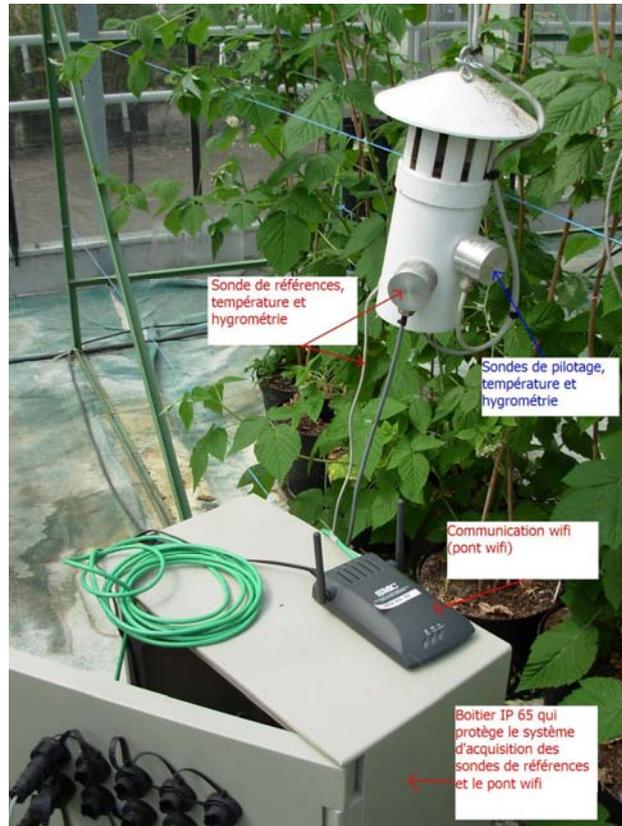
L'ensemble de la vérification des deux sondes d'un module de serre dure ½ heure en temps cumulé. Il convient de rajouter à ce temps de vérification, un temps de gestion du système qui comprend notamment l'étalonnage des sondes de référence.

3.1. Un concept validé, il reste à réaliser un test à grande échelle

La phase de test a permis de valider le «concept». L'unité mobile permet à un seul opérateur de vérifier des sondes de pilotage dans leurs environnements, parfois contraignants (eau, poussière, chaleur...). Le programme CLIMAX permet l'édition de constat de vérification et leur archivage pour les sondes de température et d'hygrométrie de la serre S1. Par contre la vérification de sondes d'enceinte sans superviseur n'a pas pu être testée et validée.

Le driver labview de la centrale MX100 a été le principal frein au développement du système. Ce dernier disponible sur Internet est fourni sans commentaire, il est inclus dans une application de démonstration. Il a fallu décortiquer cette application pour dégager les Vis correspondant au driver et les utiliser dans le programme CLIMAX ; pour finalement changer de matériel après 18 mois de développement. L'étude matérielle menée en 2004 a été déficiente par manque de prospective.

Ce contre temps ne nous a pas permis de réaliser un test à grande échelle, à savoir la vérification des 32 sondes de température et 32 sondes d'hygrométrie de la serre S1 de l'INH. Ce test nous permettra d'évaluer sur un matériel âgé de 7 ans, la fiabilité des sondes utilisées et la pertinence d'une vérification périodique (illustration 8).



8. Photo du système de vérification placé dans une enceinte de serre (Gardet, 2006)
le pont wifi est sorti du boîtier à l'occasion de la photo

Conclusion

Vers la vérification en routine et la caractérisation

Au mois de novembre et décembre 2007, l'ensemble des sondes de pilotage température et hygrométrie de la serre S1 aura été vérifié par un système de vérification étalonné.

Par la suite, la vérification de système sans supervision doit être validée. La solution sera alors proposée à l'ensemble des installations INH et Inra d'Angers et mise à la disposition d'éventuels autres utilisateurs.

En parallèle à ce volet opérationnel, l'étude de la caractérisation des enceintes sera poursuivie, avec comme objectif une utilisation pour la mise en service des nouvelles installations expérimentales du centre Inra d'Angers.

Bibliographie

Bertho Thomas, 2007. Migration vers plateforme NI & stabilisation du logiciel CLIMAX, Mémoire M1 ISTIA.

Garnier, Jérémie, 2005. Système de vérification et de caractérisation spatiale d'enceintes climatiques, Mémoire M2 ISTIA.

Mission Qualité INRA, *Référentiel Qualité INRA version 0*, INRA, 2004

Texte normatif et qualité :

NF X 07-001 décembre 1994 Normes fondamentales – Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie dit VIM

NF X 07-011 décembre 1994 Métrologie dans l'entreprise – Constat de vérification des moyens de mesure

FD X 07-013 décembre 1997 Métrologie dans l'entreprise – Critères de choix entre vérification et étalonnage, utilisation et conservation des résultats de mesure

NF X 07-016 décembre 1993 Métrologie dans l'entreprise – Modalités pratiques pour l'établissement des procédures d'étalonnage et de vérification des moyens de mesure

FD X 07-018 décembre 1997 Métrologie dans l'entreprise - Fiche de vie des équipements de mesure, de contrôle et d'essai

FD X 07-028 octobre 2002 Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres – Estimation des incertitudes sur les mesures de température

NF X 15-140 octobre 2002 Enceintes climatiques et thermostatiques – Caractérisation et vérification

INRA / I-MAT-BAL-01 / Vérification périodique d'une balance

INH / I-MAT-IT-01 / Vérification périodique d'un indicateur de température

INH / I-MAT-IH-01 / Vérification périodique d'un indicateur d'hygrométrie