

Réalisation d'une enceinte Phytovirus de type NS3

Michel Pélissier¹, Jean-Marc Bastien², Michel Méot³

Résumé

Nous avons réalisé une enceinte dépressurisée de niveau de sécurité optimal (NS3) pour y développer des méthodes de lutte contre les maladies transmises par des petits insectes blancs, les aleurodes qui infestent de leurs milliers d'œufs chaque feuille d'une plante.



- le niveau NS1 concerne les micro-organismes ne pouvant se disséminer ni par l'eau ni par l'air.
- le niveau NS2 concerne les micro-organismes ne pouvant se disséminer ni par l'eau, les effluents solides mais pas par l'air.

Photo 1 : sas d'entrée de l'enceinte NS3

Introduction

Nous avons construit une enceinte d'un niveau de confinement optimal appelé NS3 car aucun micro organisme ne doit se disséminer ni par l'air, ni par l'eau, ni par les effluents solides.

Cette structure NS3 va permettre :

- De développer des méthodes de lutte contre les maladies transmises par les aleurodes ;
- D'identifier les virus et leurs caractéristiques pour mieux connaître leur épidémiologie et surtout envisager une éradication efficace de ces agents de lutte obligatoire ;
- D'analyser les facteurs assistants pour sa transmission car une étude montre que les virus sont transmis uniquement par deux espèces d'aleurodes ;
- De rechercher des résistances à ces virus dans les ressources génétiques.

¹ Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes Domaine St Paul Site AGROPARC 84914 Avignon cedex
☎ 04-32-72-29-94 - mpeliss@avi-forets.avignon.inra.fr

² Station de Pathologie végétale - Domaine St Maurice BP 94 allée des chênes 84143 Montfavet Cedex
☎ 04-32-72-28-43 - bastien@avi-maur.avignon.inra.fr

³ Services Déconcentrés d'Appui à la Recherche -Domaine St Paul Site AGROPARC 84914 Avignon cedex
☎ 04-32-72-20-81- :michel.meot@avignon.inra.fr

L'enceinte NS 3 est composée d'une cellule de transmission, deux cellules d'élevage, elle comporte 4 postes de travail pour 3 ou 4 opérateurs pour l'ensemble des cellules c'est à dire 2 chercheurs en virologie et 2 techniciens.

1. Matériel et Méthodes

Cette enceinte est composée de trois cellules et d'un sas d'entrée aux caractéristiques déterminées : deux petites cellules pour les deux élevages et d'une cellule pour les expériences de transmission (**figure 1**).

Les murs sont en panneaux isolants de chambre froide auto-porteurs, galvanisés laqués, nervurés à l'extérieur et lisses à l'intérieur, de 80mm d'épaisseur pour le plafond. Le sol est constitué d'un revêtement PVC thermo soudé, les portes possèdent un oculus et un seuil.

Un clavier digicode installé à l'entrée de l'enceinte est accessible uniquement aux personnes munies d'un code. Un système de condamnation électrique empêche l'ouverture simultanée de la porte d'entrée avec l'une ou l'autre des trois portes intérieures et de la porte du local transmission avec l'une ou l'autre porte des cellules d'élevage.

Pour la sécurité du personnel, un système de déverrouillage manuel sur bris de glace avec alarme est installé à côté de chaque porte.

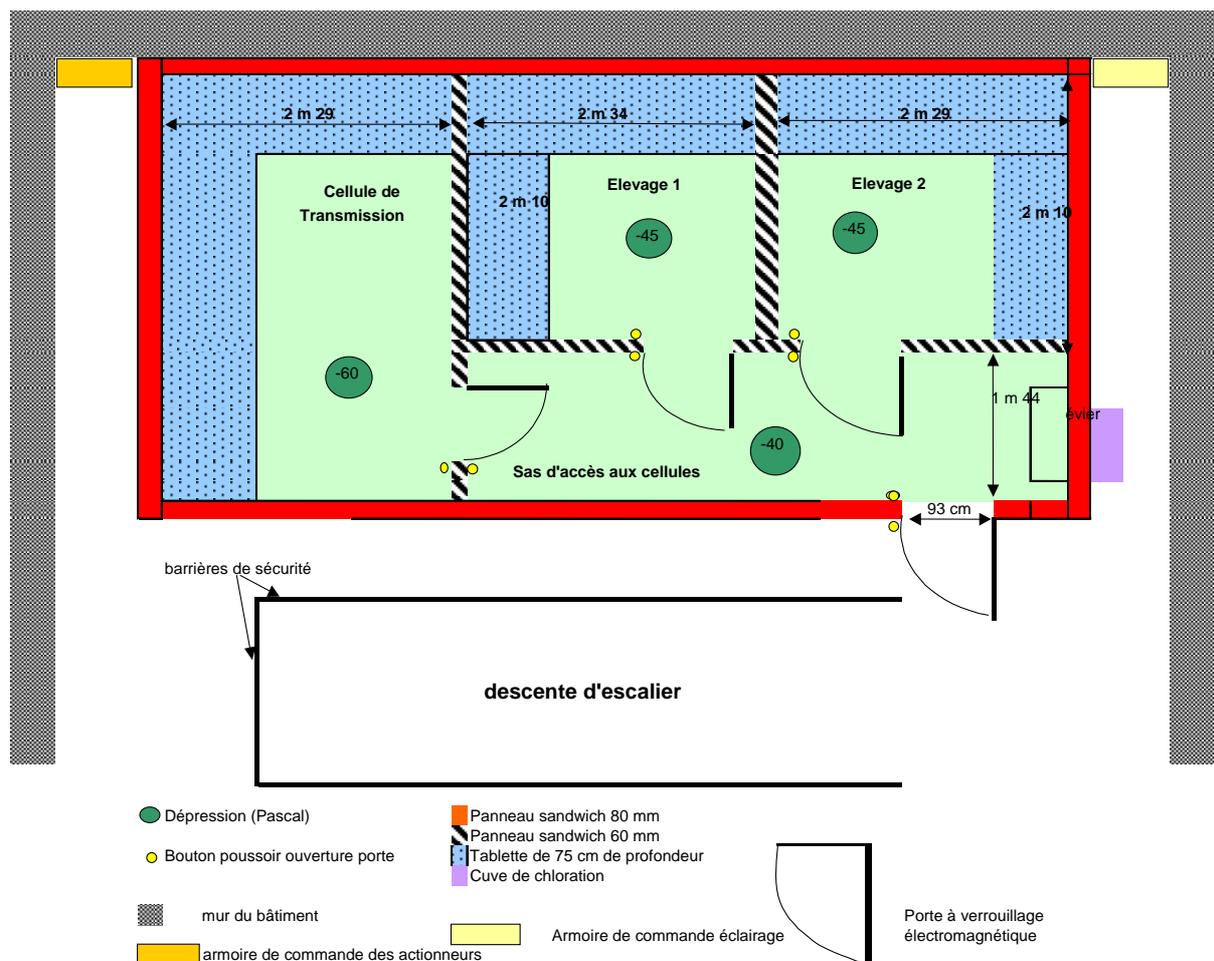


Figure 1 : plan de l'enceinte

2. Infrastructure du projet

La climatisation des pièces est assurée par trois ensembles de batterie froide et de batterie chaude. Le premier ensemble est réservé à la cellule de transmission afin d'arrêter son fonctionnement quand aucune manipulation n'est prévue dans la pièce. Quant aux ensembles 2 et 3, ils peuvent fonctionner indépendamment.

Trois ventilateurs centrifuges sont situés à l'extérieur du local.

Le premier et le deuxième permettent de maintenir une dépression de 45 Pascal⁴ dans le sas et les deux cellules d'élevage et le troisième une dépression de 60 Pascal dans la pièce de transmission.

L'air est filtré à l'entrée à l'aide de filtres EU3 et à la sortie à l'aide de filtres EU5. Le brassage de l'air est de 25 volumes par heure environ et son renouvellement est de l'ordre de 0,5 volume par heure.

Les eaux usées provenant du laboratoire situé dans le sas sont collectées dans des cuves d'une contenance de 150 litres (chaque cuve possède une pompe de relevage) ; elles sont situées à l'extérieur du local pour la chloration (manuelle) avant rejet aux égouts. Le processus se déroulera en trois étapes : stockage, décantation, traitement et au bout de 48 heures rejet aux égouts. Il est en outre entièrement automatisé.

L'enceinte NS3 est positionnée contre le mur du bâtiment afin de laisser un passage de 1,32 m autour de cette dernière entre la paroi et la barrière de sécurité.

2.1. Méthodes

2.1.a. Suivant le protocole expérimental, le fonctionnement s'opère sur deux phases :

Phase 1 : transmission du virus sur l'aleurode,

Phase 2 : mise en élevage cellules 1 ou 2.

La durée d'utilisation pour une expérience est 26 à 38 jours pour un projet limité à trois ans.

Elle est étroitement liée au virus étudié qui est lui même soumis aux variétés de plans supports d'étude.

2.1.b. Plusieurs dispositifs de sécurité existent :

1- respect des normes de sécurité en électricité en vigueur NFC 15-100 :

➤ mise en place de disjoncteurs 30 mA pour la protection du personnel manipulant

2 - accès par un sas dépressurisé, les portes à oculus seront :

➤ fermées par un système actif du type groom,

➤ verrouillées par des gâches magnétiques d'une force de maintien de 600 N (1N=1 Newton=1kgm/s²), un calcul du coefficient de sécurité a été effectué selon les principes ergonomiques. Après l'application d'un coefficient de sécurité s=3 le résultat nous conduit à choisir une gâche de 600N.

➤ équipées d'un bouton poussoir temporisé de déverrouillage ; l'action ne pourra se produire qu'à la condition que les autres portes soient fermées.

⁴1 Pascal =10⁻⁵ Bar

2.3. Etude des modes de marche et arrêt

•MODE DE MARCHE DE VERIFICATION DANS LE DESORDRE

Seuls quelques éléments pourront être contrôlés dans ce mode à savoir :

- Les actionneurs des volets d'air des cellules,
- Les résistances tubulaires de chauffage d'air,
- Les turbines de dépression des cellules,
- L'éclairage aux halogénures,
- Les unités intérieures de climatisation,
- Les gâches électromagnétiques d'ouverture de portes.

•MODE DE PREPARATION

Pour la mise en fonction l'ensemble de cet équipement nous procédons en deux étapes (**Schéma 4**), il faut :

- 1- Effectuer un étalonnage complet de tous les capteurs ;
- 2- Vérifier l'entrée des consignes établies sur le logiciel de supervision.

Après la mise en marche, le temps nécessaire pour obtenir les conditions climatiques requises est d'une demi-journée ; en effet, la structure de cette enceinte est réalisée avec des panneaux de chambre froide limitant ainsi l'inertie de température.

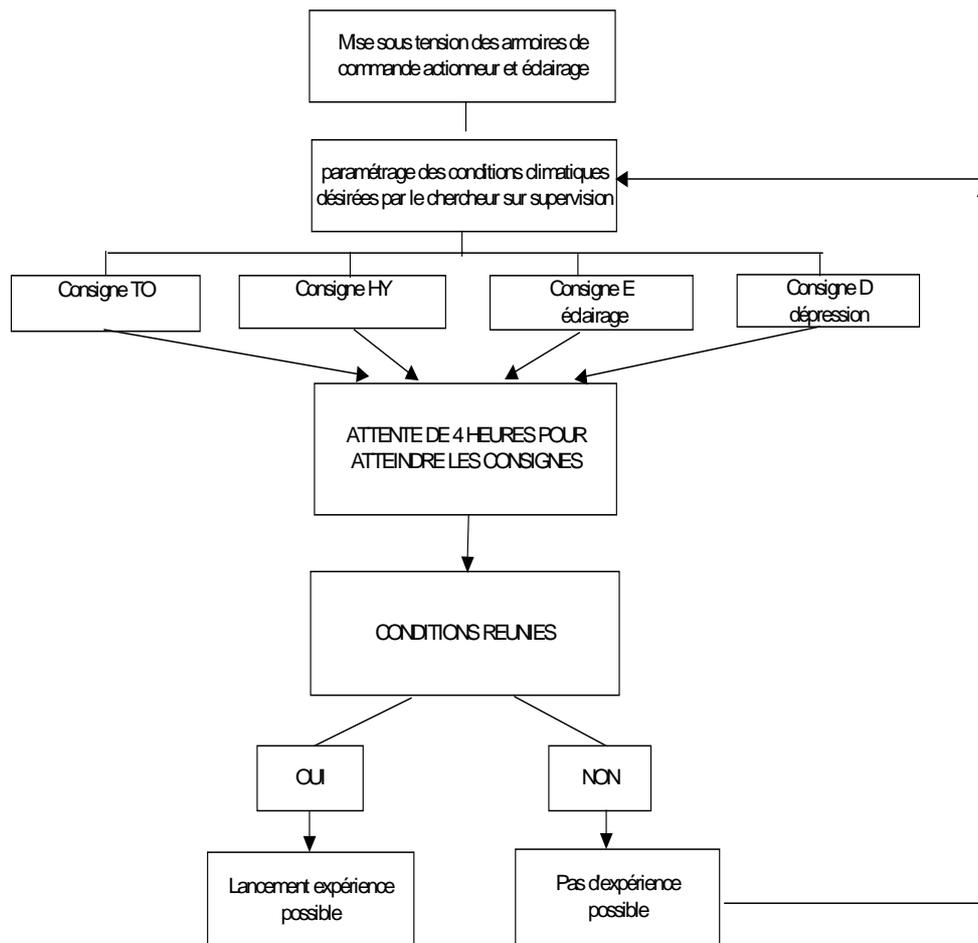


Schéma 4 : Procédure de lancement d'un programme d'expérience

• ARRET DE SECURITE

Par une action sur les boutons poussoirs verts de sécurité situés au bas des portes, une alarme sonore sera lancée. Le déverrouillage simultané de toutes les portes sera opéré. L'ensemble du système de ventilation continuera à fonctionner normalement, évitant ainsi tout contact de l'intérieur vers l'extérieur.

Dans le cas d'un arrêt total d'énergie, à la suite d'une action sur un bouton d'arrêt d'urgence extérieur situé sur les coffrets de commande :

Les actionneurs des volets de ventilation retourneront à leur position initiale (fermés).

Un éclairage de secours de toutes les cellules prendra le relais. Le déverrouillage de toutes les portes sera immédiat (gâches non alimentées).

Dans les deux cas de figure énoncés, hormis l'alarme sonore, un transmetteur téléphonique composera successivement les numéros de postes programmés indiquant un message d'alarme. L'événement sera figé sur l'historique du logiciel de supervision.

• RETOUR AU FONCTIONNEMENT NORMAL

La remise à zéro du boîtier de sécurité ou de l'arrêt d'urgence (type coup de poing) qui a généré l'alarme entraîne l'arrêt de l'alarme sonore. Un acquit de l'alarme sur le logiciel de supervision sera nécessaire. Cependant il ne faut pas perdre de vue qu'un contrôle des différents paramètres devra être effectué avant une reprise en mode normal.

2.4. Energie

PARTIE OPERATIVE

- ▶ Gâche électromagnétique : 12 v courant continu,
- ▶ Actionneurs pour l'ouverture et fermeture des conduits de dépression (servomoteur à ressort de rappel) : 24 v alternatif,
- ▶ Turbine de dépression : 230 v AC,
- ▶ Batterie de chauffage électrique circulaire : 230 v AC.

PARTIE COMMANDE

- ▶ Éléments de mesure 4 à 20 mA (hygrométrie, température, luxmètre, dépression),
- ▶ Détection de présence 12 v courant continu T.O.R. (T.O.R contact tout ou rien),
- ▶ Boîtier de commande de sécurité T.O.R.,
- ▶ Automate ARIA : alimentation en 220 v AC, entrées analogiques 4-20 mA, entrées T.O.R. et sorties 24 v courant continu.

2.5. Structure

L'ensemble de cette structure secondaire est dimensionnée pour supporter le poids propre des panneaux (12 daN/m²), les surcharges liées aux variations de pression (200 Pa)⁵ dans les chambres à température négative ainsi que la surcharge ponctuelle d'un homme et de son outillage soit environ 120 daN.

Les panneaux qui constituent cette structure ont une âme isolante en polystyrène, un classement au feu M1 et une épaisseur de 16, 50, 80 et 140 mm. Le revêtement extérieur de ces panneaux est en tôle lisse d'acier galvanisé (Z225) il est collé sur l'isolant en polystyrène ; afin qu'ils résistent dans le temps nous avons appliqué une couche primaire d'accrochage

⁵ 1 Pascal= Pa =1N/m²
1Pa=10⁻⁵ Bar
1Newton=1kgm/s²

de 5 à 10 microns recouverte après séchage par une laque polyester 25 microns et nous avons terminé par la pose d'un film de protection de 120 microns. Les panneaux s'assemblent entre eux grâce à un système de clipsage breveté.

Les portes iso thermiques pivotantes et réalisées dans les mêmes matériaux que les panneaux, sont munies d'un encadrement renforcé pour résister aux contraintes mécaniques et d'inserts métalliques pour une fixation mécanique des ferrures (poignées, charnières) de très grande qualité.

Nous avons obtenu un certificat de qualification QUALIBAT n°7173 concernant l'isolation frigorifique pour la technicité supérieure de cette structure.

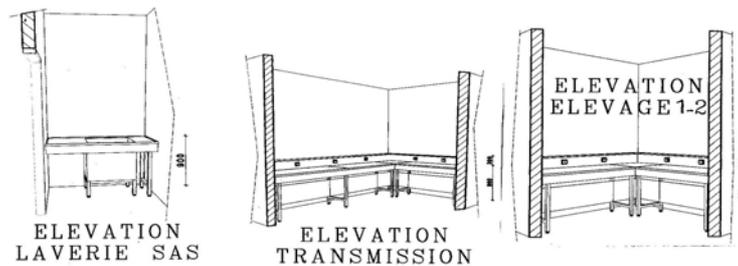


Figure 5 : *Vue en découpe des cellules et de leurs agencements*

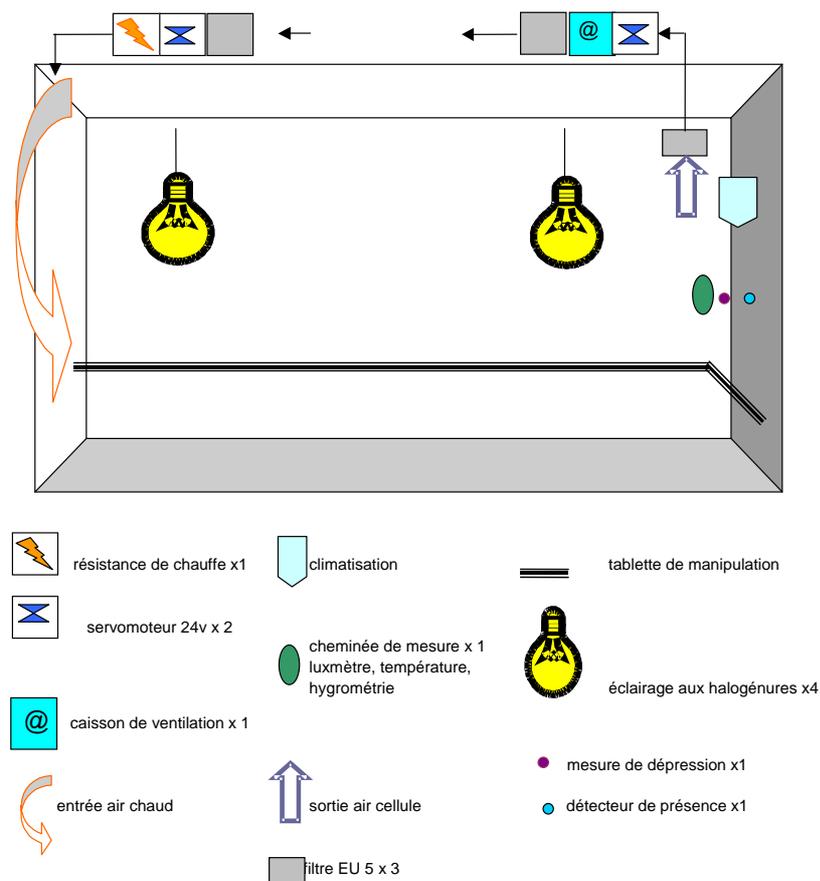


Schéma 6 : *Vue d'ensemble de la cellule de transmission*

N.B. Les composants des cellules d'élevage 1 et 2 sont identiques, seul l'éclairage diffère car ces dernières plus petites sont équipées de trois blocs d'éclairage au lieu de quatre.
 Pour un gain de place, les réchauffeurs tubulaires, les servomoteurs et les caissons de ventilation et de filtration sont fixés sur le toit de l'enceinte (**Figure 7 & Schéma 8**).

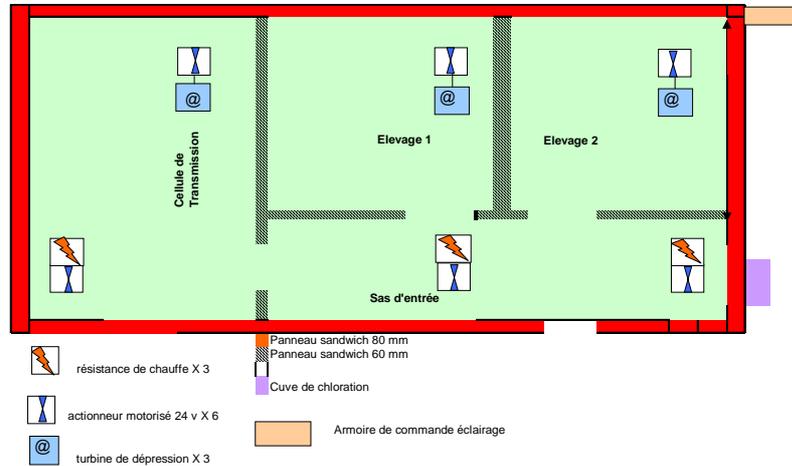


Figure 7 : implantation des actionneurs sur le toit : vue de dessus

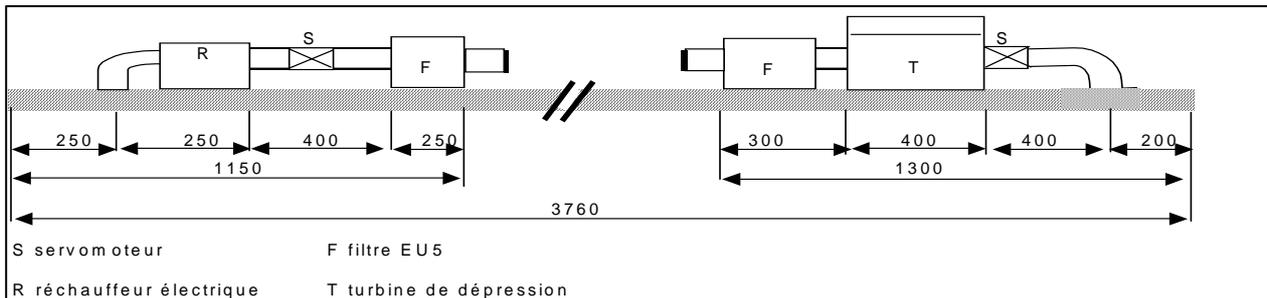


Schéma 8 : vue de face des actionneurs

3. Descriptif des différents composants de l'automatisme de l'enceinte Phytovirus

3.1. Un A.P.I (automate programmable industriel) automate MAESTRO G3 comprenant :

- une alimentation externe 24-25 v en coffret,
- trois cartes d'acquisition comprenant 16 entrées analogiques et 8 entrées contact TOR,
- cinq cartes de commande comprenant 24 sorties 24v courant continu 40 mA,
- une interface de dialogue avec sortie communication 4 à 20 mA.

3.2. Supervision avec

- un logiciel de régulation et un logiciel de dialogue.

3.3. Equipements de mesures technologiques de 4 à 20 mA

- trois sondes luxmètre 0-100 K lux,
- quatre sondes de dépression 4 à 20 mA,
- trois sondes de mesure d'hygrométrie 4 à 20 mA,
- trois sondes de mesure de température 4 à 20 mA plage -10 à + 45°C.

3.4. Pré actionneurs comprenant

- variateur de tension monophasé pour caisson de ventilation type VARIONYS.M 1A,
- quatre détecteurs de présence 12 v courant continu T.O.R.,
- boîtier de sécurité LEGRAND T.O.R.,
- transformateur / redresseur 230v/12 v 1 A classe 2, référence 1001-121 pour alimentation de la gâche électromagnétique.

4. Choix des capteurs (technologie 4 à 20 mA)

Nous avons choisi des technologies de types standard pour pouvoir se réapprovisionner plus facilement en cas de nécessité.

- **luxmètre** 0 à 100 k lux

Dans les enceintes d'élevage et de transmission, l'ambiance lumineuse demandée est d'environ 15 000 lux à hauteur de 1,50 du sol. Ceci nous laisse une marge dans l'éventualité où une étude sur d'autres insectes ravageurs de plants serait envisagée, les conditions d'éclairage pourraient être revues à la hausse.

- **capteur de température** Pt100 (platine) classe A

Dans toutes les cellules nous travaillons entre 18 et 35°C maximum d'où le choix du capteur de plage 0 à 45°C précision + ou - 0,3°C.

- **capteur d'hygrométrie type capacitif**

Nous travaillerons entre 50 et 95 % d'hygrométrie d'où le choix du capteur 0 à 100% précision + ou - 3%

- **Capteur de dépression**

Dans la cellule de transmission, la dépression sera de 60 Pa et dans les cellules d'élevage elle sera de 45 Pa.

Lors de l'entrée ou de la sortie d'une cellule les portes seront plaquées, car le système de ventilation passera en vitesse supérieure d'où une dépression aux environs de 100 Pa.

Choix du détecteur de 0 à 100 Pa

Pression 0, signal de sortie $\leq 100 \mu\text{A}$ resp. 4mA ou $\leq 50 \text{ mV}$ à la tension de sortie. Pression maximale = signal de sortie maximal.

- **Détecteur de présence T.O.R. (T.O.R. : contact tout ou rien).**

Quand une personne pénètre dans la cellule, le détecteur renvoie une information à l'automate qui enclenche la ventilation en vitesse rapide. Ainsi nous avons un apport d'air supplémentaire pour respecter le code du travail. (5000ppm pour 8 heures de travail)

Il a fallu tenir compte de l'hygrométrie et de la température dans les cellules pour porter notre choix sur le détecteur Infrarouge Passif BOSCH référence DS940 T-FRA. de 5 °à+55 ° c et d'une teneur en humidité de 0 à 98%. Alimentation 12 v courant continu - relais d'alarme T.O.R.

- Un boîtier de sécurité LEGRAND T.O.R. placé à 30 cm du sol est associé à une entrée de l'automate, il permet de couper l'alimentation de toutes les gâches électromagnétiques dans le cas où une personne aurait un malaise.

5. Méthode de programmation

L'automate ARIA se programme en langage « c » (**Figure 9**). Les entrées analogiques, les entrées TOR et les sorties sont clairement définies ; ensuite, on détermine les temporisations, les seuils de régulation, les alarmes en fonction du cahier des charges. Une fois ces conditions réunies, l'ensemble est traduit en langage « c » dans un fichier source. Le tout sera stocké dans la mémoire EPROM de l'automate.

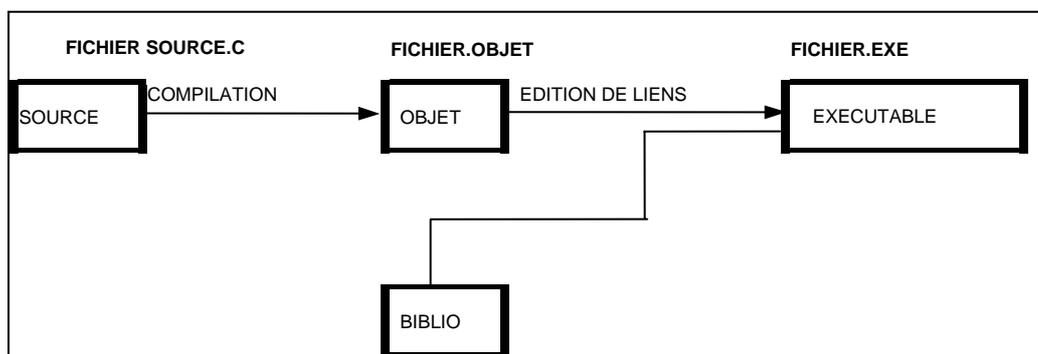


Figure 9 : Principe des étapes de programmation

6. Intégration des équipements

6.1. Principe de l'installation

L'alimentation est en régime de neutre à la terre ;

Les lignes d'entrées et sorties : capteur, fin de course, télécommande sont réalisées avec des câbles qui sont tous blindés (tresse métallique).

Dans chaque câble passe des tensions **de même source**, c'est à dire en provenance de la **même alimentation** ce qui implique qu'il n'y a **pas de mélange** : capteur et télécommande ; capteur et circuit tension ; télécommande 24 V AC et télécommande 220 V AC. Par contre, dans un câble nous retrouvons capteur et fin de course ;

Raccordement des blindages (tresse) **aux deux extrémités**. Ce type de blindage impose **une parfaite équipotentialité** de notre site et une **terre unique**.

6.2. Schéma général de notre installation

Nous présentons dans la **figure 10** l'installation des équipements qui est composée de :

- 1- logiciel de supervision,
- 2- automate,
- 3- capteurs sondes et fin de course,
- 4- interfaces,
- 5- commandes de puissance,
- 6- actionneurs.

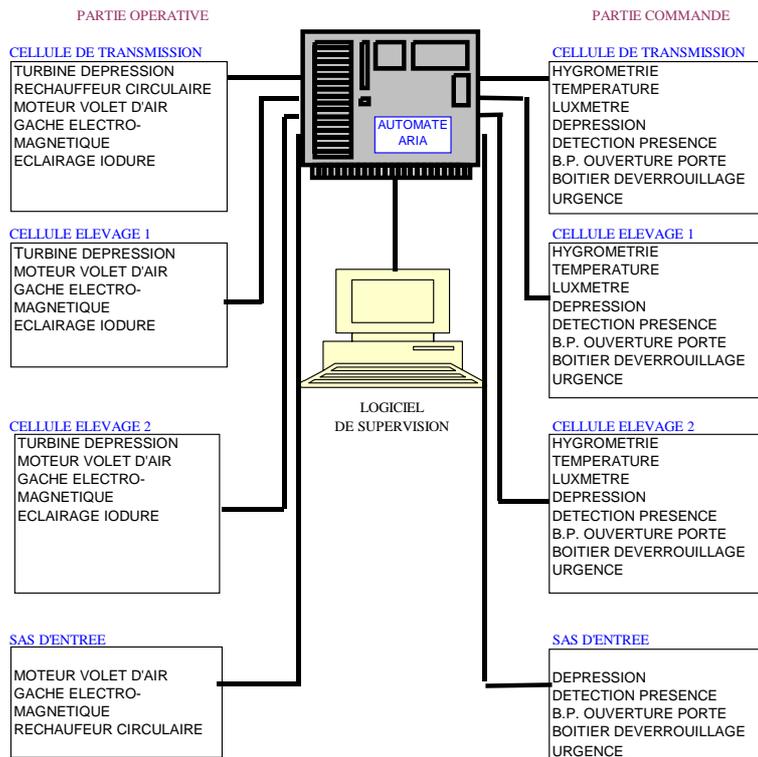


Figure 10 Intégration de la partie opérative dans la partie commande

6.3. L'ensemble servomoteur turbine réchauffeur doit fonctionner en cascade. Dès l'ouverture totale du servomoteur, son contact auxiliaire permettra la fermeture du contacteur de la turbine qui à son tour autorisera la marche du réchauffeur tubulaire. En aucun cas on ne pourra procéder à des marches dans le désordre.

6.4. Les turbines de ventilation sont fixées sur le plafond de l'enceinte NS3. Lors du montage, il a été nécessaire de rajouter une plaque de polystyrène compressé entre la turbine et le dessus de l'enceinte. Ceci pour réduire les vibrations et les bruits qui risqueraient d'incommoder le personnel qui travaille à l'intérieur.

6.5. Les variateurs de vitesse des turbines de dépression sont installés à l'intérieur du coffret de commande des actionneurs ; ils ont été fixés à l'intérieur de ce coffret car ils ont des réglages précis qu'il ne faut absolument pas modifier.

6.6. Positionnement des boîtiers de sécurité (cinq au total)

Les boîtiers de sécurité sont disposés à 30 cm du sol et 10 cm de la porte afin qu'une personne allongée au sol suite à un malaise puisse déverrouiller la porte et lancer une alarme. Seul le technicien de maintenance pourra acquitter l'alarme.

6.7. Les gâches électromagnétiques se déverrouillent dès qu'il y a une coupure d'énergie (sécurité manque de tension) et les éclairages de secours situés au dessus des portes prendront instantanément le relais ; grâce à leur apport de lumière ils permettront au personnel d'évacuer les lieux aisément.

7. Maintenance

L'ensemble des schémas électriques du coffret de commande des actionneurs et du coffret d'éclairage sont réalisés sous trois formes : schémas filaires, schémas de circuit de commande et schémas de puissance (Schémas 11,12 et 13).

L'ensemble des composants est numéroté sur les schémas et dans les coffrets électriques pour réparer rapidement en cas de panne.

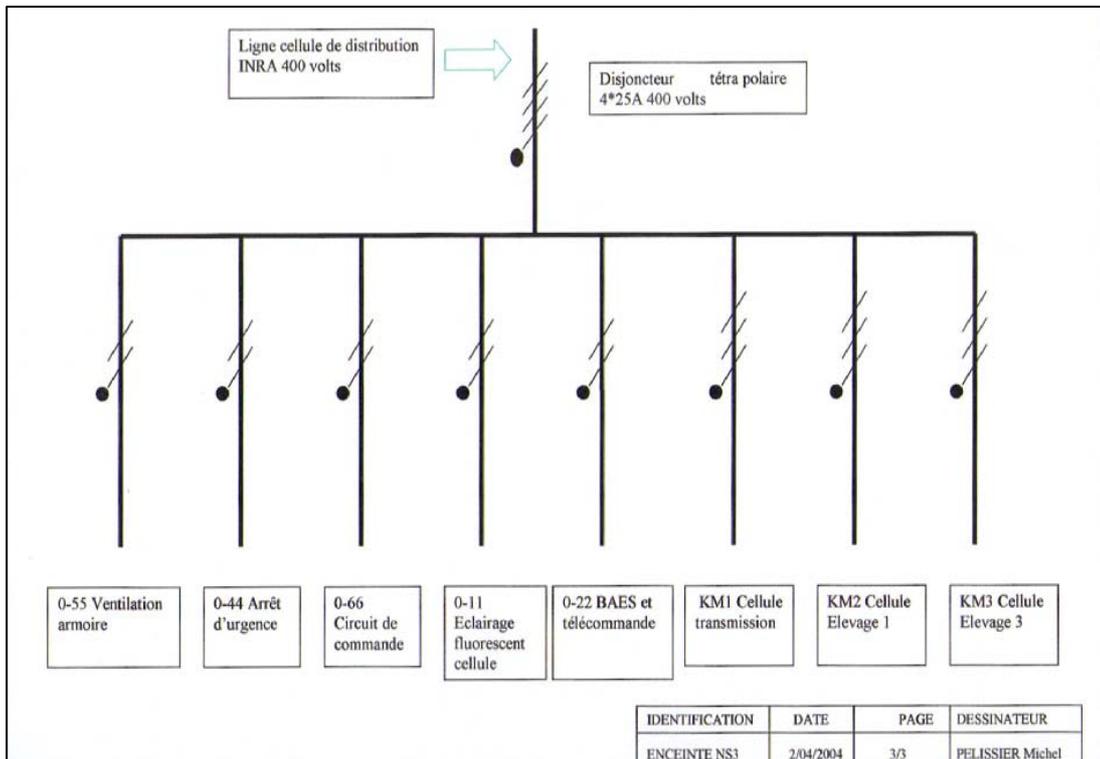


Schéma 11 : filaire coffret d'éclairage

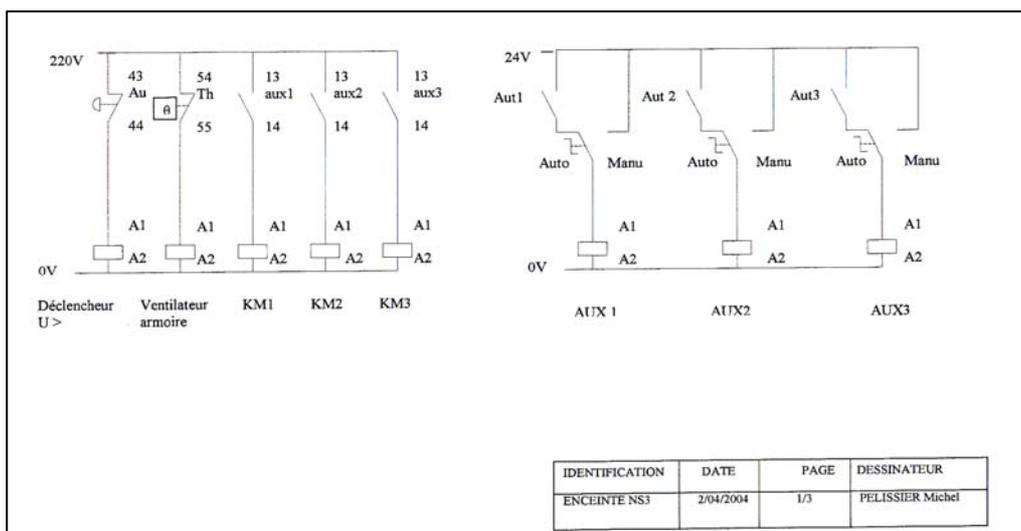


Schéma 12 : circuit de commande de l'armoire d'éclairage

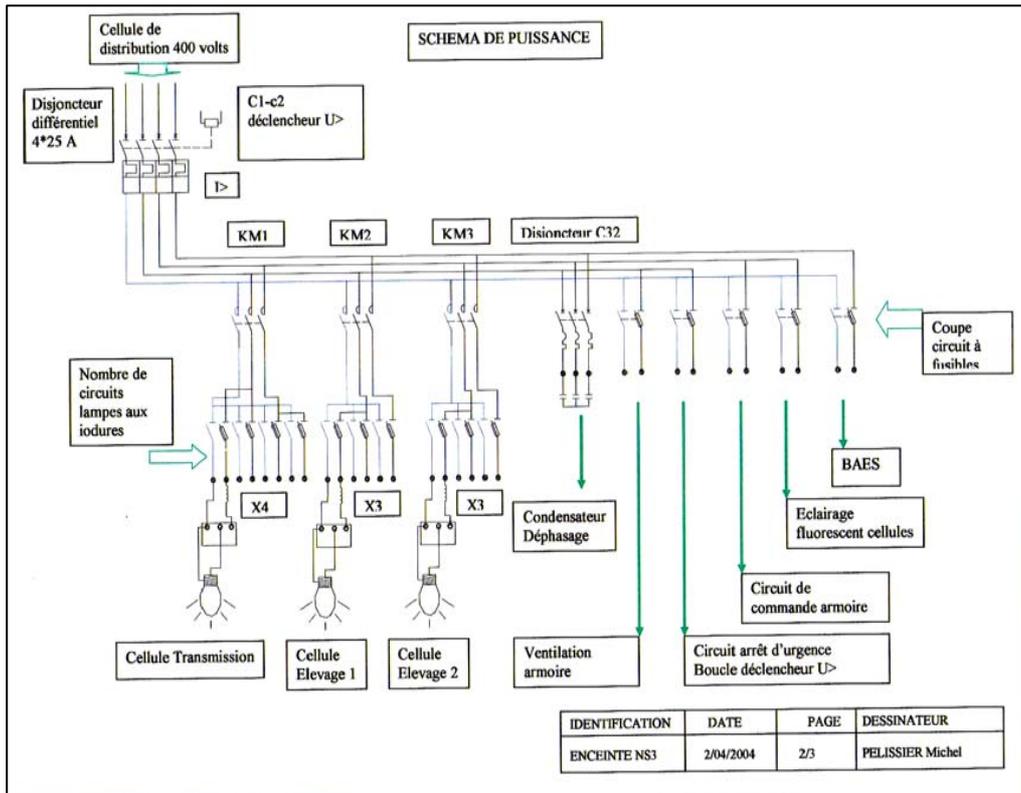


Schéma 13 : puissance de l'armoire d'éclairage

Conclusion

Le 1^{er} septembre 2003 nous avons pris connaissance du cahier des charges, et en juin 2004 l'enceinte était réalisée, soit neuf mois de travaux en plusieurs étapes à savoir :

- Définition et choix du matériel,
- Réunion et validation du choix du matériel,
- Commande de matériel,
- Mise en place cloisons enceinte et réception du matériel capteurs actionneurs,
- Mise en place des capteurs, actionneurs, armoire de commande, API, PC supervision

Cet équipement riche en composants présente une sécurité optimale à deux niveaux pour les personnels : d'une part, l'intégralité des équipements des armoires électriques est protégé par des disjoncteurs 30 mA et, d'autre part, des boîtiers de sécurité sont disposés au bas de toutes les portes. Chaque cellule entièrement automatisée possède un programme spécifique selon les expériences. Elle est dotée d'une détection d'hygrométrie, de température, de luxmètre, de présence et de dépression. Enfin, le double système de filtration amont/aval évite la dissémination dans l'air de tout organisme.

il convient de préciser que l'automate pilote parallèlement 15 chambres climatisées situées au rez-de-chaussée du bâtiment dans lequel se trouve l'enceinte NS3.

La supervision permet de contrôler ou de modifier les paramètres, c'est un outil simple d'emploi.

Grâce à un travail d'équipe très coordonné, nous avons réalisé cet équipement selon le planning et les contrôles requis dans le cahier des charges. Les expériences ont ainsi débuté en juillet 2004.

En conclusion, nous constatons que la réalisation de cette enceinte s'est avérée très instructive tant dans la phase conception que dans la phase réalisation. En effet, contrairement à un équipement standard industriel, cet équipement a été conçu sur mesure et adapté exactement à la demande des chercheurs. Ainsi, selon les études à mener, nous pouvons à tout moment perfectionner et moduler le système sans avoir à remettre en cause l'intégralité de l'installation.

9. Annexes

9.1. Bilan financier par poste

ENSEMBLE STRUCTURE ET ACCESSOIRES	
CELLULE NUE	15 000.00 €
DALLE DE RAGREAGE	4 000.00 €
SOL PLASTIFIE	2 000.00 €
PAILLASSE	1 500.00 €
PLOMBERIE	500.00 €
STERILISATION	750.00 €
ACTIONNEURS ET ACCESSOIRES	
CLIMATISATION	4 000.00 €
COMMANDE SAS	500.00 €
DEPRESSION	1 000.00 €
FILTRATION	3 000.00 €
PREACTIONNEURS ET ACCESSOIRES	
ECLAIRAGE	750.00 €
ELECTRICITE	1 500.00 €
AUTOMATE ET SONDAS REGULATION	16 855.00 €
SUPERVISION	2 692.00 €
TRANSMETTEUR D'ALARME	647.70 €
TOTAL	54 694.70 €

9.2. Constructeurs, fournisseurs et partenaires principaux

Constructeur du caisson de l'enceinte NS3 :

Société DREYER - Siège social : site agro parc BP 1202 84911 AVIGNON CEDEX 9

Equipements de mesures et automate :

Société ARIA - Siège social : Domaine de VILLEMORANT BP 3 41210 NEUNG SUR BEUVRON

Equipement de filtration- dépression et batteries de chauffe :

Ets France AIR -Siège social : 6 rue Maryse Bastié - Zone industrielle de la Lauze -
34450 SAINT JEAN DE VEDAS

Petits matériels : (Relais, gâche électromagnétique, lampes aux halogénures métalliques)

Etablissement RADIOSPARES - Siège social : BP 453 - 60031 BEAUVAIS CEDEX