

Introduction

PHENODYN est une plateforme de phénotypage permettant de caractériser la croissance d'organes et la transpiration des plantes en réponse à des contraintes environnementales. La plateforme permet un suivi fin de ces processus en conditions environnementales fluctuantes selon des pas de temps de quelques minutes grâce à une batterie de capteurs (capteurs potentiométriques, balances, capteurs de micro-météorologie). L'acquisition automatique des mesures alimente une base de données couplée à une interface permettant le suivi des expérimentations en temps réel et l'extraction de données.

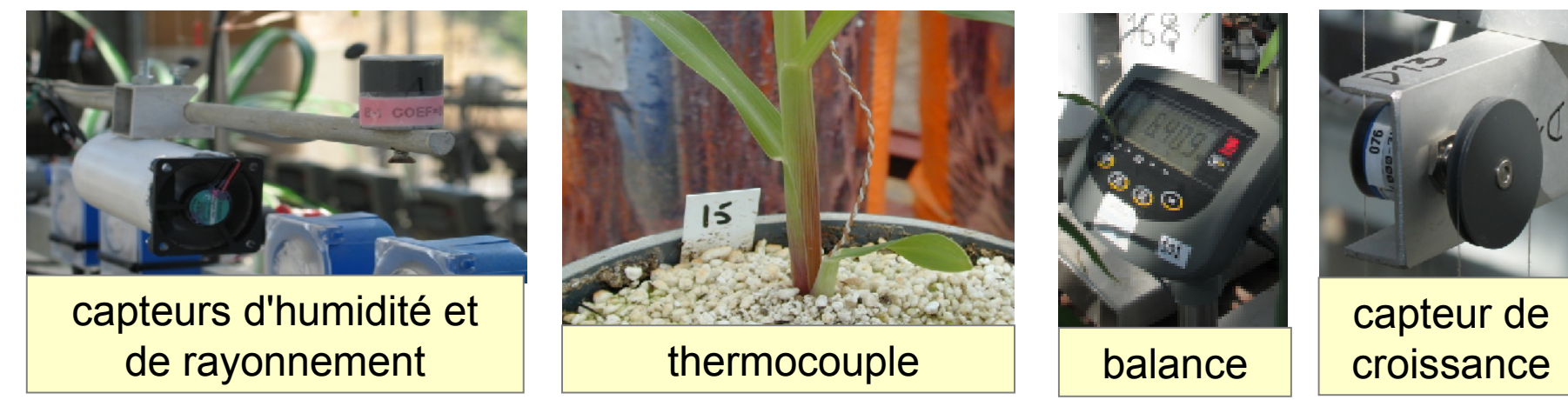
Le dispositif expérimental



PHENODYN - dispositif en serre

Le dispositif est équipé d'un plateau en serre (420 plantes) et de 2 chambres de culture (63 et 18 plantes).

- 500 capteurs potentiométriques (suivi de la croissance).
- 300 balances (suivi état hydrique du substrat et de la transpiration).
- des capteurs de micro-météorologie (vaisala, PAR rayonnement photosynthétiquement actif) assurent le suivi des conditions environnementales (humidité et température de l'air, lumière).
- des thermocouples placés au niveau de l'apex mesurent les températures ressenties par les plantes.



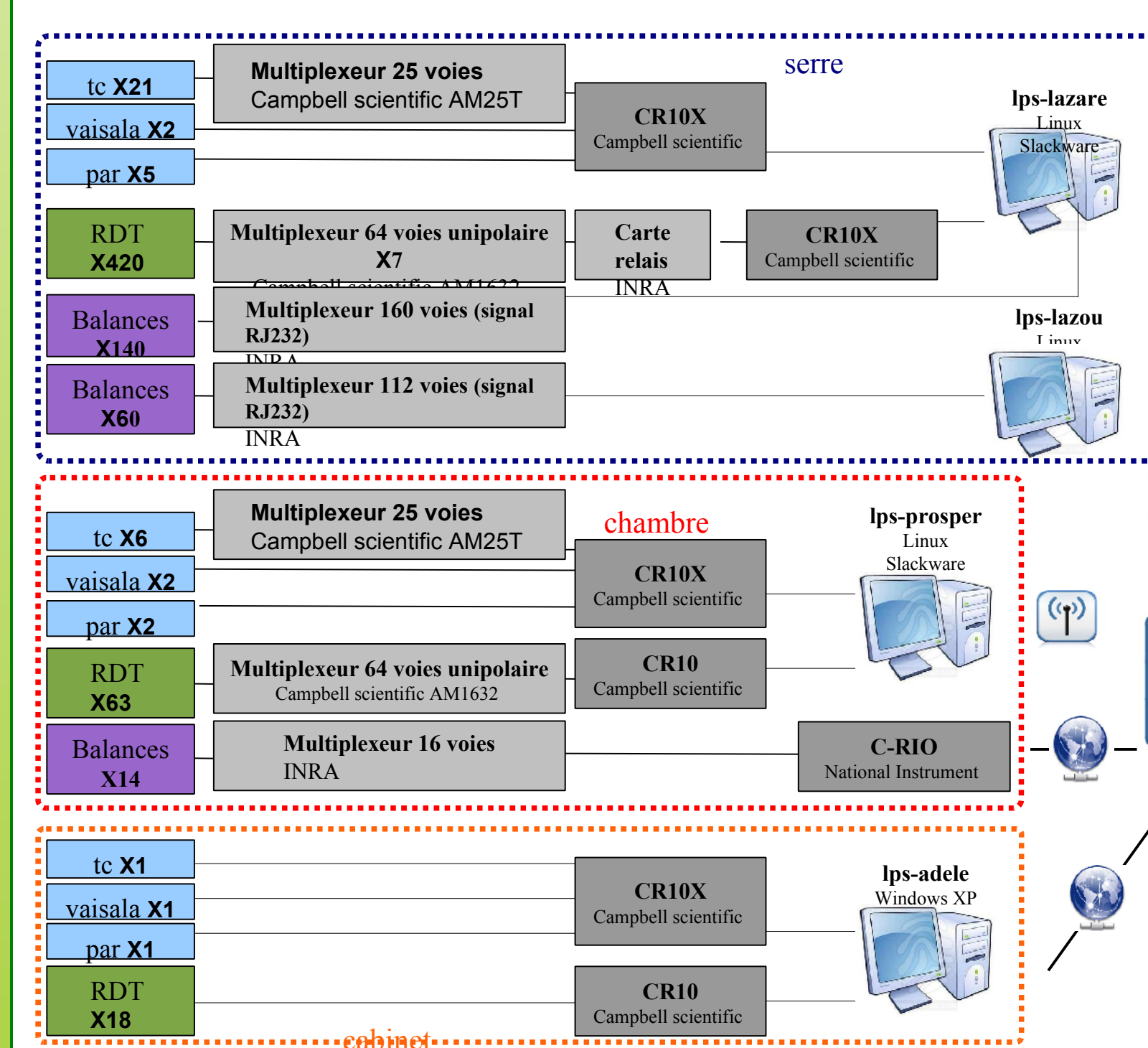
capteurs d'humidité et de rayonnement

thermocouple

balance

capteur de croissance

L'acquisition des données



Campbell Scientific CR10X :

- Programmation basique (instructions) stable
- Communication par port série
- 16 SE/ 8 DI entrées de mesures
- 8 E/S numériques
- 4 tables de programmation
- Mesures thermocouple et déportation de soudure froide intégrée

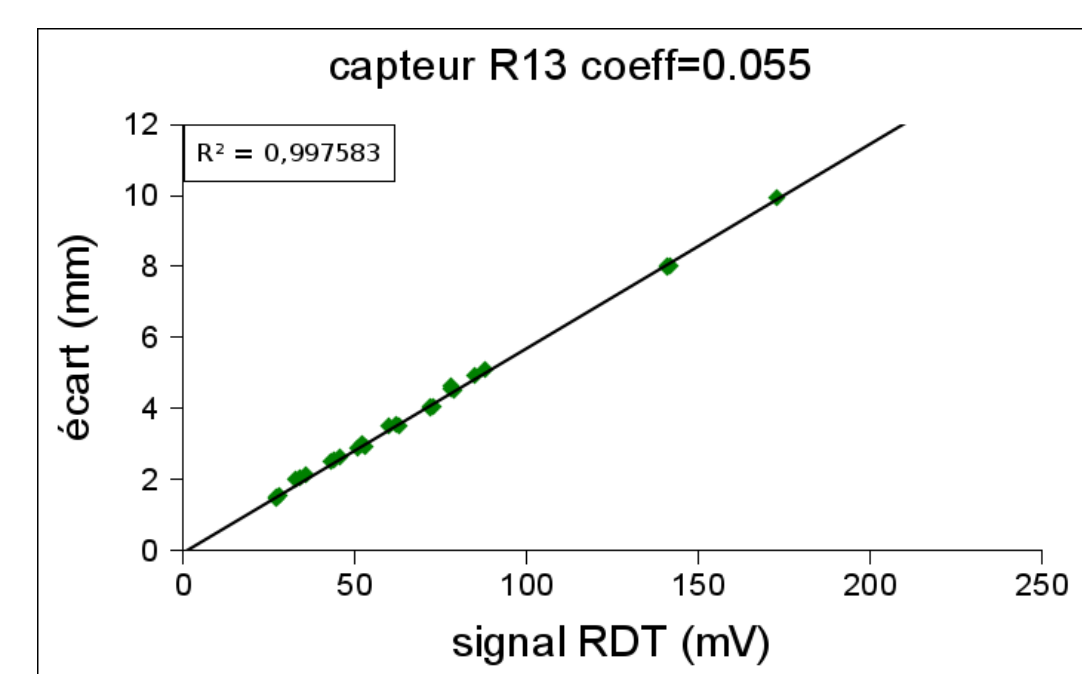
National Instrument Compact RIO :

- Programmation graphique de haut niveau, avec risque de plantage
- Système de fichier proche d'un système d'exploitation
- Communication réseau et série
- Entrées/sorties par cartes enfichables
- Possibilité de créer une interface web
- Prix élevé matériel et logiciel

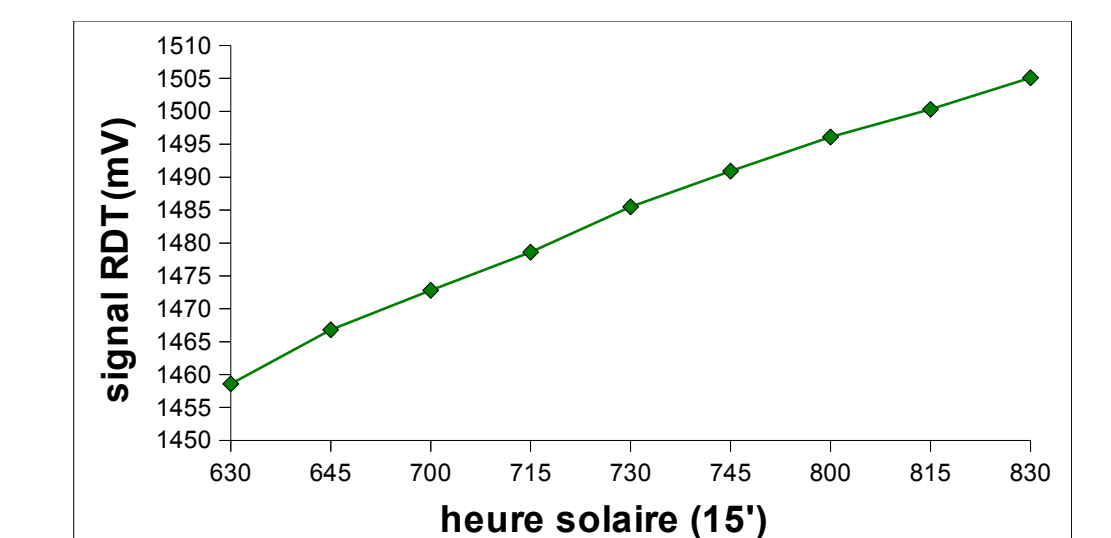
Le suivi de la croissance



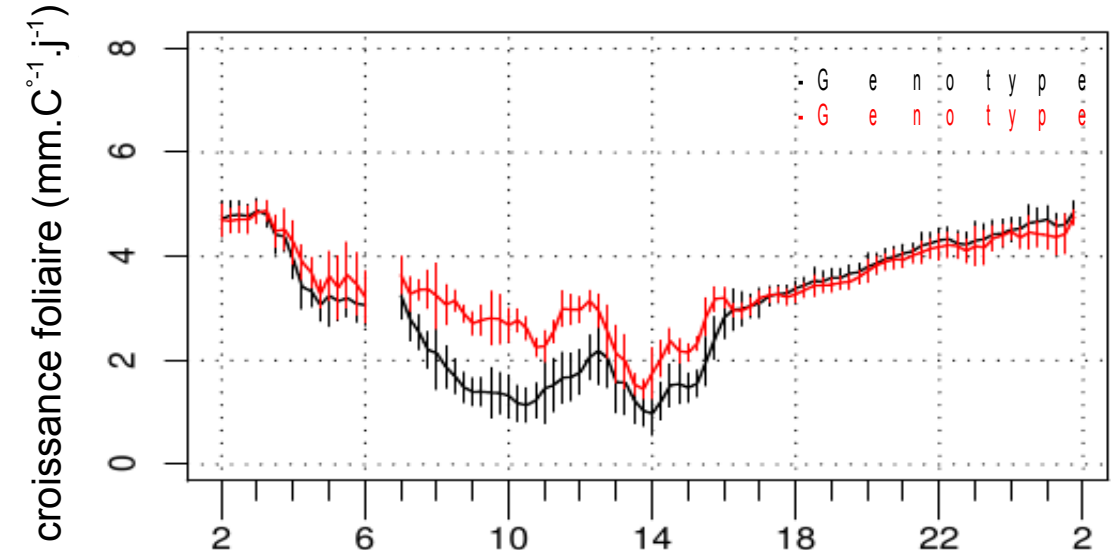
- capteur à effet Hall, ratiométrique
- rotation continue 360°
- sortie analogique précision 1mV



Un coefficient de conversion est déterminé en comparant le signal d'un pied à coulisse numérique étalonné et celui du capteur sur un banc de calibration.

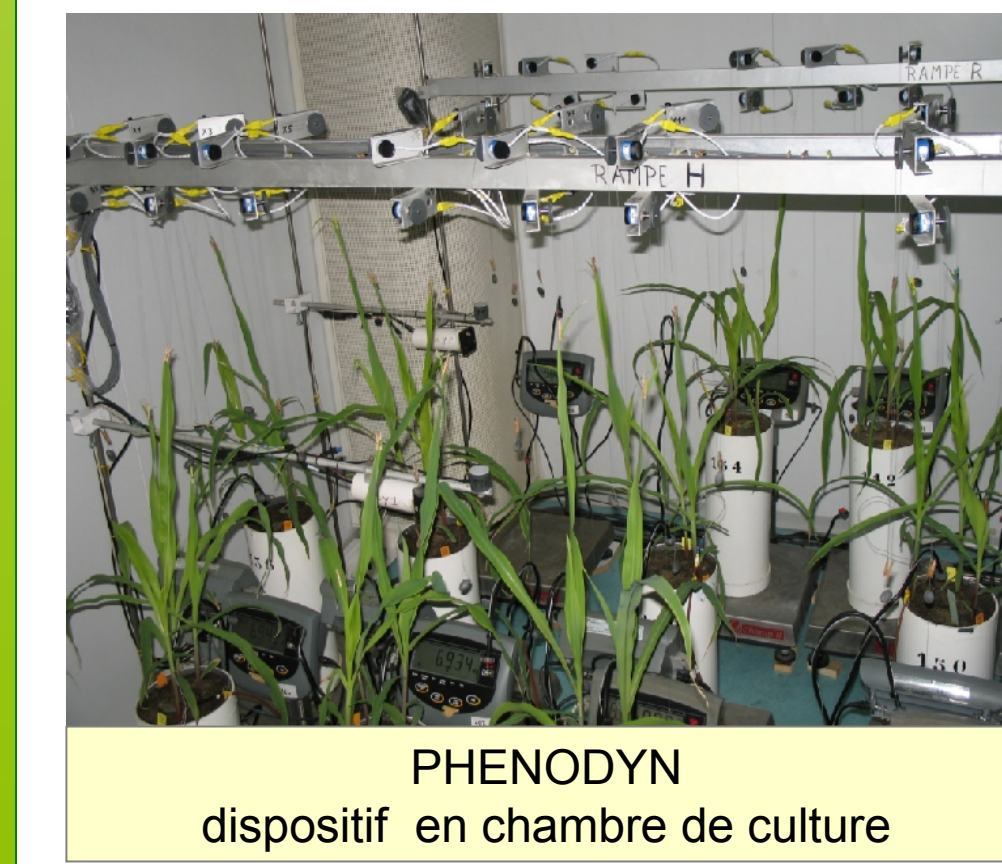


Signal d'un capteur RDT en mesure de croissance sur des pas de temps courts.



Mesures de croissance pour 2 génotypes en conditions climatiques identiques sur une période de 24 heures.

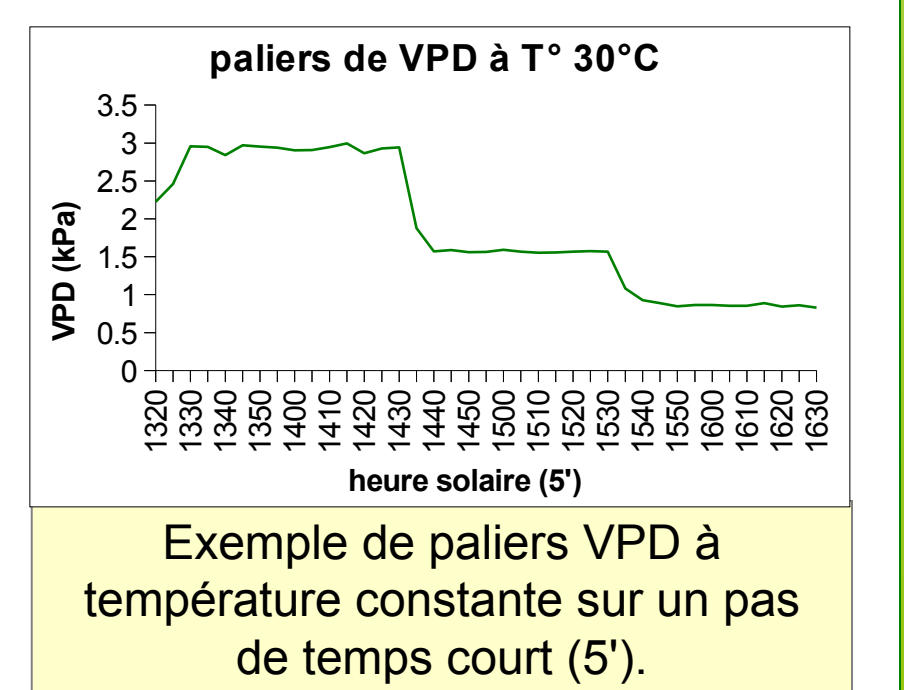
La régulation climatique (chambre de culture)



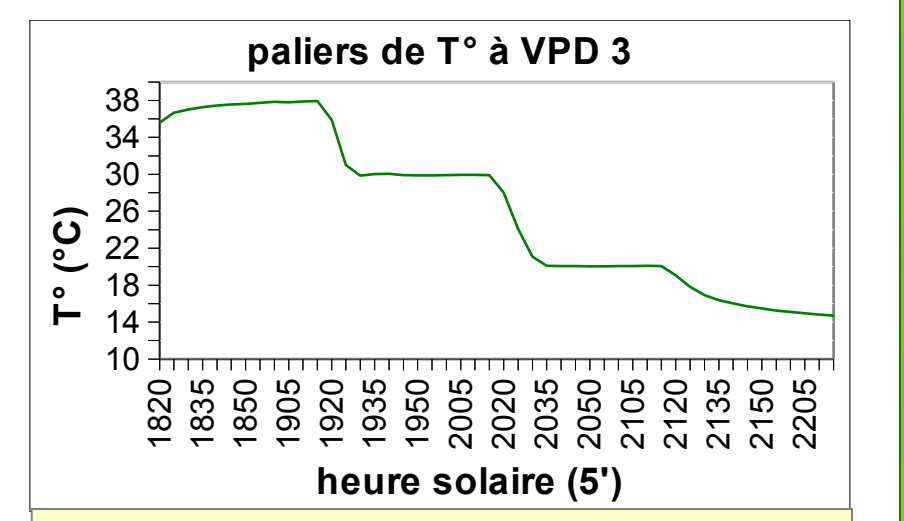
PHENODYN dispositif en chambre de culture

La régulation s'effectue à partir de mesures enregistrées toutes les 5".

Les ports de contrôle de la centrale (CR10X) pilotent une carte relais. Celle-ci commande les différents actionneurs qui gèrent les équipements climatiques (groupe froid, humidificateurs...).



Exemple de paliers VPD à température constante sur un pas de temps court (5").



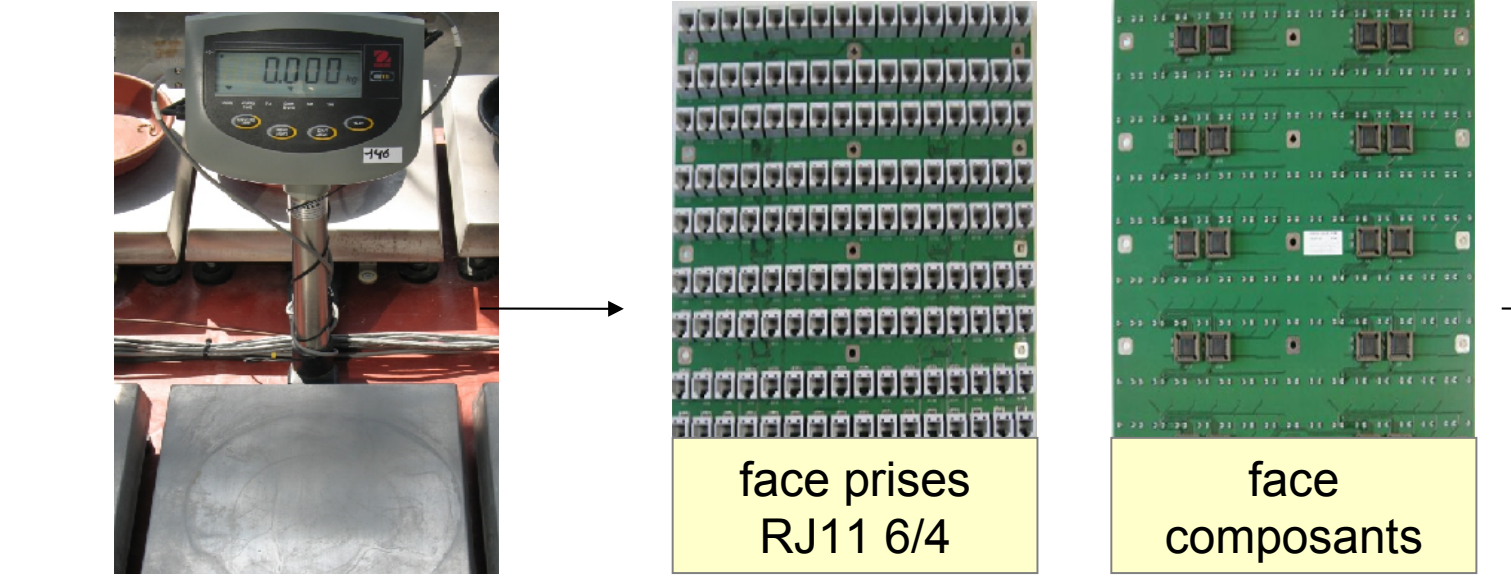
Exemple de paliers température à VPD constant sur un pas de temps court (5").

palier	heure de début/pas	température	humidité	VPD (kPa)	éclairage (μmol/m²/s)
1	10h30	28	65%	1	1
2	10h30	28	65%	2	1
3	20h30	28	65%	3	1
4	00h30	28	65%	0,8	-1
5	04h30	22	65%	0,8	-1
6	07h30	15	65%	0,8	-1

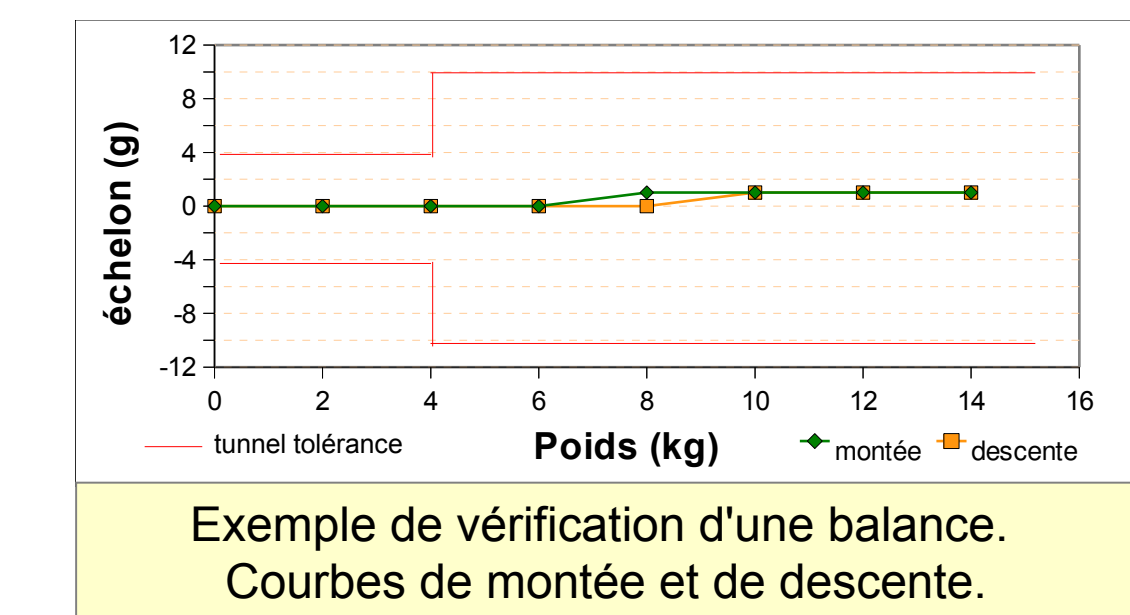
La régulation peut être gérée en direct ou via un tableau de consignes permettant de programmer jusqu'à 6 paliers différents.

Multiplexage des balances

Balance classe III Multiplexeur INRA 160 voies



La vérification annuelle des balances est assurée en interne avec des masses de classe M1. Un tunnel de tolérance est fixé en adéquation avec nos pratiques expérimentales, légèrement au delà de la classe d'attache de la balance.



Exemple de vérification d'une balance. Courbes de montée et de descente.



Lps-lazare Linux Slackware

L'acquisition des données s'effectue de façon séquentielle. Un programme développé au LEPSE (langage TCL) sous LINUX commande la carte via le port parallèle pour l'adressage des multiplexeurs. La communication avec les balances se fait via la liaison RS232.

```
### Déclaration des paramètres ;
set param(lpt_adresse) 0x378 ;# adresse du port lpt
set param(lpt_delai) 0 ;# millisecondes laissées au multiplexeur pour
;# réagir, 50 pour multiplexeur 32 voies, 0 sinon
set param(tty_device) /dev/tty01 ;# port série utilisé (device)
set param(tty_delai) 200 ;# millisecondes laissées à la balance pour
répondre
set param(nb_balances) 112 ;# nombre de balances à lire
set param(fichier) "bal-ser.csv" ;# fichier où on enregistre les données
set param(minutes) 15 ;# intervalle entre deux enregistrements
set param(essais) 2 ;# nombre de tentatives de lecture avant de renoncer
set param(moyenne) 1 ;# 1 si on enregistre des moyennes, 0 sinon
set param(type_mlx) 112 ;# type du multiplexeur : 32, 112 ou 160
;#set debug "debug.txt" ;# ou "/dev/tty1", pour déboguer
```

Exemple de paramètres du programme.

L'irrigation automatique

Ce dispositif permet d'irriguer 140 pots indépendamment. Une interface web donne accès à la gestion des quantités et horaires d'irrigation pour chaque pot. Le câblage et la plomberie ont été développés en interne ainsi que le programme pilotant le dispositif (LABVIEW).



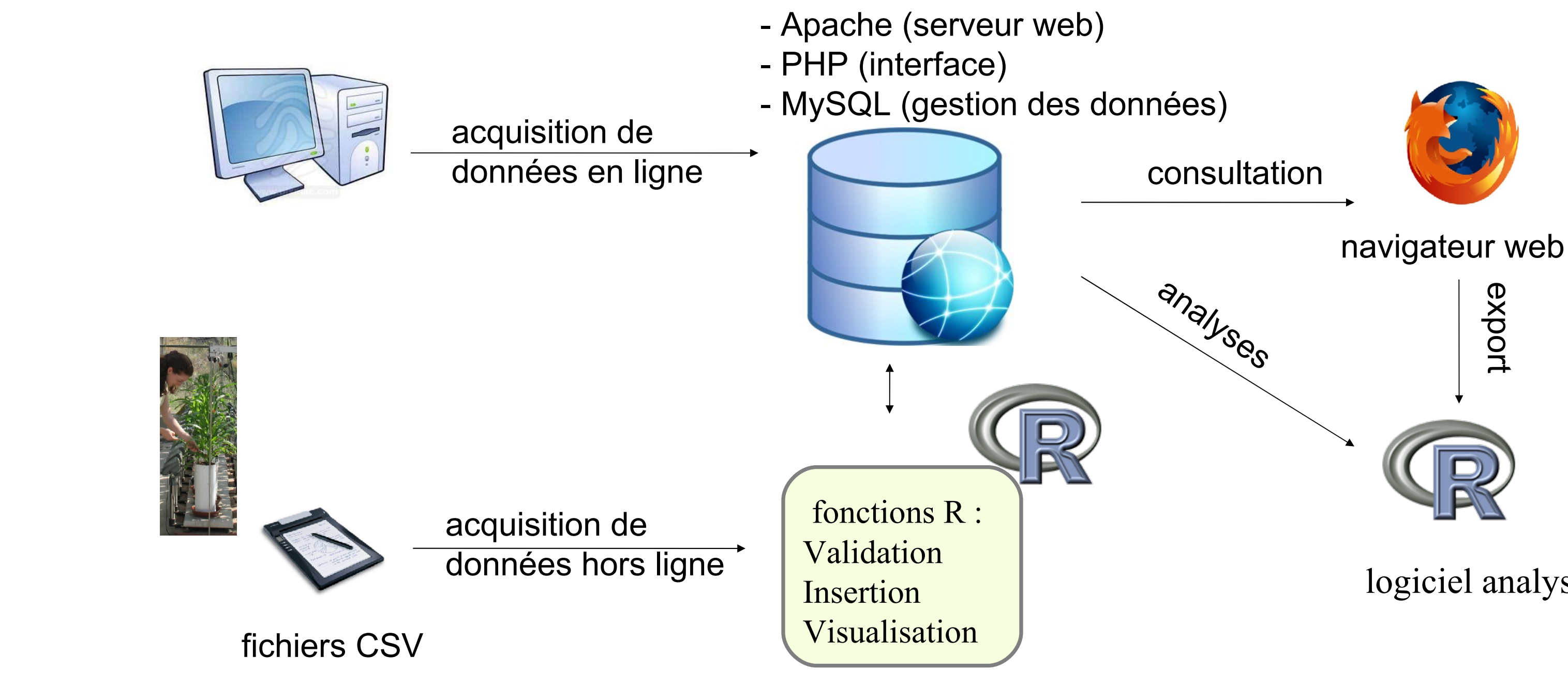
Interface web permettant de déclarer différentes expérimentations, de gérer les droits sur les pompes et de les commander indépendamment en quantités et en horaires d'irrigation.

Ordinateur sous Windows XP avec moteur d'exécution LabVIEW et un serveur web. Un programme de gestion d'irrigation permet de contrôler les pompes. Cet ordinateur est relié via une carte poe à un châssis NI-1033.

Châssis NI-1033 (contrôleur) avec 2 cartes de 96 entrées/sorties numériques. Ces sorties numériques permettent d'activer autant de relais, branchés sur des "fonds de panier".

140 pompes péristaltiques ON/OFF reliées aux relais. Ces pompes ont un débit de 1.5ml/sec, et sont contrôlées à la milliseconde. Un montage régulateur permet de les alimenter en 9V, à la demande.

Le système d'information



- Apache (serveur web)
- PHP (interface)
- MySQL (gestion des données)

navigateur web

analyses

export

logiciel analyse

fonctions R :
Validation
Insertion
Visualisation

La consultation des données

Des requêtes Ajax permettent de lier les menus et facilitent la navigation.

Certaines cinétiques sont générées grâce à la librairie jggraph.

D'autres graphiques plus complexes sont générés grâce à R.

technologies utilisées: HTML, CSS, PHP, javascript

librairies : jggraph, mootools.

Suivi de la croissance (mm.C⁻¹.h⁻¹) associée aux stades de croissance et à l'humidité des pots.

Conclusions

La plateforme de phénotypage Phenodyn permet d'explorer de larges gammes environnementales pour de grandes populations de plantes compatibles avec l'analyse génétique des processus étudiés. Pour maintenir la qualité des mesures tout en augmentant le débit, explorer de nouvelles fonctions physiologiques, faciliter le pilotage des expérimentations et les analyses des données, elle fait l'objet de développements méthodologiques continus.

- la mise en place d'un dispositif d'irrigation automatique
- une interface de consultation permettant le suivi en temps réel des cinétiques
- l'utilisation d'une nouvelle génération de capteurs potentiométriques à effet Hall
- le développement de multiplexeurs (signal RS232), de cartes relais et de programmes d'acquisition