

Optimisation multicritère et conception d'idéotypes

Mohamed-Mahmoud MEMMAH, PSH Avignon

En collaboration avec:

M. Génard, F. Lescourret, B. Quilot, N. Bertin, D. Constantinescu, P.
Valesia, G. Vercambre, M. Cause...

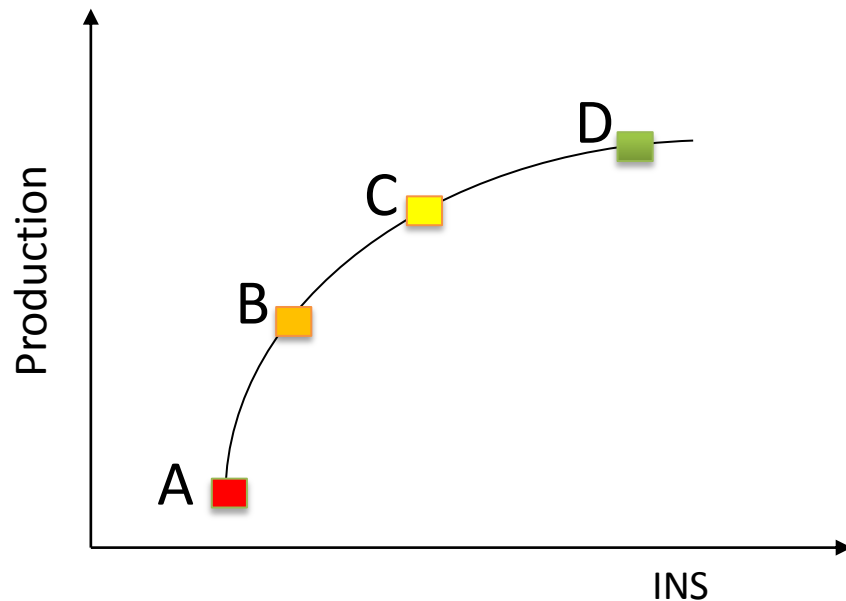
Optimisation

Monocritère Vs. Multicritère

Optimisation monocritère : le problème a une seule fonction objectif.

Exemple: Produire plus (agri intensive)

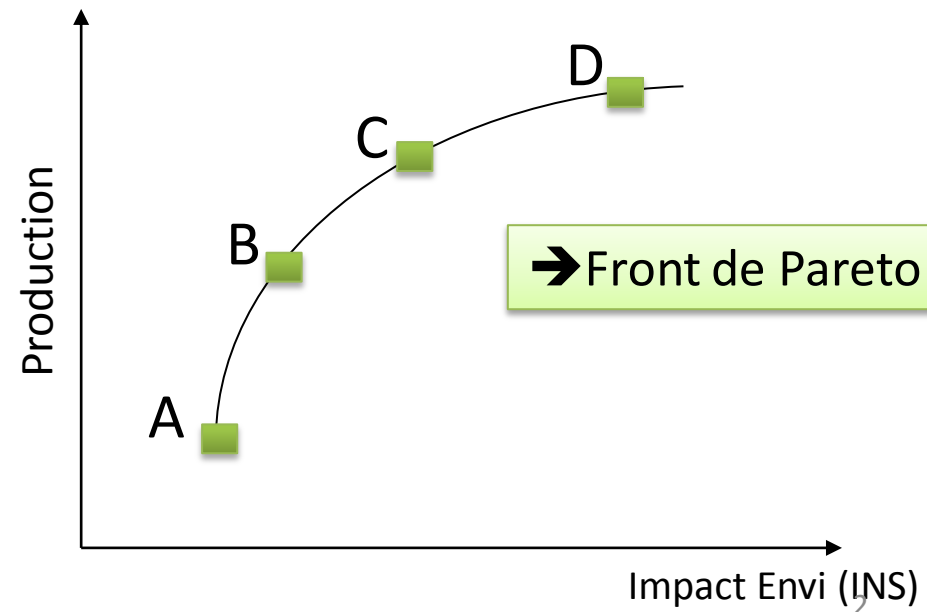
→ But: obtenir la solution optimale **si celle-ci existe!**



Optimisation multicritère : le problème a au moins deux fonctions objectifs.

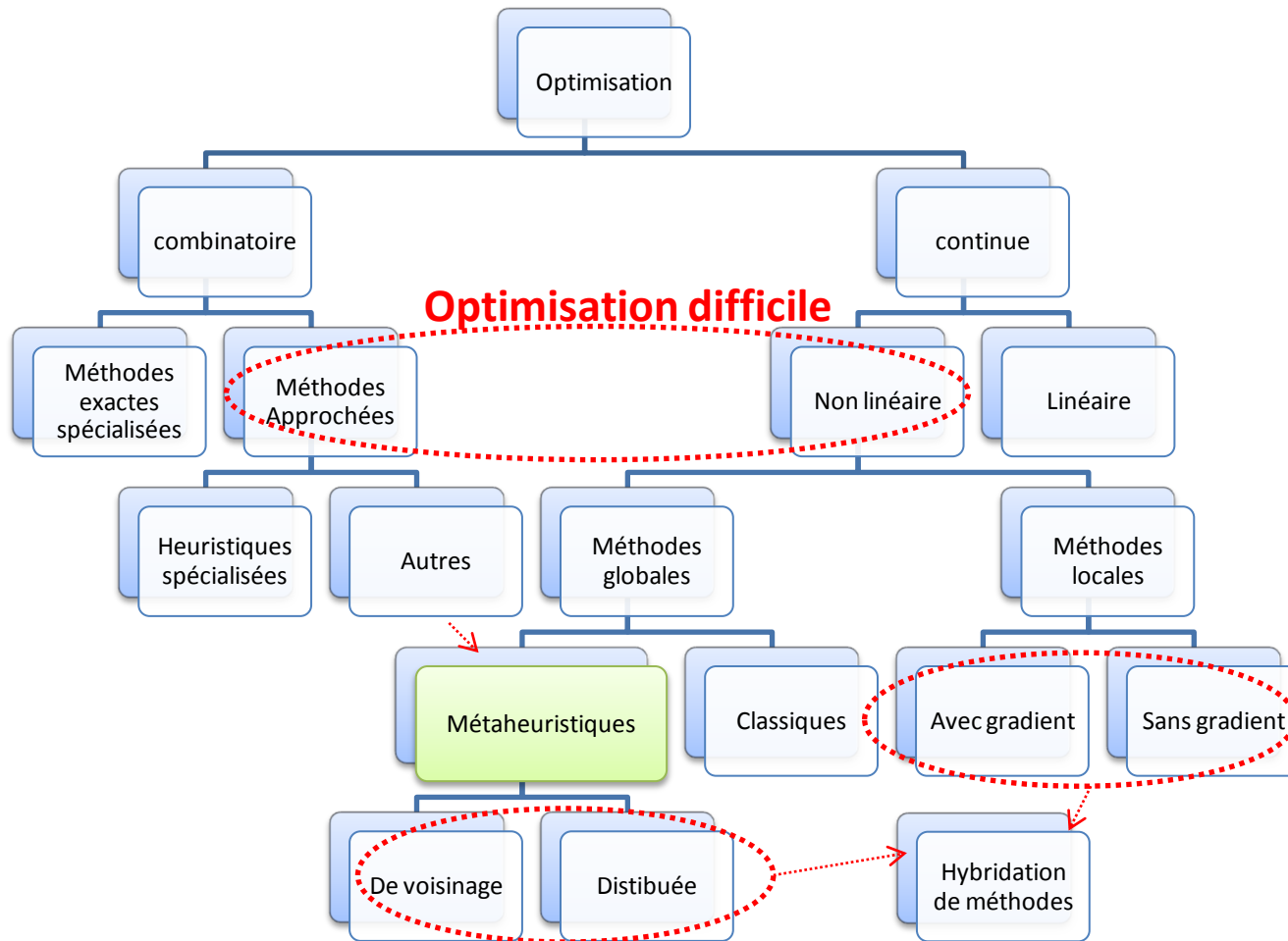
Exemple: Produire plus tout en préservant l'environnement

→ But: obtenir un ensemble de solutions de compromis



Optimisation

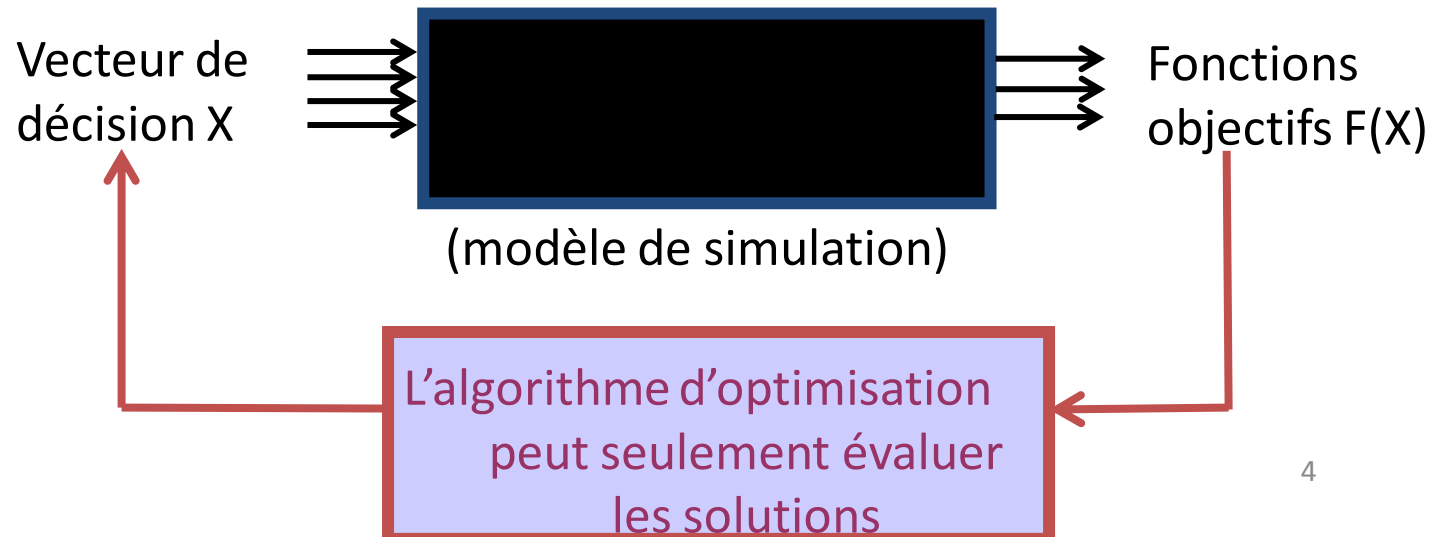
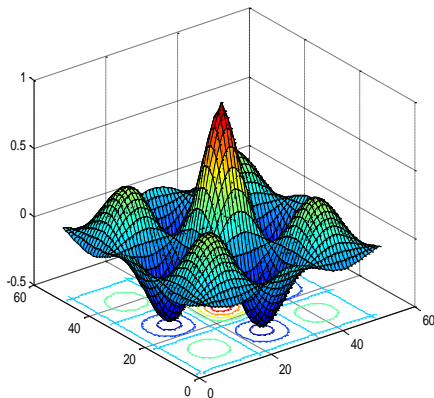
Classification: problèmes et méthodes d'optimisation



Définition

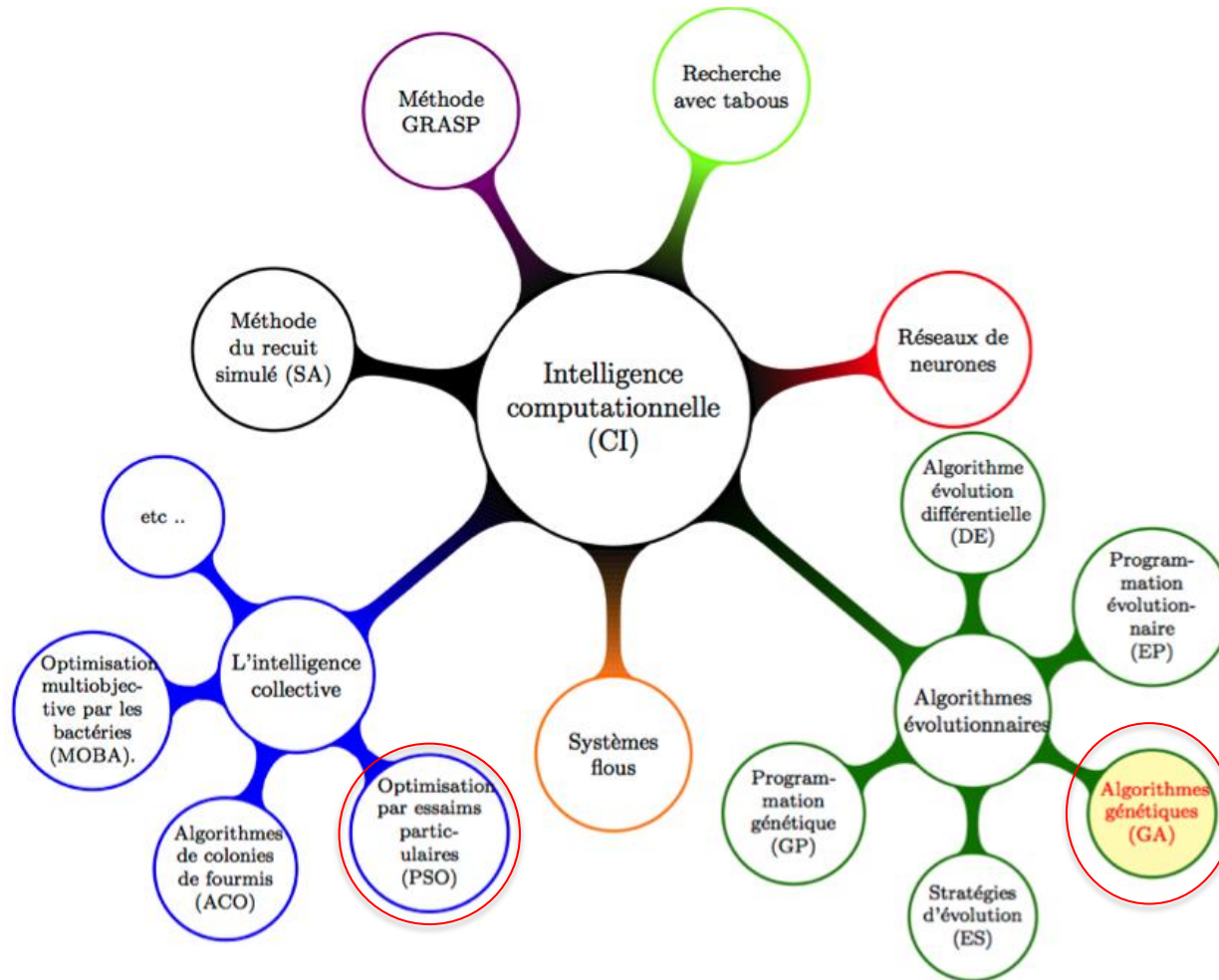
“An iterative generation process which guides a subordinate heuristic by combining intelligently different concepts for exploring and exploiting the search space using learning strategies to structure information in order to find efficiently near-optimal solutions” (Laporte and Osman 1995)

bien adaptées à certains types de problèmes d'optimisation multicritère: espace de recherche très large et pas bien connu, problème boîte noire, plusieurs minima locaux, etc.



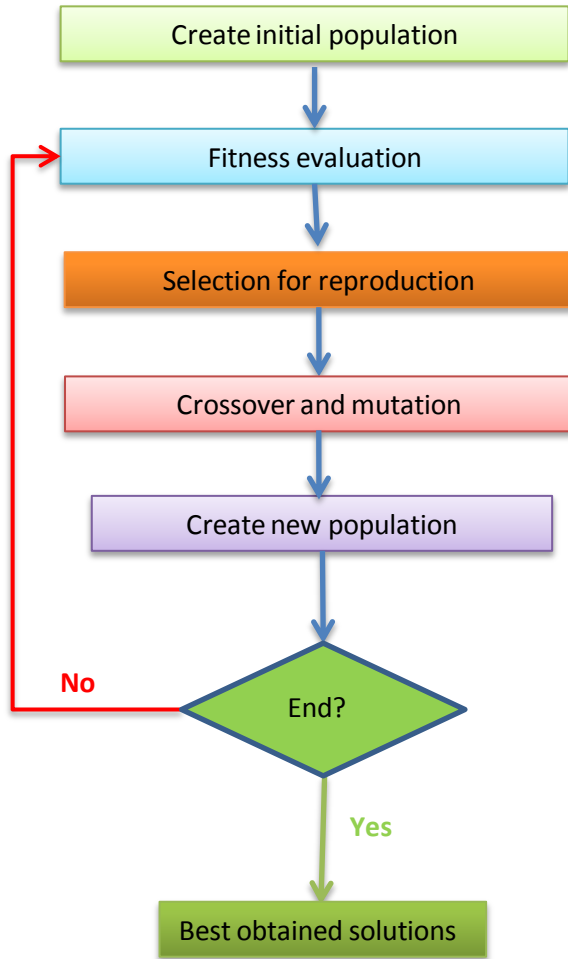
Métaheuristiques

.....partie de l'intelligence computationnelle



M-M. MEMMAH, F. Lescouret, X. Yao, C. Lavigne (2015). Metaheuristics for agricultural land use optimization. A review. *Agronomy for Sustainable development*. Volume 35, Issue 3, pp. 975-998.

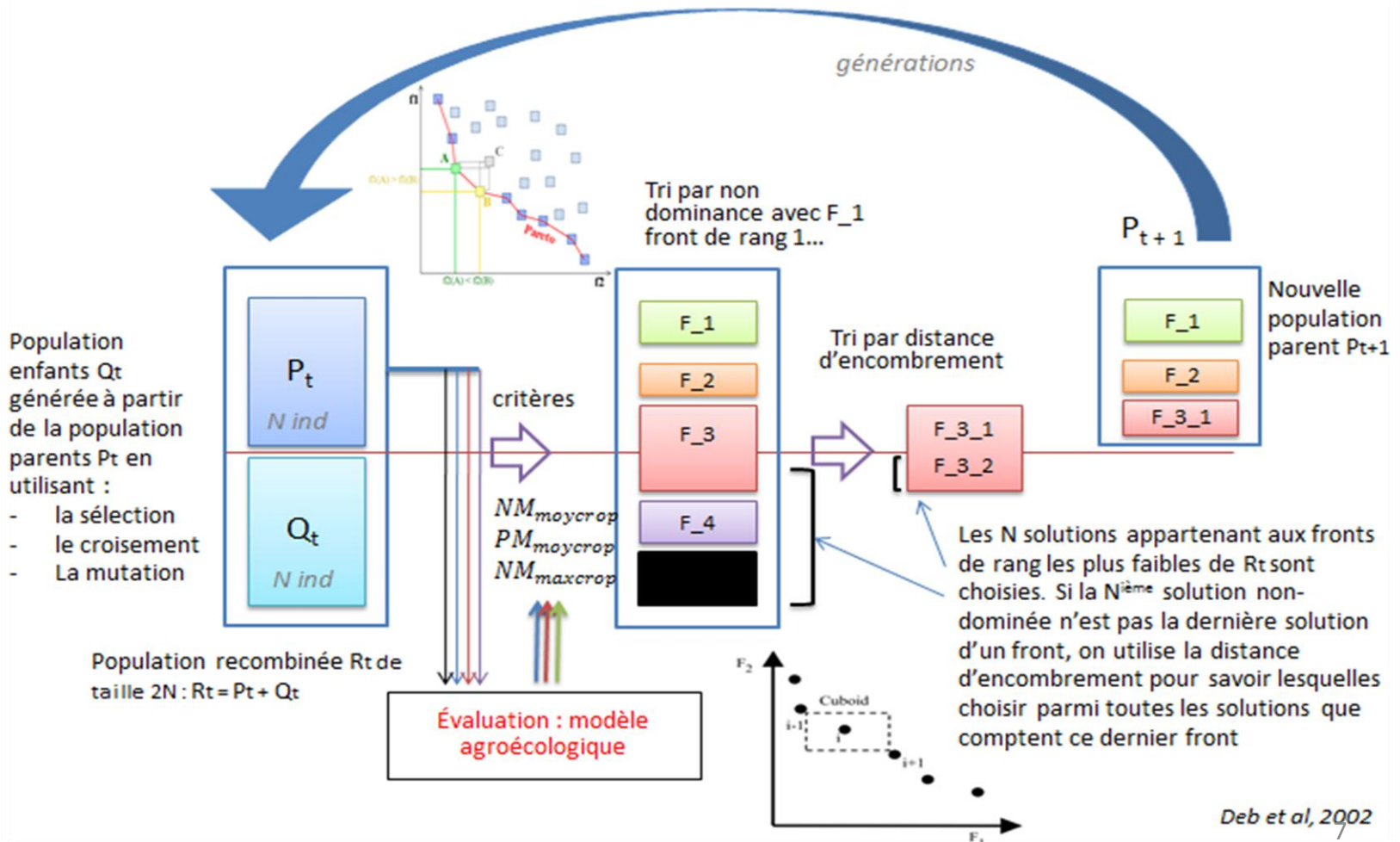
Les algorithmes évolutionnaires



- include genetic algorithms, evolution strategies, evolutionary programming, and genetic programming.
- Population-based method
- Basic idea: to simulate the evolution of a population of potential solutions using operators such as selection, crossover, and mutation in order to create better individuals.
- At each generation, the algorithm selects a group of solutions (parents) and then uses recombination to create new individuals (offspring) and applies mutation to maintain the diversity in a population and finally selects among the combined parents and offspring populations the solutions forming the next generation. The selection is based on individual (solution) fitness which evaluates how good the solutions are according to the criteria of the problem. The process is repeated until the satisfaction of a predefined stopping criterion, such as the maximum number of generations.

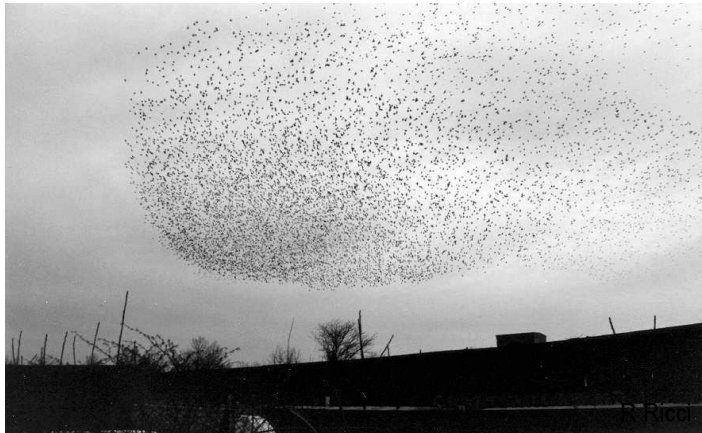
Métaheuristiques

L'algorithme NSGA-II pour le cas multiobjectif



Optimisation par Essaims Particulaires

- OEP est une technique d'optimisation robuste et stochastique inspirée par le mouvement d'animaux (*Kennedy and Eberhart, 95*)
- OEP utilise le concept de l'interaction sociale pour résoudre des problèmes d'optimisation
- Un essaim de particules volant à travers un espace de recherche de dimension N avec la ou les fonction(s) objectif(s) comme boussole pour trouver la solution "optimale"



Optimisation par Essaims Particulaires

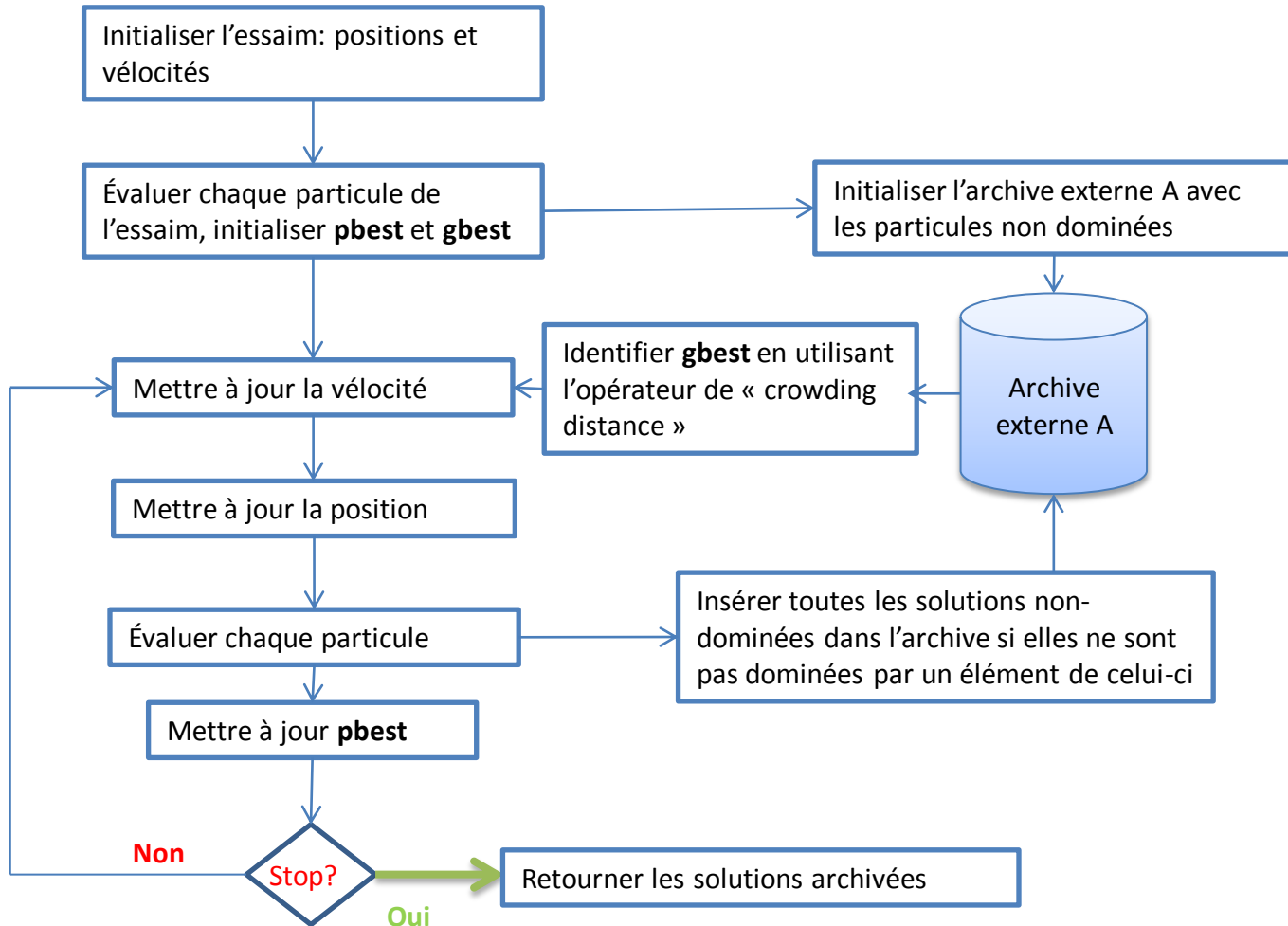
- Une particule ajuste son “vol” en fonction de sa position actuelle, de son expérience (mémoire), mais aussi celles des autres particules (essaim)
- Chaque particule garde en mémoire la meilleure position qu’elle avait visitée, **pbest**.
- La meilleure position déjà visitée par le voisinage est sauvegardée **gbest**.
- L’idée de base de l’OEP est de faire accélérer chaque particule vers ses meilleures positions **pbest** et **gbest**
- l’évolution des positions des particules peut être formulée mathématiquement comme suit :

$$\begin{aligned}\vec{x} &= \vec{x}_0 + \vec{v}_0 t + (1/2) \vec{a} t^2 && \text{continue} \\ \vec{x}_i(k+1) &= \vec{x}_i(k) + \vec{v}_i(k) + (1/2) \vec{a}_i(k) && \text{particule } i \\ \vec{x}_i(k+1) &= \vec{x}_i(k) + \underbrace{\omega \vec{v}_i(k)}_{\text{Inertie}} + \underbrace{\vec{r}_{1i} c_1 (\vec{p}_i(k) - \vec{x}_i(k))}_{\text{Effet mémoire}} + \underbrace{\vec{r}_{2i} c_2 (\vec{g}(k) - \vec{x}_i(k))}_{\text{Effet essaim}}\end{aligned}$$

MAJ de la vitesse

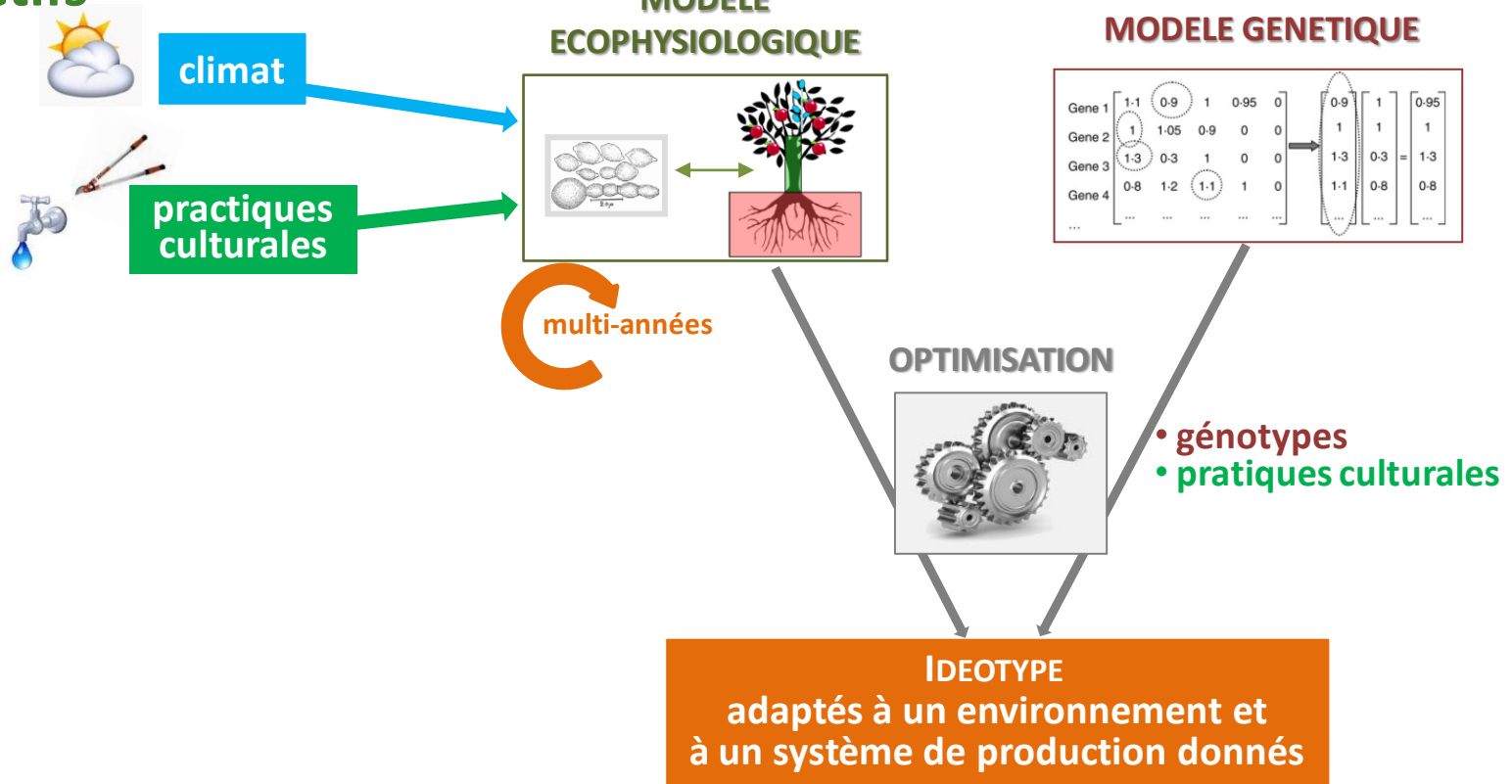
MAJ de la position

L'algorithme MOPSO-CD pour le cas multiobjectif



Conception d'idéotypes : pêcher/moniliose

Objectifs



Conception d'idéotypes: pêche/moniliose

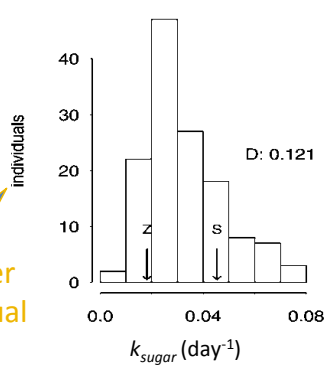
Croissance et élaboration de la qualité de pêche

interspecific progeny

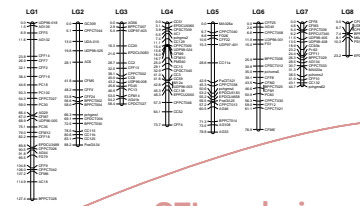


phenotyping
estimation of parameter
values for each individual

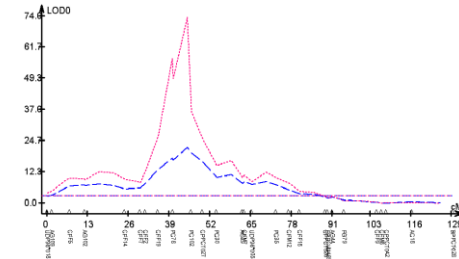
distribution of parameter
values



genetic map



QTL of parameters



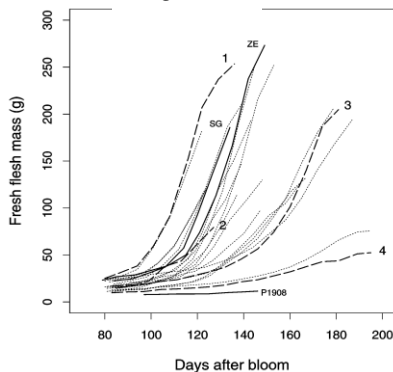
QTL analysis

$$X_i = \mu + \sum_{n=1}^N a_n \times G_{i,n} + \sum_{m=1}^M e_m \times G_{i,m}$$

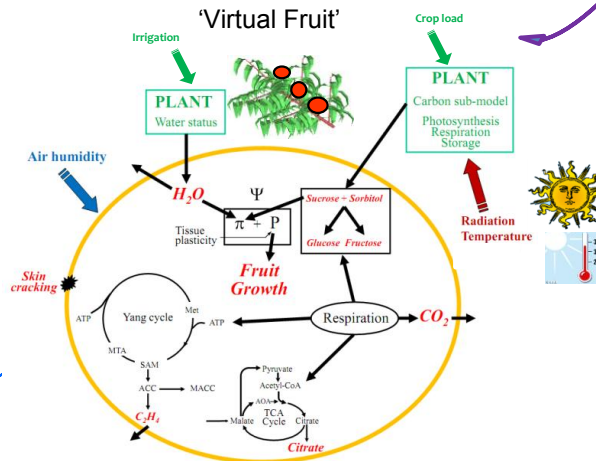
genetic
parameters

genetic model
parameter values
according to allelic
combinations

target trait



simulations



Paramètres de valeurs réelles

6 paramètres génétiques identifiés par analyse de sensibilité du modèle FV comme les plus influents sur les sorties d'intérêt:

3 critères

Masse fruit (g)	maximiser
Sweetness (%)	maximiser
Densité cracks (%)	minimiser

$$\left\{ \begin{array}{l} \min (-FM(X), -ST(X), DC(X))^T \\ X \\ s.t \\ X \in D \\ 50 \leq MF(X) \leq 300 \\ 0 \leq ST(X) \leq 20 \\ 0 \leq DC(X) \leq 0.2 \end{array} \right.$$

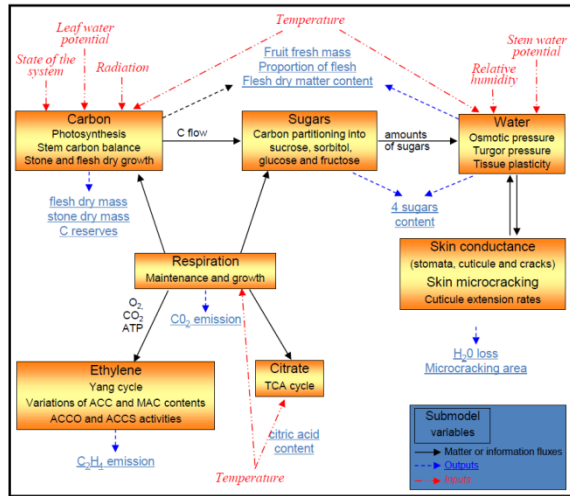
Conception d'idéotypes : pêcher/moniliose



Paramètres de valeurs réelles ...

Modèle de rameau fructifère

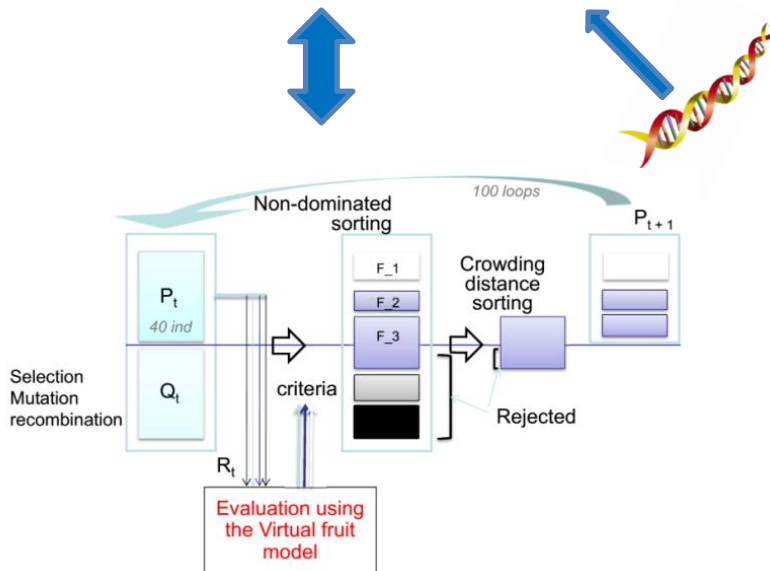
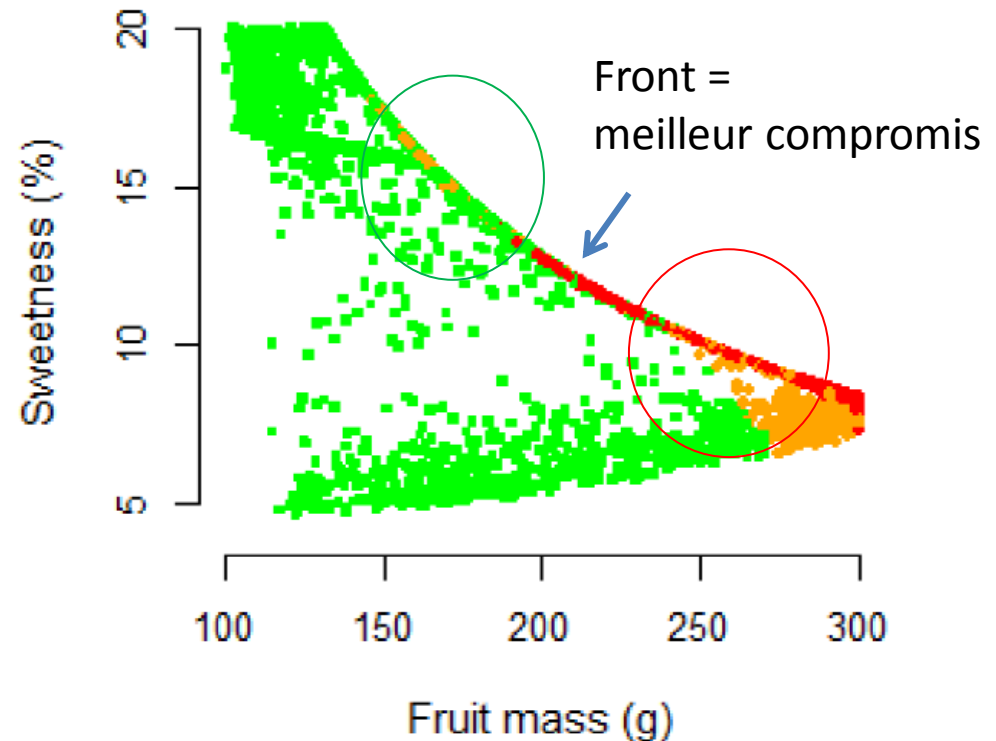
> 10⁶ idéotypes testés



Sensibilité à la moniliose

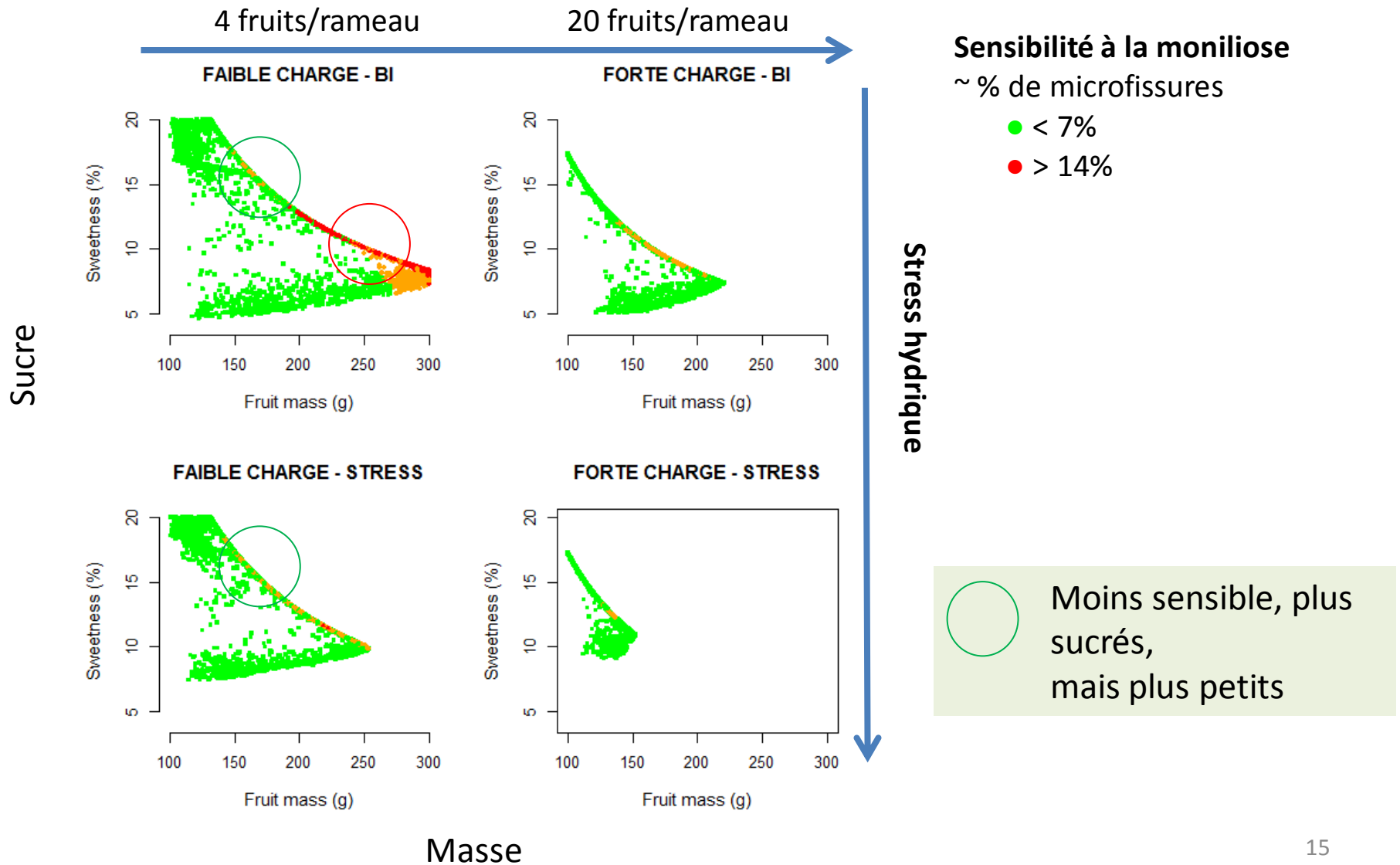
~ % de microfissures

- < 7%
- > 14%



Conception d'idéotypes : pêche/moniliose

.....effet de pratiques



Optimisation des combinaisons d'allèles pour des idéotypes "réalistes"

We considered that distant loci less than 12.5cM were inseparable. This led to the addition of 14 constraints and resulted in the definition of haplotypes including series of loci.

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{loc} (-DM(loc), SR(loc), -SU(loc))^T \\ \text{subject to } loc \in (0,1)^{31} \\ \forall i \in \{1,2, \dots, 14\}, \varepsilon - |loc(insloc(1,i)) - loc(insloc(2,i))| > 0 \end{array} \right.$$

where loc is the vector of 31 loci, ε is a very small real i.e. $1e^{-9}$ number and $insloc$ is the set of 14 inseparable loci pairs.

Conception d'idéotypes : pêcher/moniliose

Optimisation des combinaisons d'allèles pour des idéotypes "réalistes"

espace de 7 paramètres
espace de 31 loci / 2 allèles

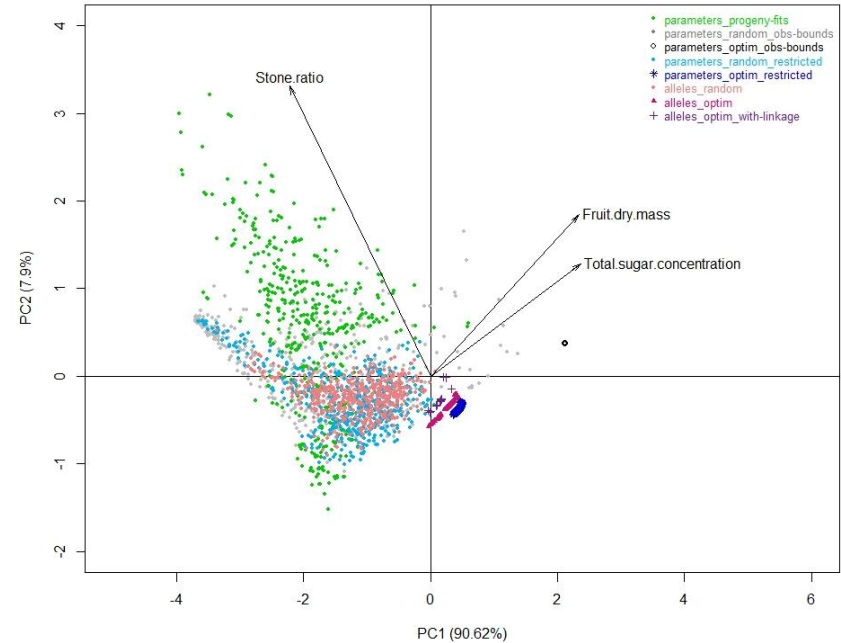
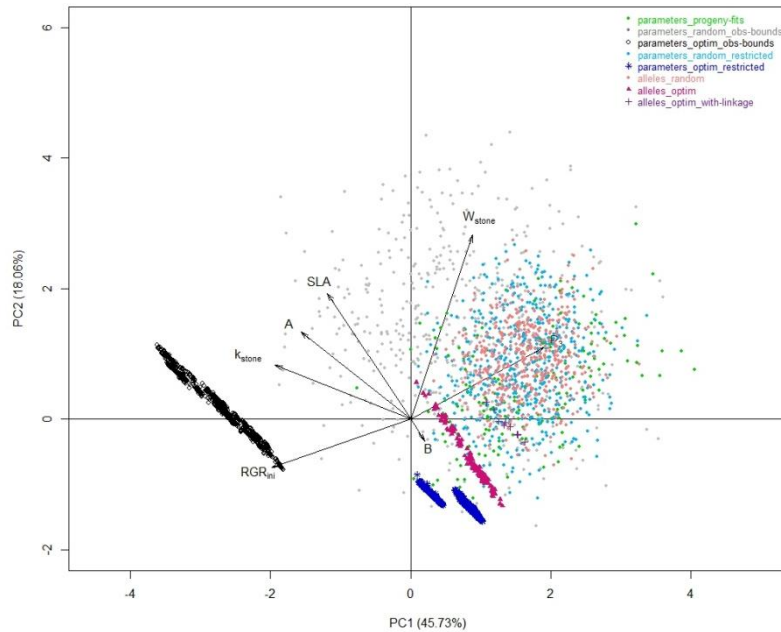


tirages aléatoires de combinaisons
optimisation de 3 critères

Fruit Virtuel



simulations



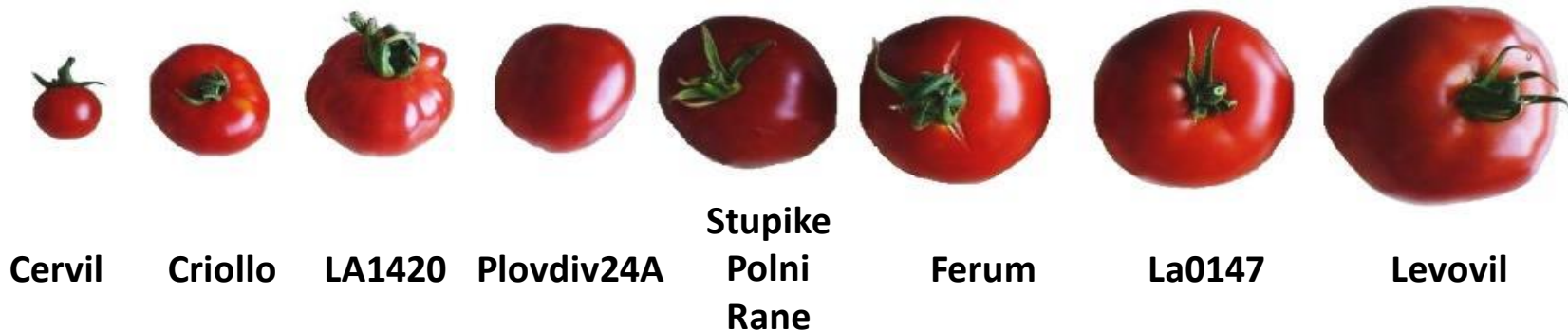
Le modèle écophysiological génère un paysage phénotypique marqué
La prise en compte de contraintes génétiques améliore le réalisme des idéotypes

Objectifs

- Highlight the **genetic variability**
- Identify the **main processes** of drought resistance
- Guideline for the **design of ideotypes**



Combine a **modelling** approach based on **experimental** data and **optimization**



Combining data and models

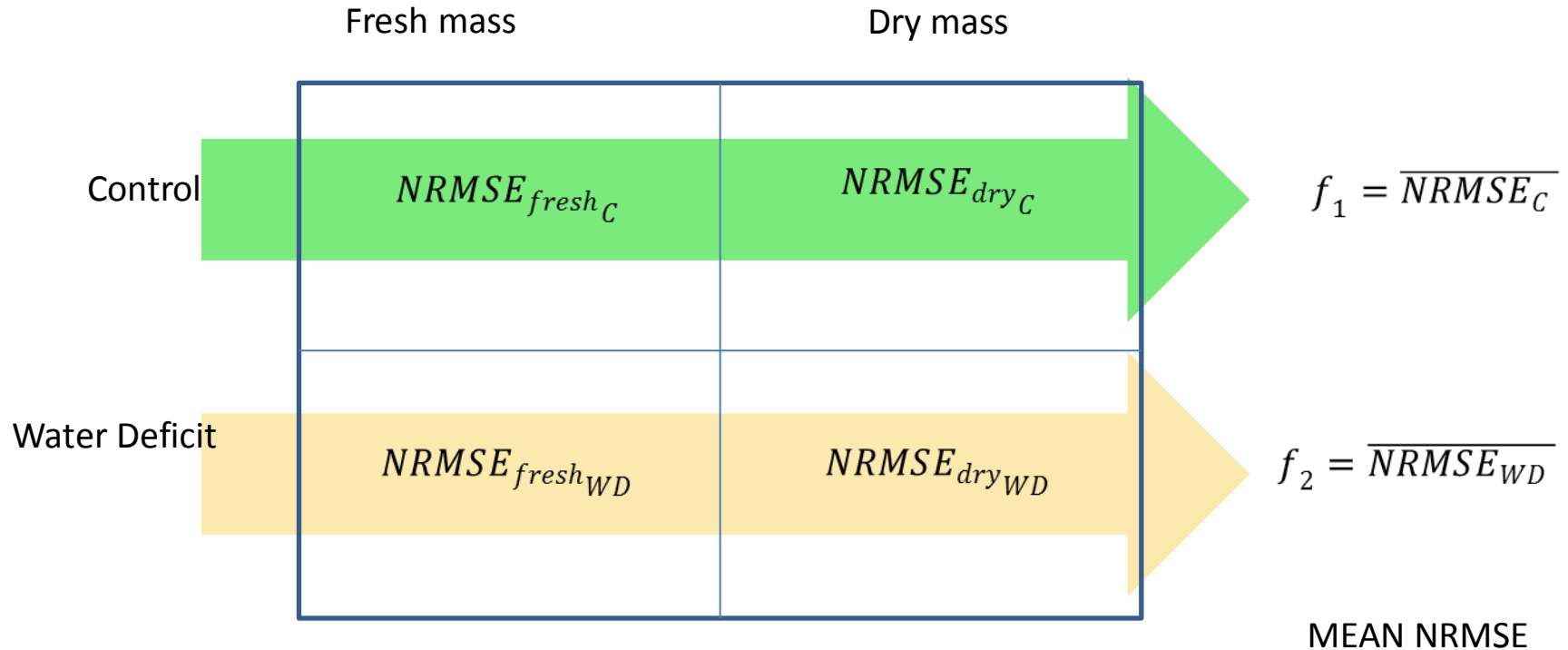
- **Vegetal material:** 117 recombination lines of a bi-parent breeding (parents: Cervil, Levovil)
- Two different **environmental conditions:**
 - CONTROLLED (C)
 - WATER DEFICIT (WD):
 - -75% of water supply
 - \approx 50% of the real ETP needs
 - Drainage 20% / 0%
- **MODELLING APPROACH:** Virtual Fruit Model
- Parameters **do not depend on environmental conditions**
- **8 parameters** for the calibration

Cell expansion
1 parameter

Sugar active
uptake
4 parameters

Water
conductivities
3 parameters

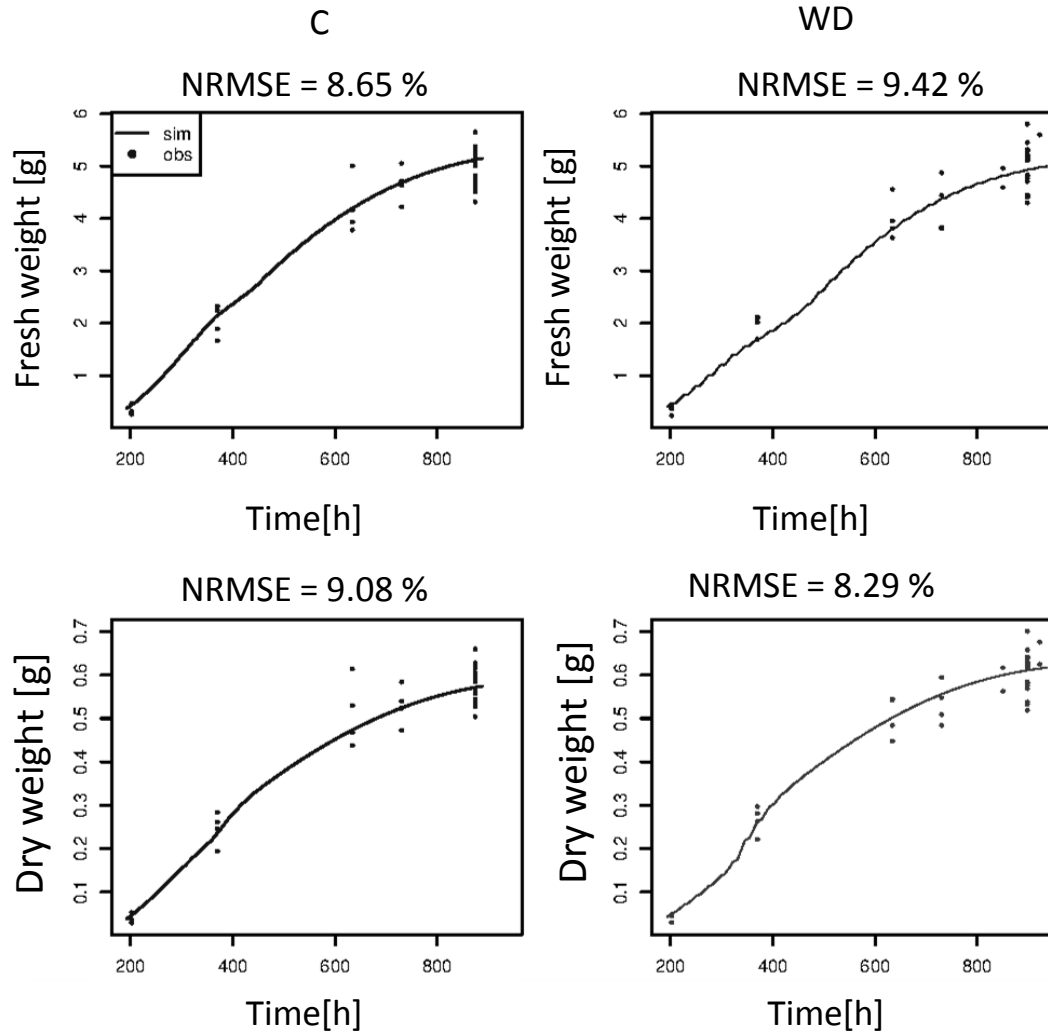
Model calibration



Conception d'idéotypes : tomate/stress

Model calibration

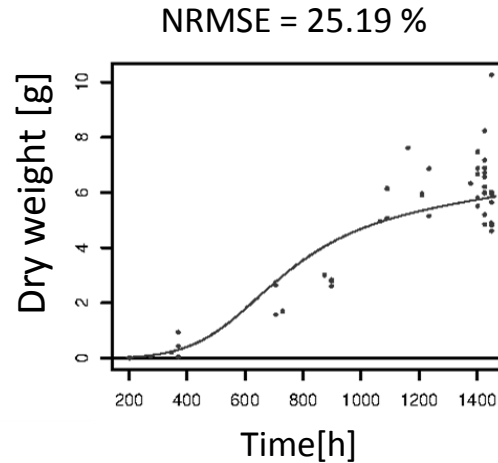
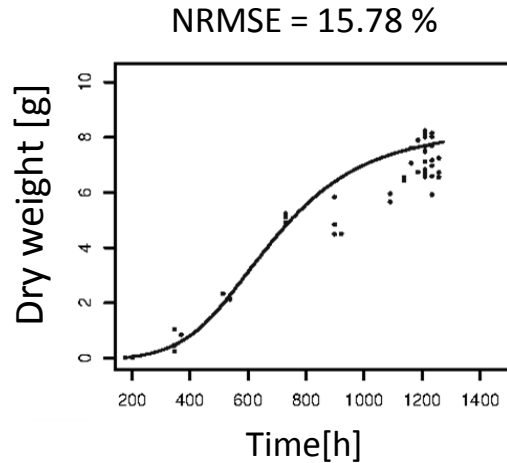
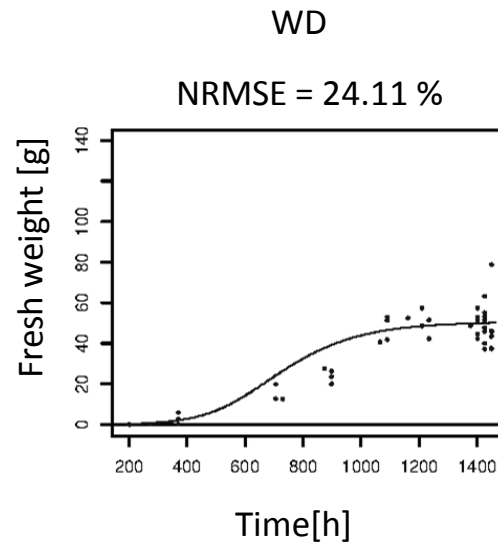
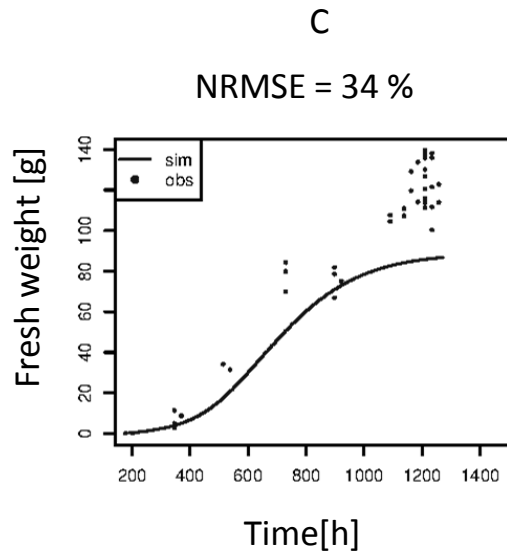
Parental line Cervil



Conception d'idéotypes : tomate/stress

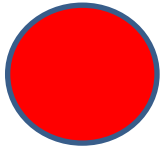
Model calibration

Parental line Levovil

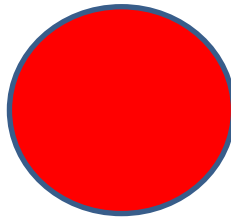


Design of idéotypes

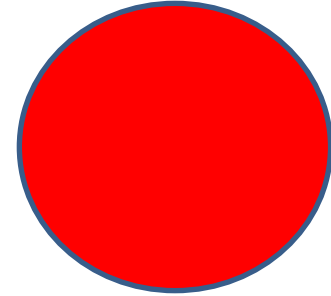
- **Three classes of fruit sizes**



5 – 15g



20 – 80g



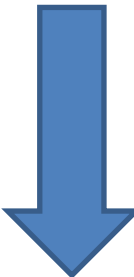
100 – 300g

- **Objectives**



DRY MATTER CONTENT IN
CONTROL CONDITION
→ "FLESHNESS"

WATER LOSS DUE TO WATER
DEFICIT

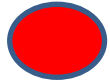


The *ideal* fruits are selected according to the criteria:

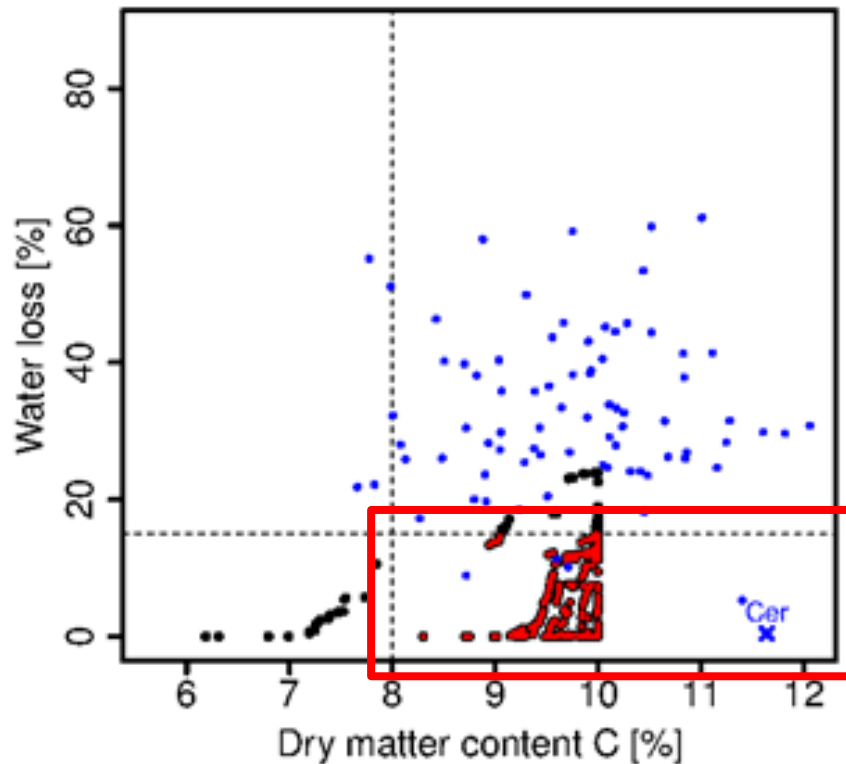
- **Dry matter content** in C condition **more than 8%**
- **Water loss** due to WD conditions **less than 15%**

Conception d'idéotypes : tomate/stress

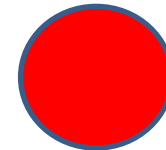
Design of idéotypes



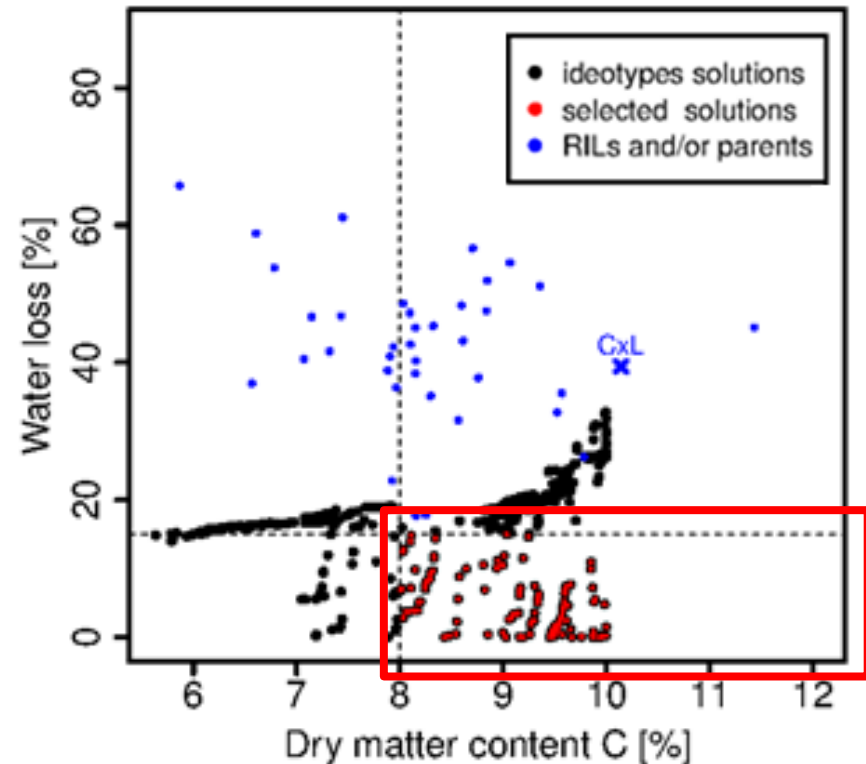
5 – 15g



Four QTL-Nils in the ideotype space:
Cervil, SSD84, SSD107, SSD121 and SSD154

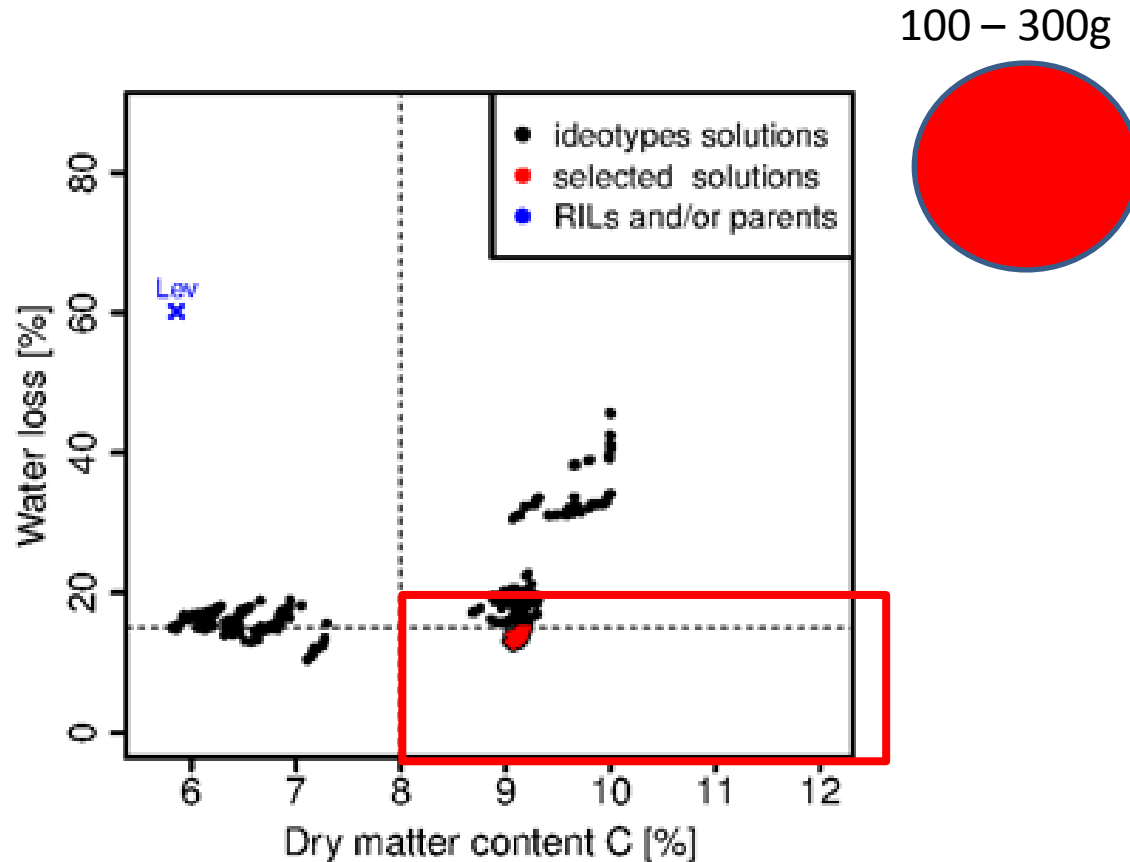


20 – 80g



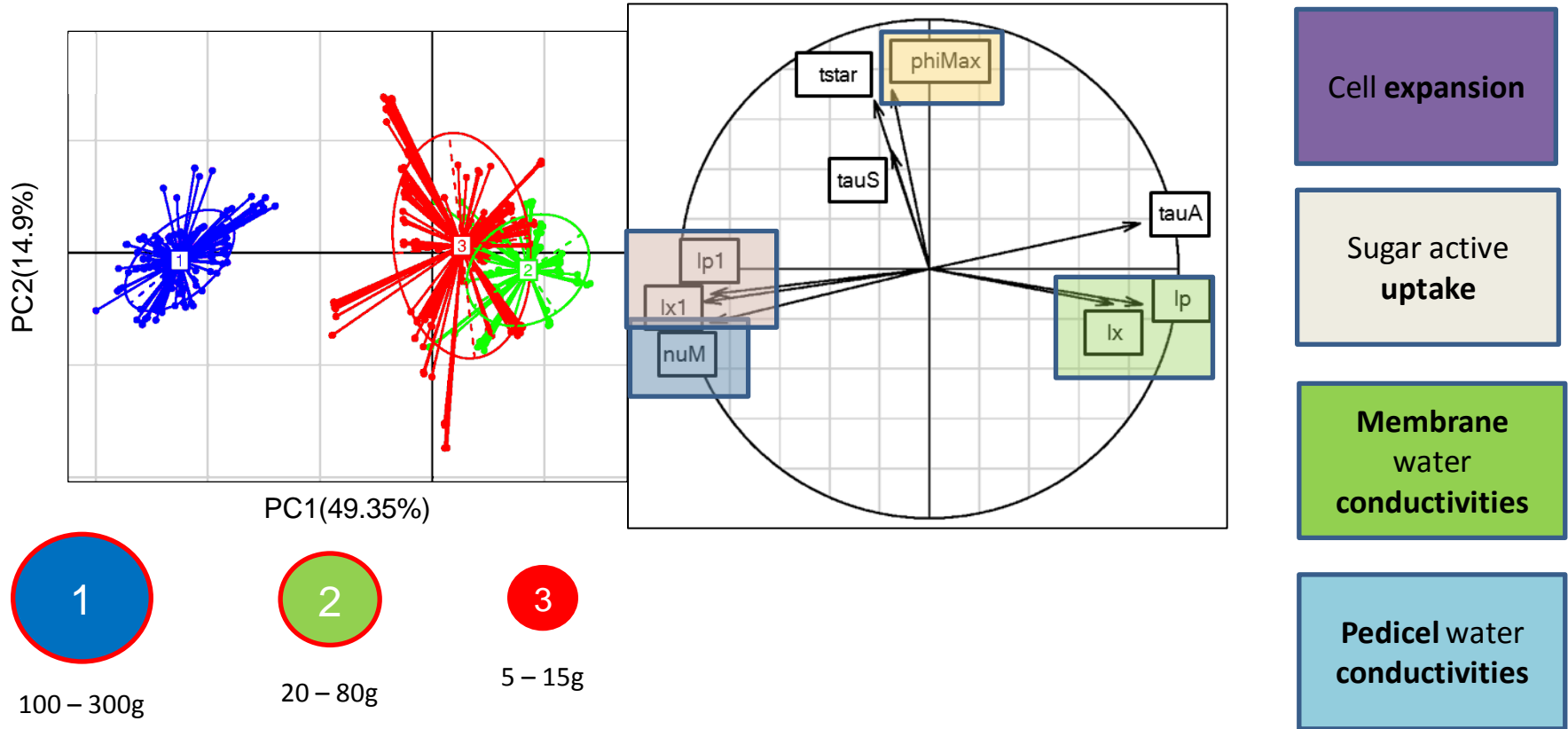
Medium fruit-size ideotypes (group 2) were associated with low pedicel conductance and sugar uptake rate, but high fruit composite membrane conductivity.

Design of idéotypes



High conductance in the pedicel which promotes water and sugar inflows in combination with high active uptake of sugars could be a successful strategy to produce large fruit-size ideotypes able to maintain, under WD conditions, a fresh weight above 100 g and dm content above 6 %

Conception d'idéotypes : tomate/stress



sugar active uptake and **pedicel conductivities** are a limiting factor for ideal **big size fruits**

Les limites de notre travail

- Plusieurs sources d'incertitudes (choix ce courbes de croissance, choix final)
- Problèmes liés aux corrélations entre les variables (paramètres du modèle)
- Explosion de nombre de variables de décision (paramètres génétiques) : génotype-dépendant vs constant mais inconnu!!!
- Contraintes d'égalité stochastiques (lien probabiliste entre les QTLs probabilité que deux QTLs soient inséparables)
- Manque de méthodes d'optimisation alternatives

Voilà, Merci à vous!