MODELISER L'IMPACT DES CHANGEMENTS DEMOGRAPHIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX SUR L'EVOLUTION DES ARBRES

Le module Luberon Version 2010

Mariane ALLEAUME-BENHARIRA
Sylvie ODDOU-MURATORIO
François LEFEVRE

Ecologie des forêts méditerranéennes – INRA AVIGNON - FRANCE

Le Contexte

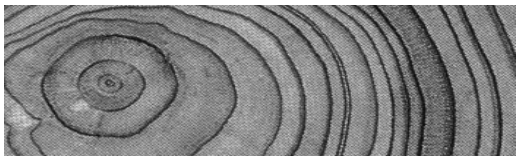
Etude des facteurs contrôlant la répartition des espèces

Approche classique sur l' Adaptation Locale

Génotype

Fitness > **Adaptation**

Traits d'histoire de vie



Types de Modèles

Modèles biophysiques

Flux verticaux
Budget énergie
Cycle C
Cycle H_2O
Flux latéraux

Feuille
Tronc
Racine
Sol

Plusieurs traits fonctionnels

Modèles de dynamique forestière

Reproduction
Dispersion
Germination
} Dispersion effective

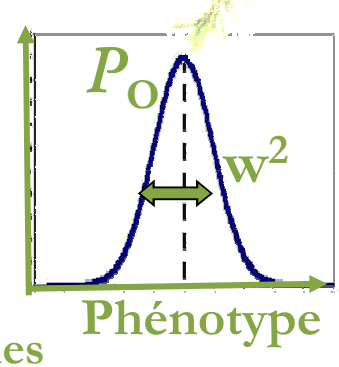
Croissance
Croissance plantules

Mortalité
Mortalité dues aux perturbations

Taux démographiques

Modèles de dynamique évolutive

Sélection
Mutation
Dérive
Flux de gènes



Relation phénotype-fitness

De la plante à la parcelle
De ½ heure à saison

De la parcelle au paysage
Années

De la région au continent
Générations

TYPES DE MODÈLES

Modèles de dynamique forestière

Reproduction
Dispersion
Germination
} Dispersion effective

Croissance — Croissance plantules

Mortalité — Mortalité dues aux perturbations

Taux démographiques

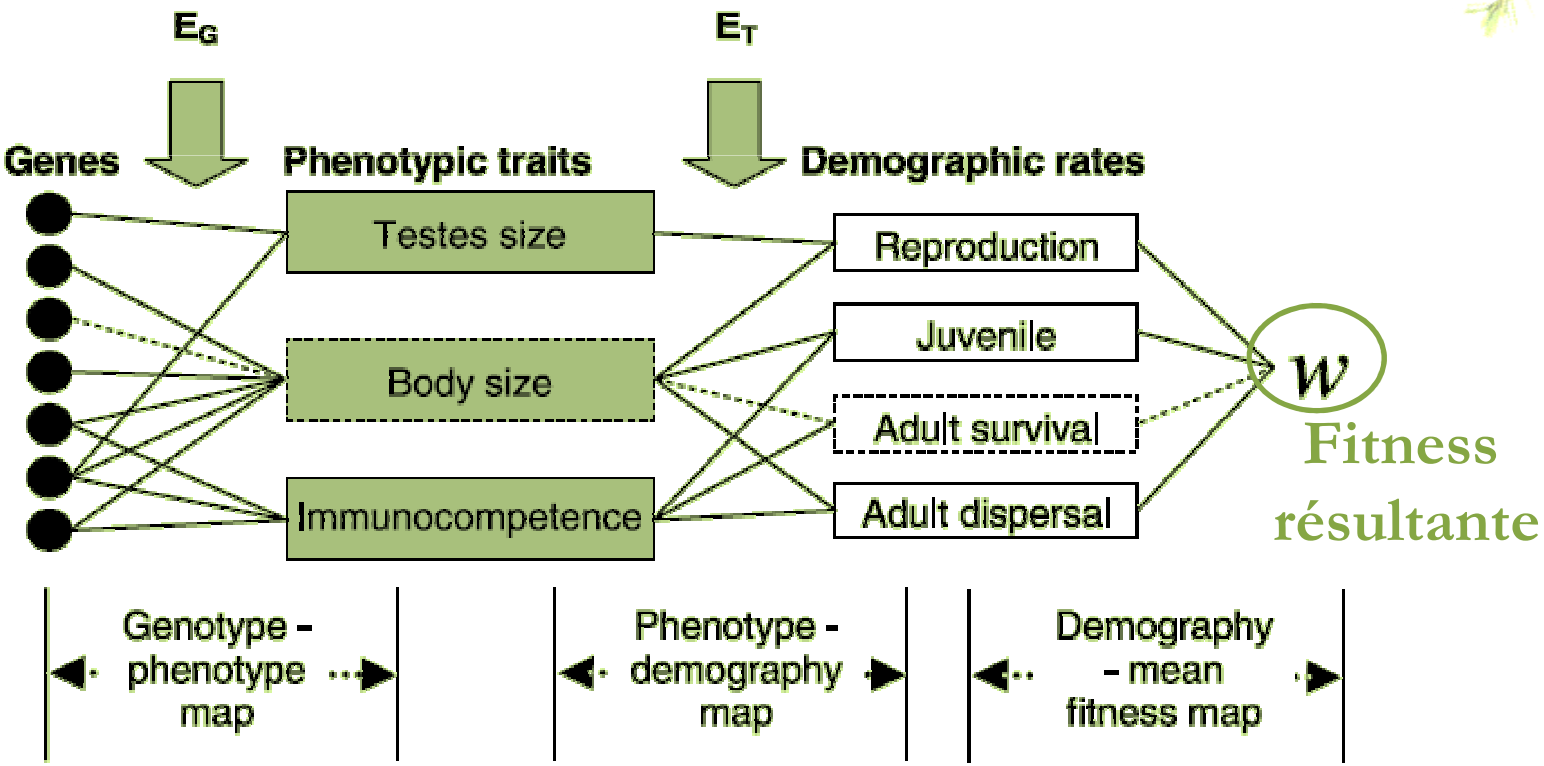
+ Génétique

> Nous voulons prendre en compte la capacité d'évolution génétique dans un modèle de dynamique forestière

LE CONTEXTE

Nous avons besoin d'étudier des populations en déséquilibre
Nouvelle approche dynamique : les modèles démo-génétiques

Partition des moteurs évolutifs



Coulson *et al.* 2006

QUEL MODÈLE DÉMO-GÉNÉTIQUE POUR LES ARBRES ?

LES QUESTIONS PRINCIPALES

Quelle sélection naturelle résulte des modèles de croissance et dynamique forestière ?
Et comment agit-elle ?

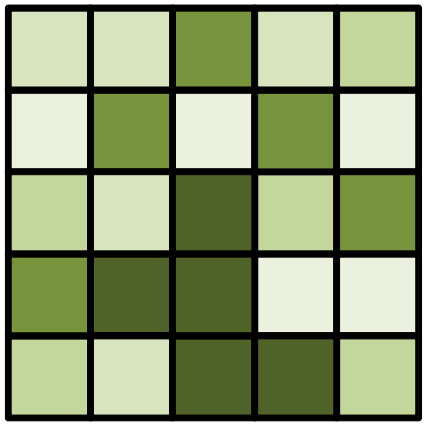
Quelle est l'évolution des moyennes et variances phénotypiques et génétiques
- au cours de quelques générations ?
- dans un environnement hétérogène ?

Quelles sont les interactions entre flux de gènes et hétérogénéité de l'environnement en fonction de leurs échelles respectives ?

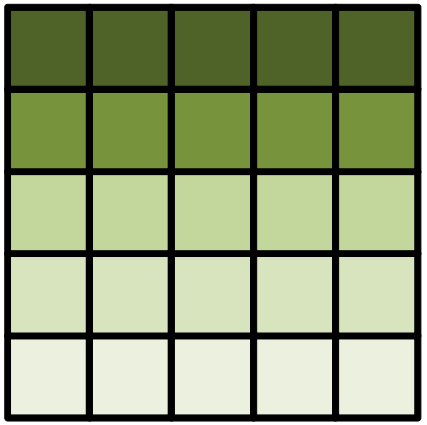
Le Modèle

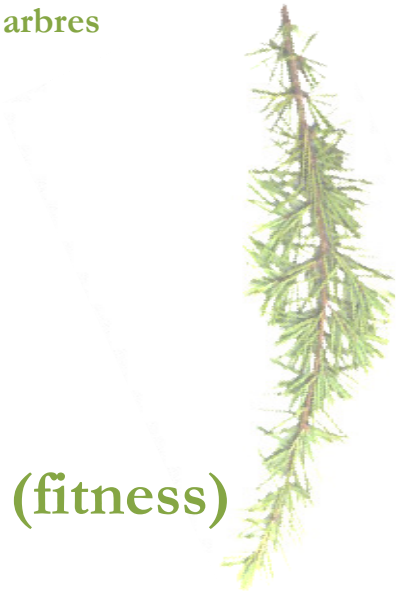
- **Plateforme de modélisation : CAPSIS**
- Modèle **Individu-centré** et spatialement explicite
- **Calibration empirique** des processus démographiques
- **Croissance** contrôlée par **plusieurs QTL**
- **L'espace** est une grille de 25 cellules carrées (250m) ; **5 niveaux de qualité du site**, 2 patrons de distribution.

Aléatoire



Gradient





LE MODÈLE

L'approche démo-génétique

Génotype >> Phénotype >> Démographie >> (fitness)

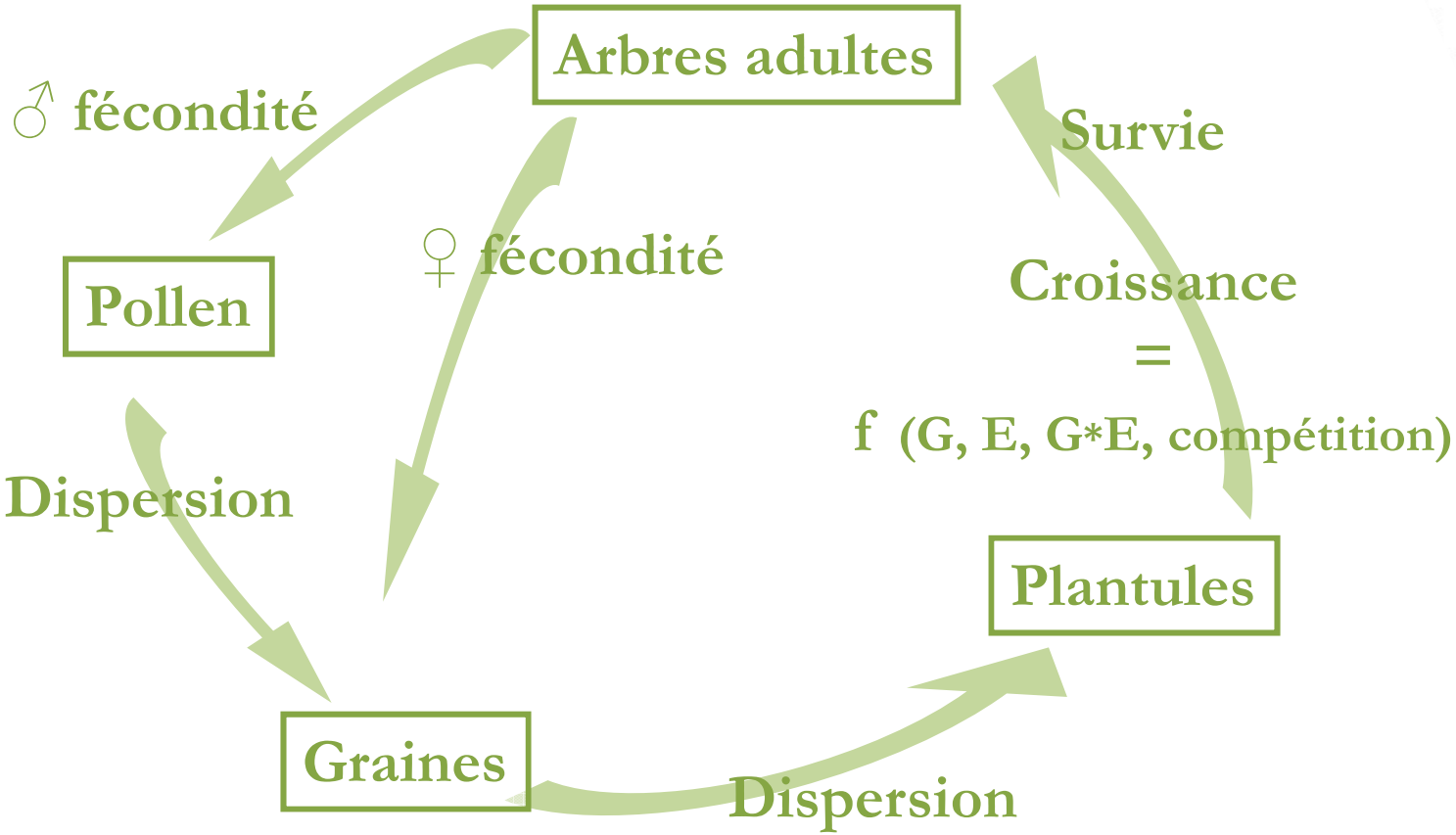
$\wedge$ *(dDBH)* $\wedge$ *(fertilité and survie)*

E_G E_T

- G
- $P = G + E_G + \boxed{G \times E_G}$ *Sélection Variable*
- $D = f\ (P, E_T, \boxed{P \times E_T})$ *Compétition, croissance dynamiques*
- $w = f\ (D\ (P\ (G, E_G), E_T))$

Le modèle

Cycle de vie



LES SIMULATIONS

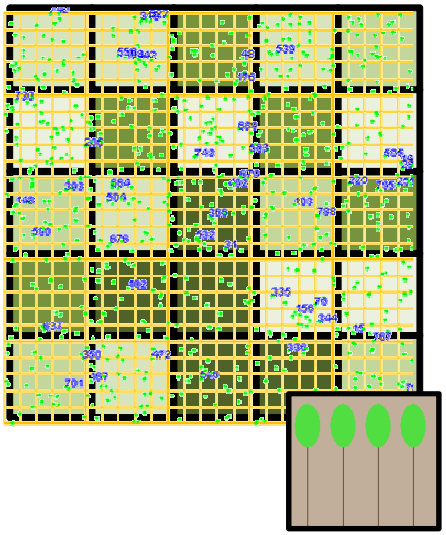
Etude de cas : la colonisation d'un milieu ouvert

0 — 25 — 35 — 60 — 70 — 95 — 105 — 130

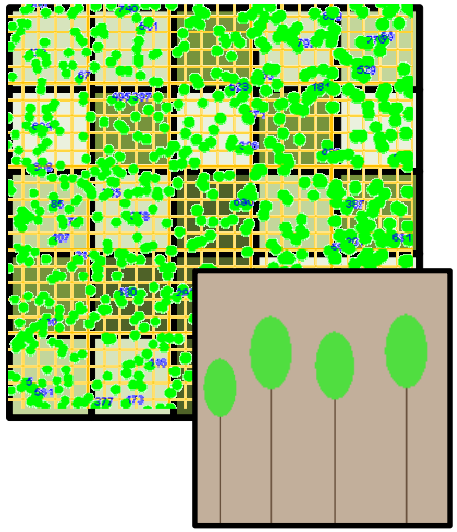
ANNEES

- 0 : Fondation avec **G0** 800 plantules
- 25 : G0 deviennent reproductifs > **G1**
- 35 : Coupe des G0 et Croissance des G1
- 60 : G1 deviennent reproductifs > **G2**
- 70 : Coupe des G1 et Croissance des G2
- 95 : G2 deviennent reproductifs > **G3**
- 105 : Coupe des G2 et Croissance des G3
- 130 : Fin des simulations

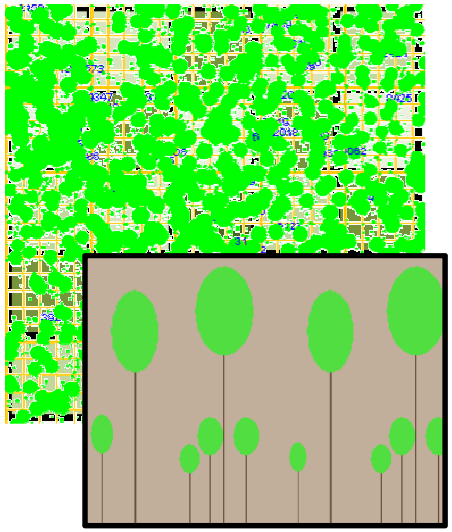
Recrutement



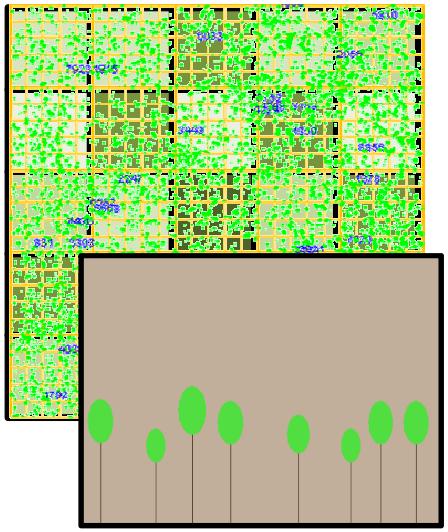
Croissance



Reproduction



Coupe



ENTRÉES/ SORTIES

Paramètres initiaux

Type de locus : *sélectionné et neutre*
Nombre de locus : *10 S and 10 N*
Effet des locus :
additifs et distribué normalement
Nombre d'allèles : *2 S and 10 N*
Fréquence des allèles : *0.5 S and 0.1 N*
Héritabilité : *0.8*

Nombre de pionnier : *800*
Distance de dispersion des graines :
25, 50, 100 m.
Distance de dispersion du pollen :
25, 100, panmixie
Nombre de générations : *G0, G1, G2, G3*

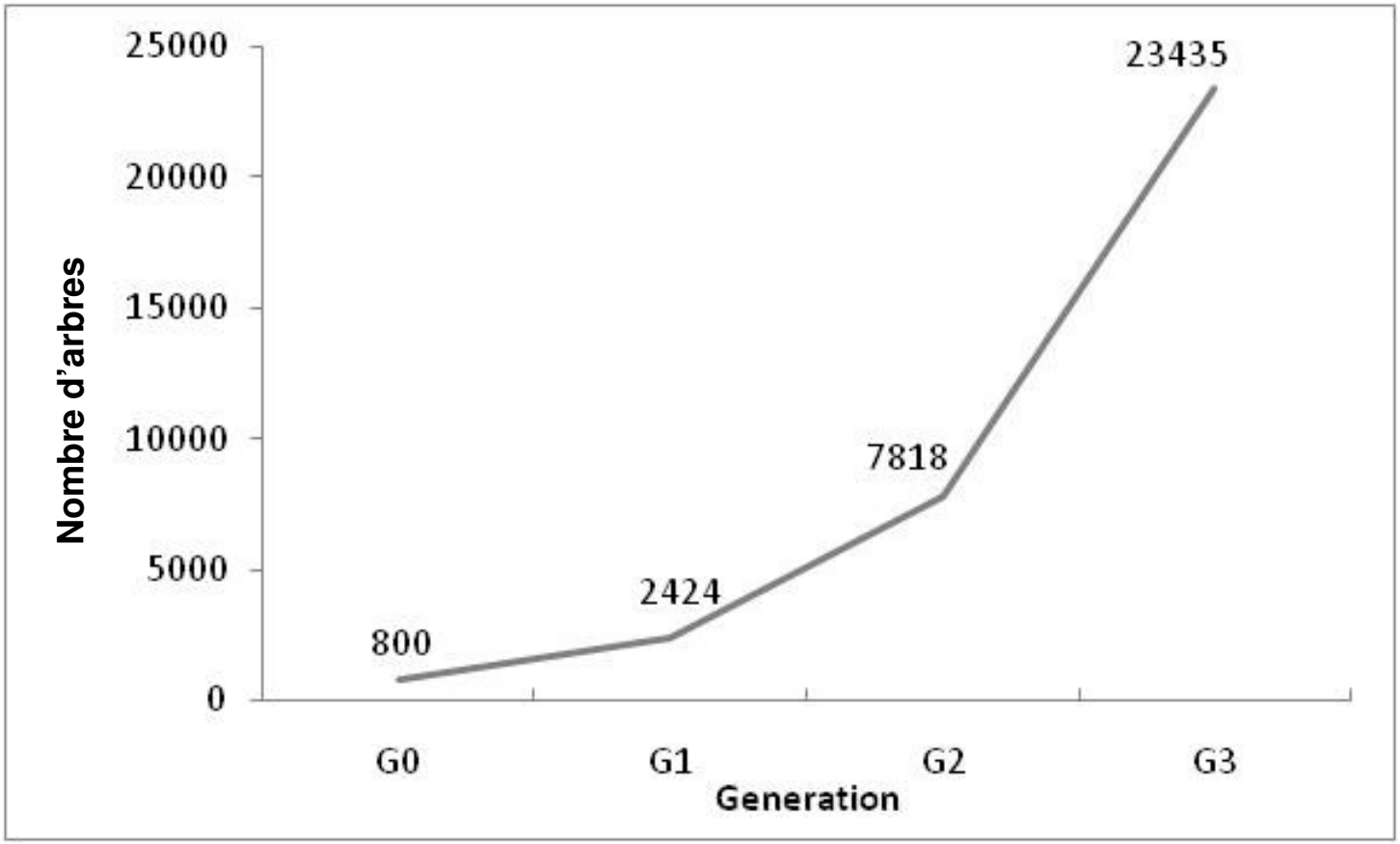
Patron d'hétérogénéité environnementale : *aléatoire ou gradient*
Variation de la qualité d'environnement:
double entre les niveaux 1 et 5

Suivis et calculs

Phénotype moyen par niveau de qualité
Variance phéno. par niveau de qualité
Valeur génotypique moyenne par niveau de qualité
Variance géno. par niveau de qualité
Distance de dispersion réalisée des graines
Distance de dispersion réalisée du pollen
Consanguinité
Hétérozygotie neutre et sélectionnée
Richesse allélique neutre et sélectionnée
Héritabilité
SGS neutre et sélectionnée :
apparentement moyen par classe de distance
pente des corrélogrammes

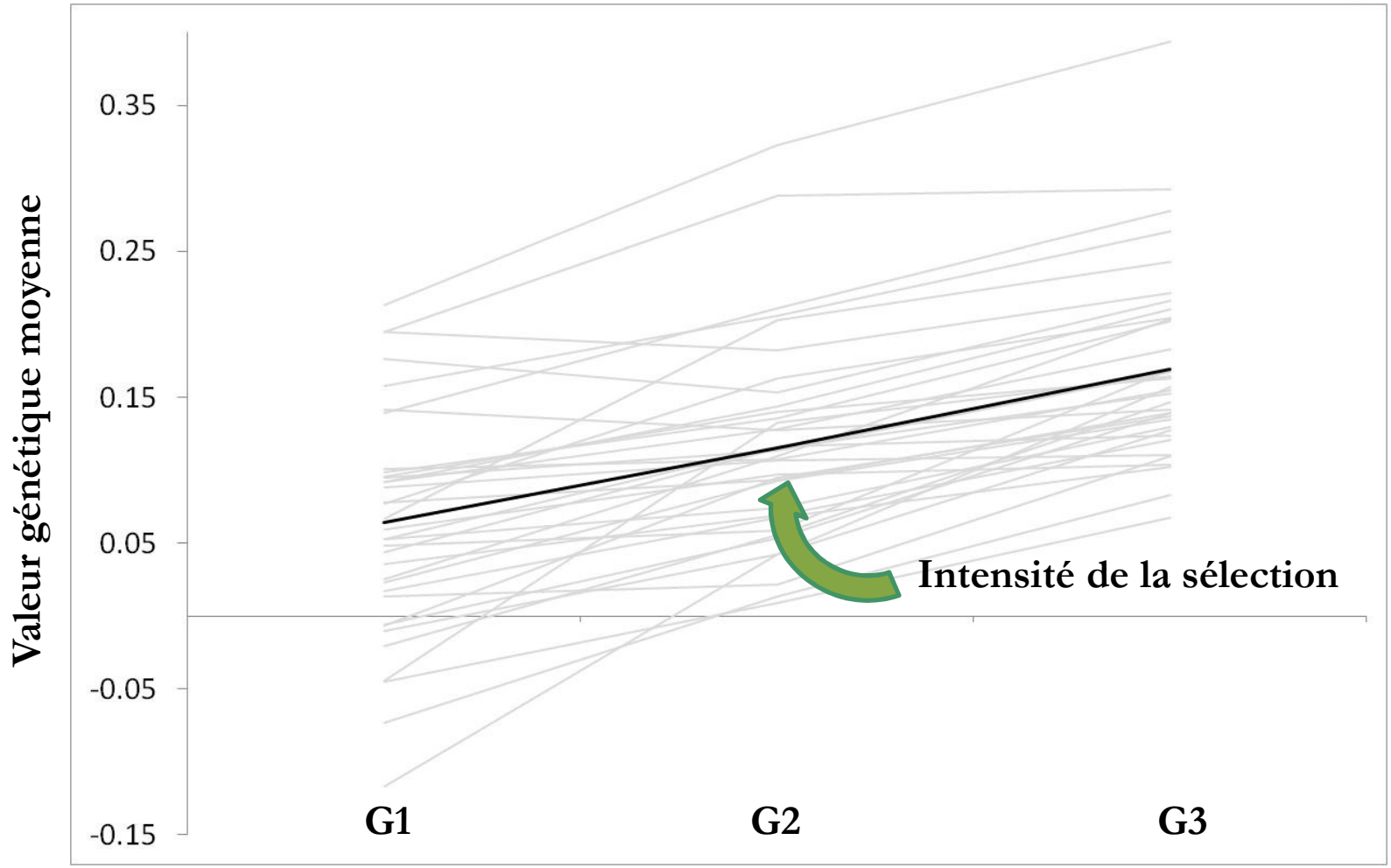
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Evolution de la démographie



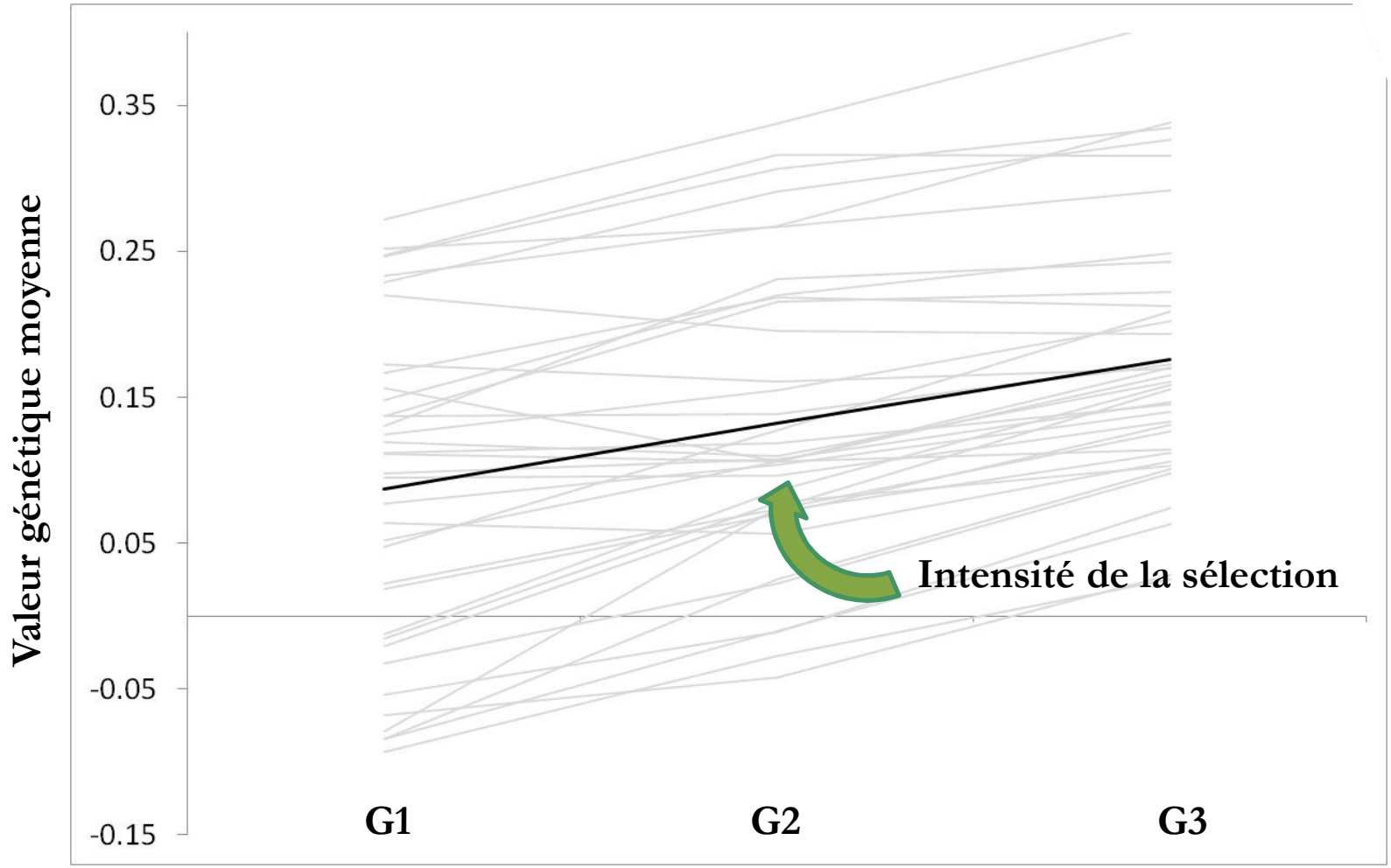
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Evolution génétique dans l'environnement de basse qualité



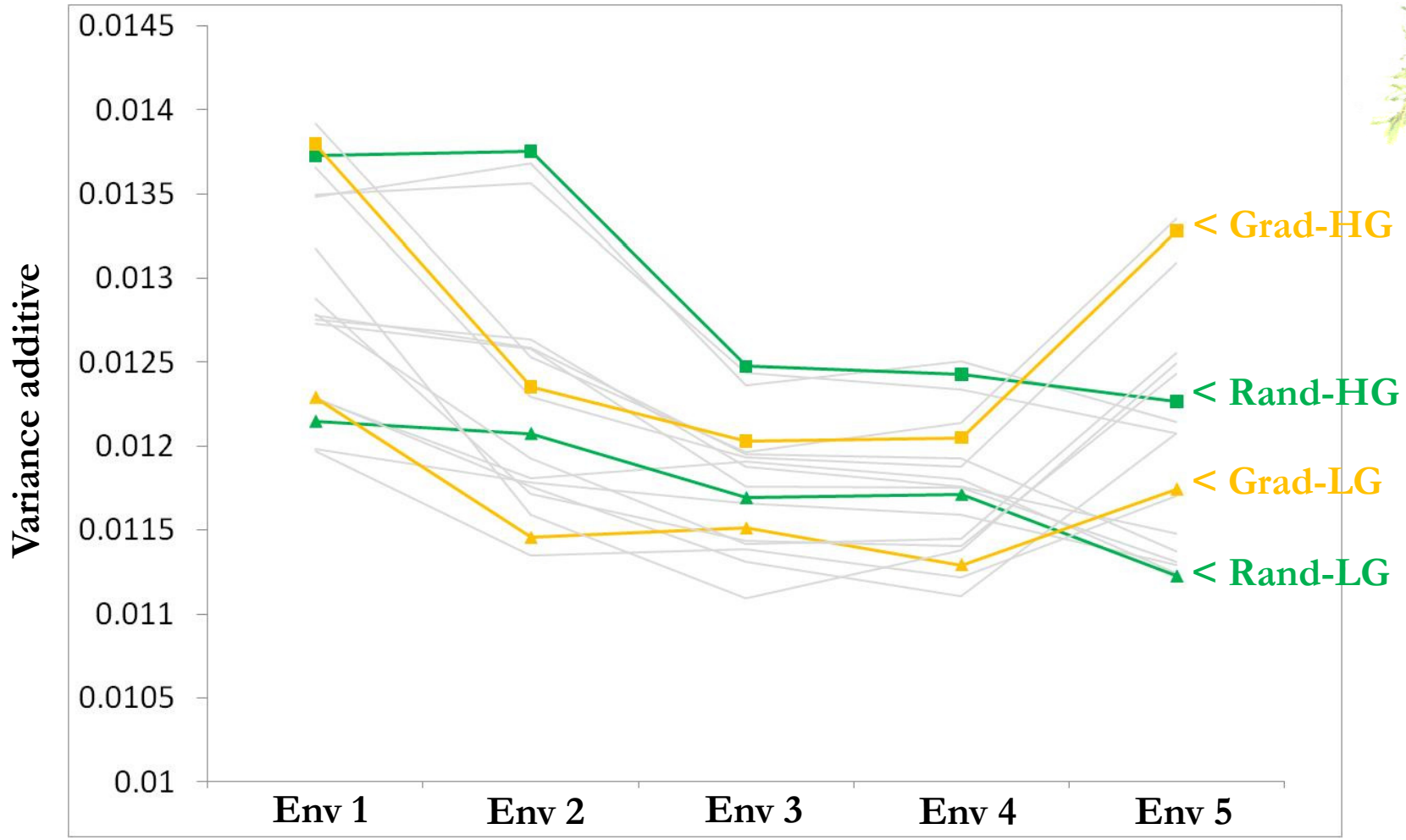
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Evolution génétique dans l'environnement de haute qualité



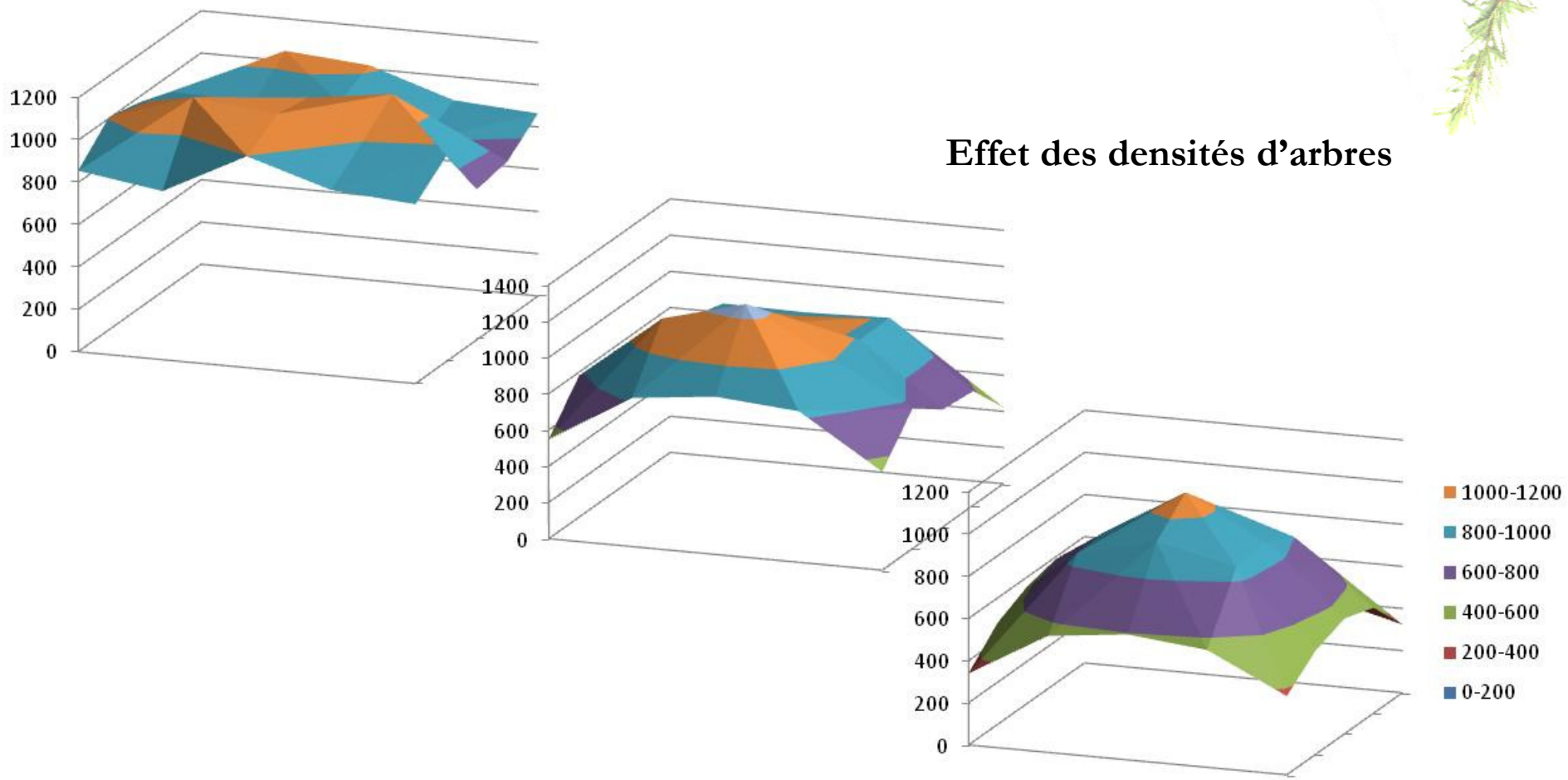
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Distribution des variances additives dans l'espace G3



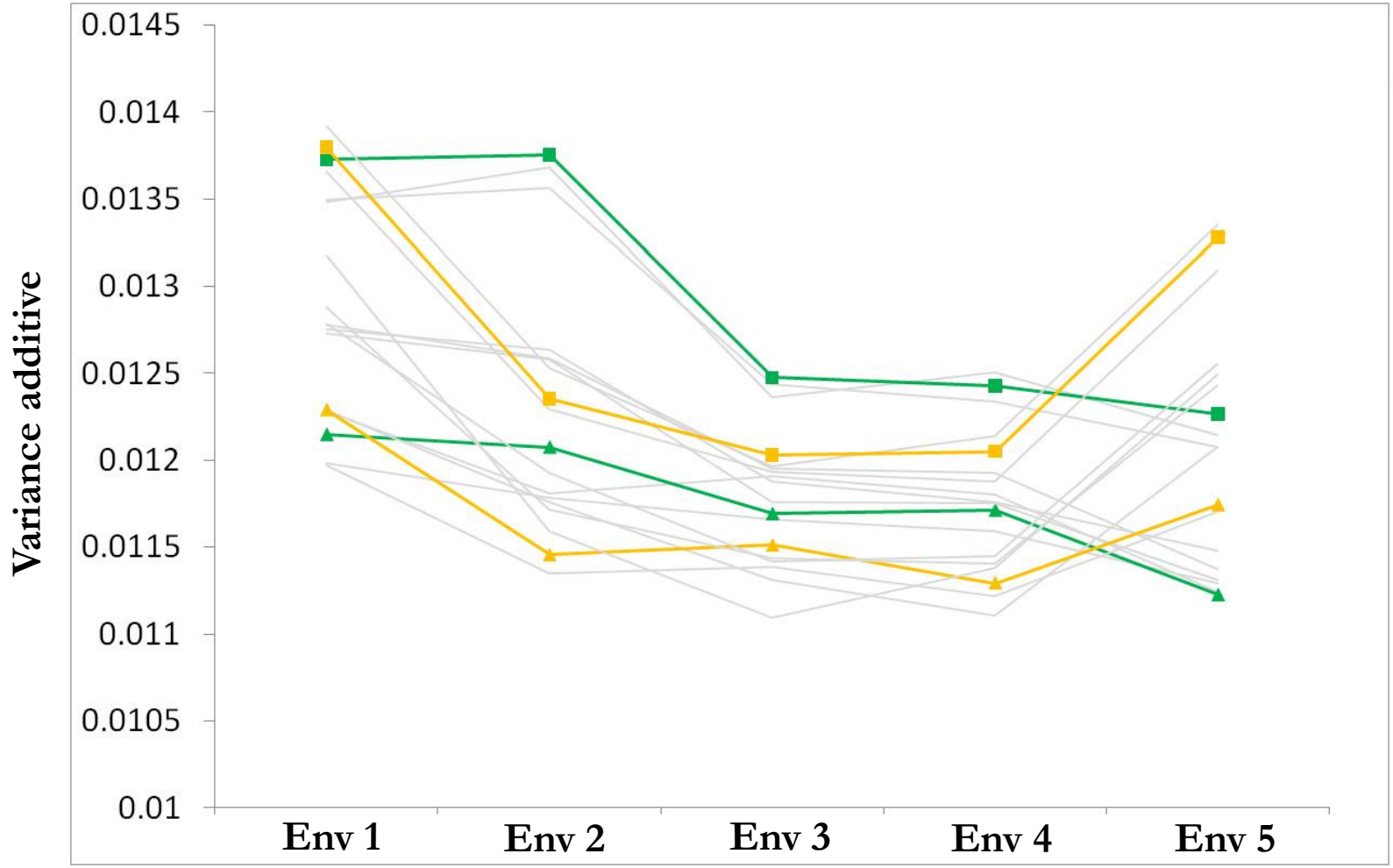
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Distribution des variances additives dans l'espace G3



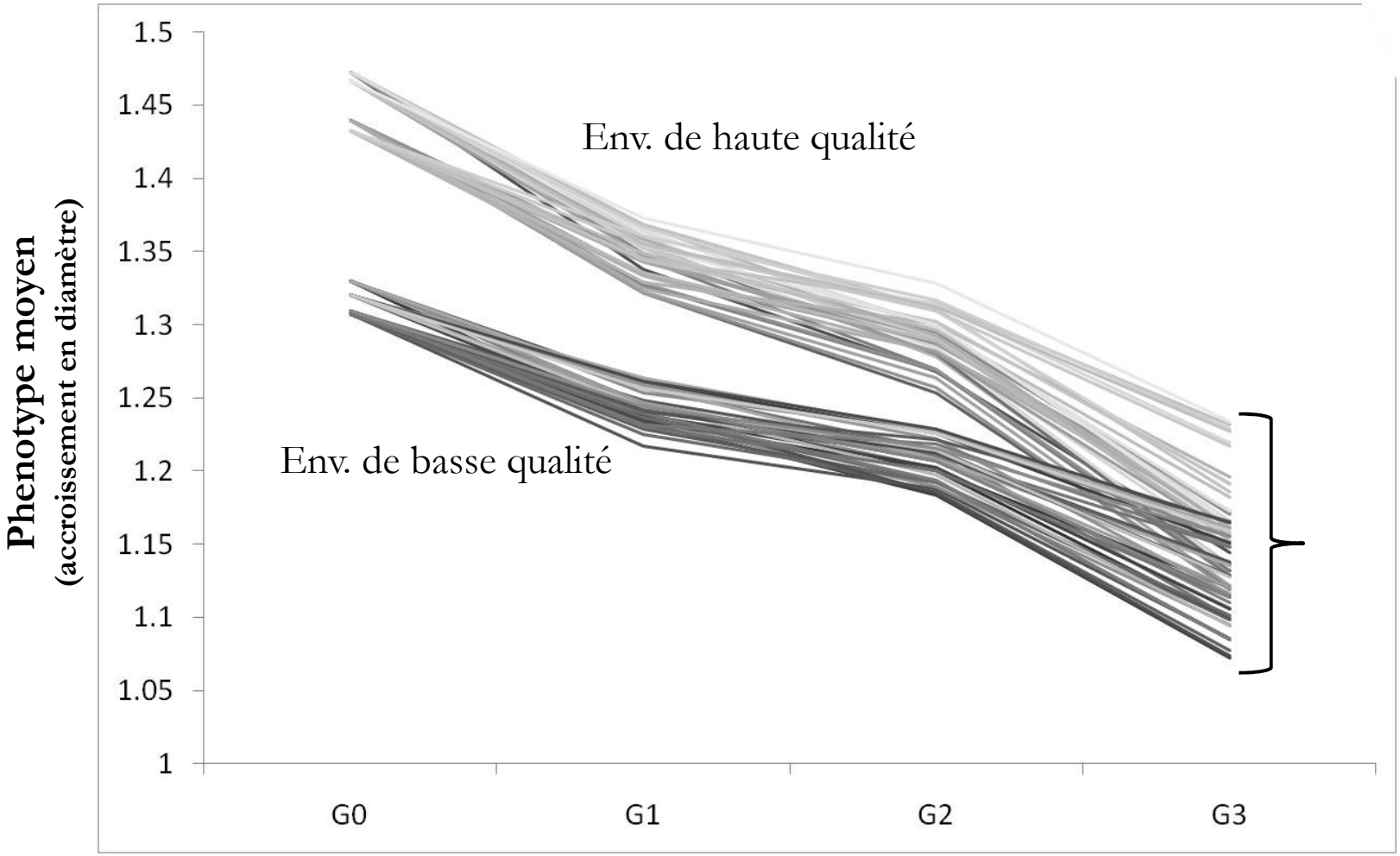
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Distribution des variances additives dans l'espace G3



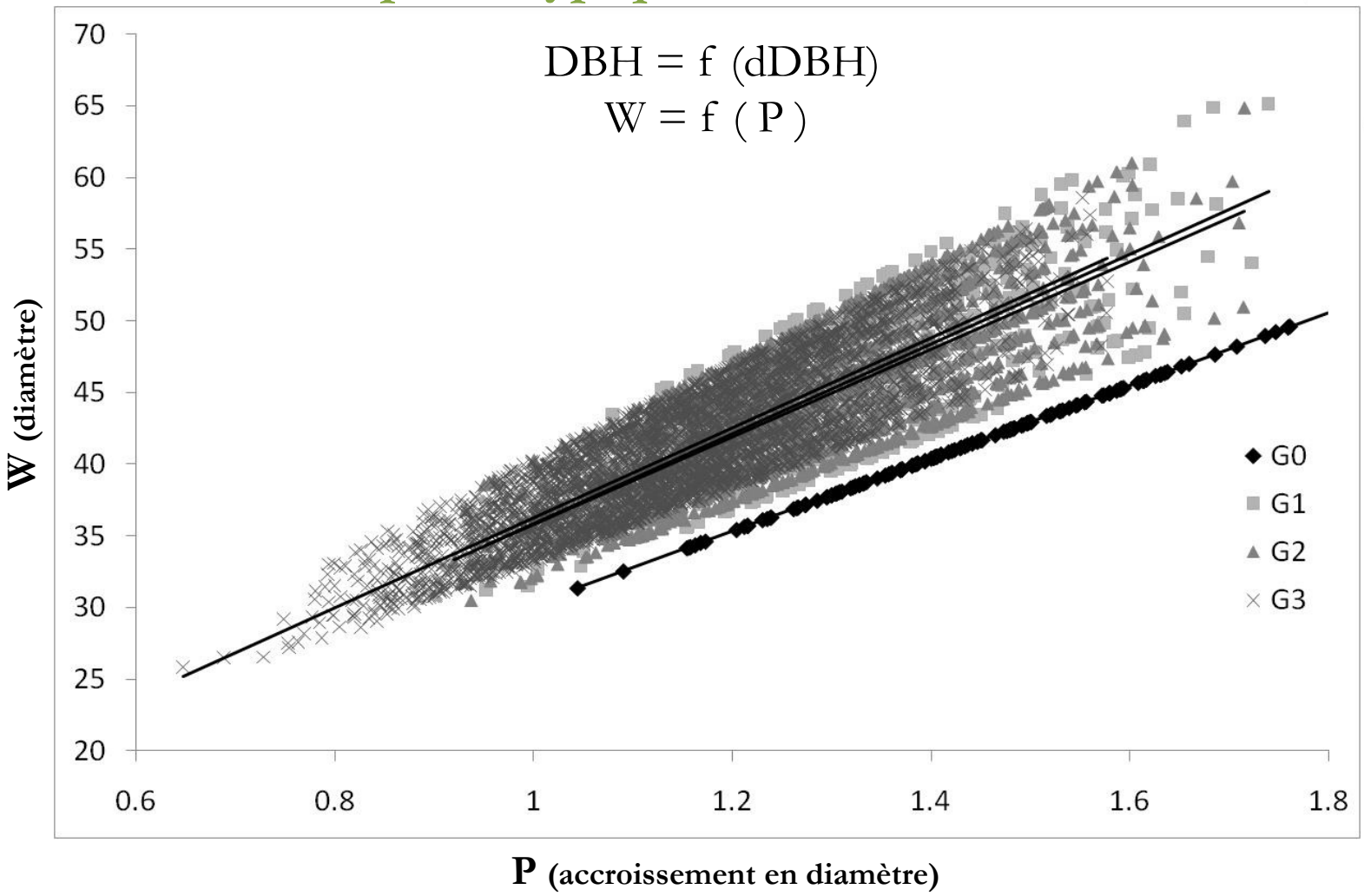
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Evolution phénotypique



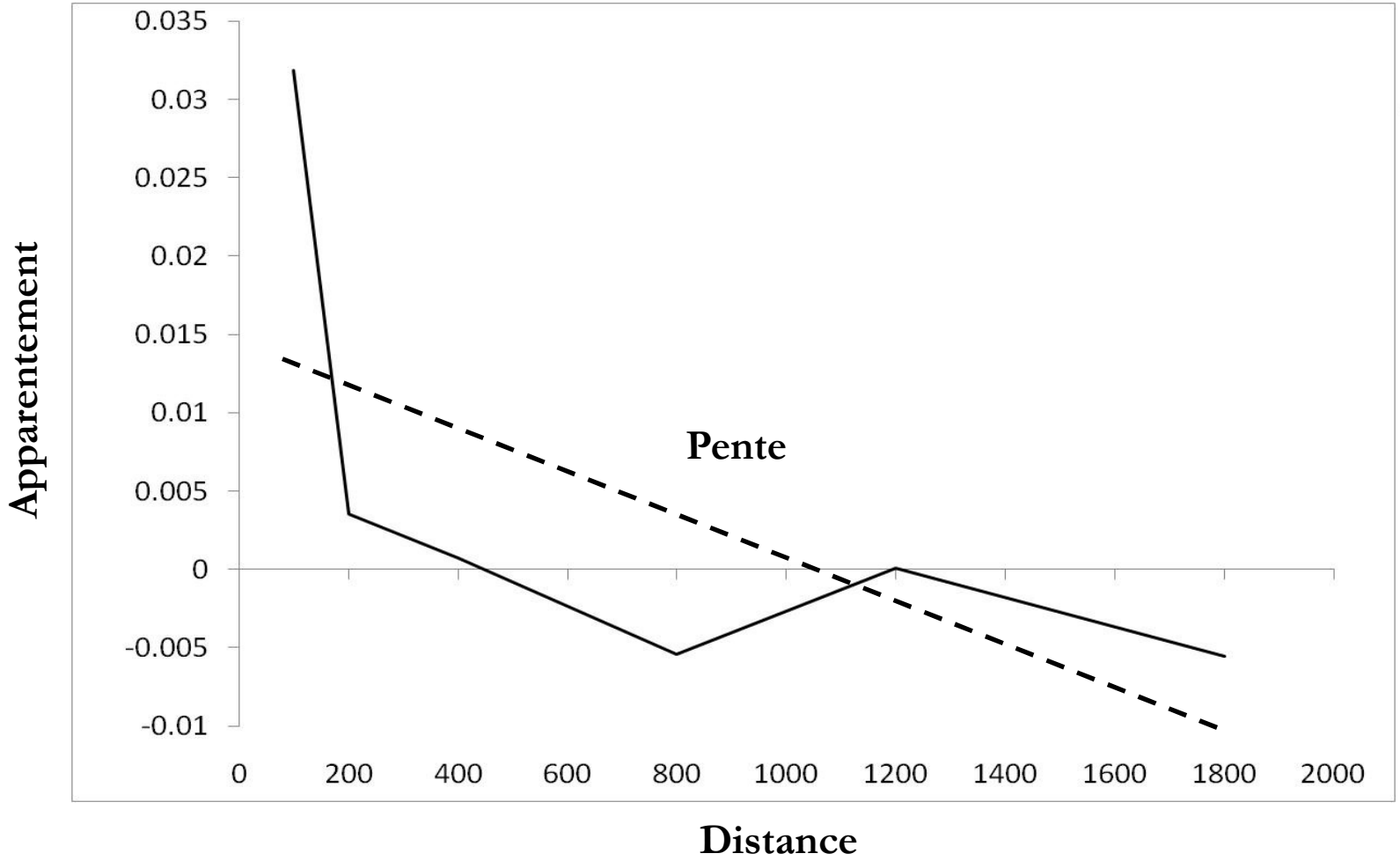
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Evolution phénotypique & Gradient de sélection



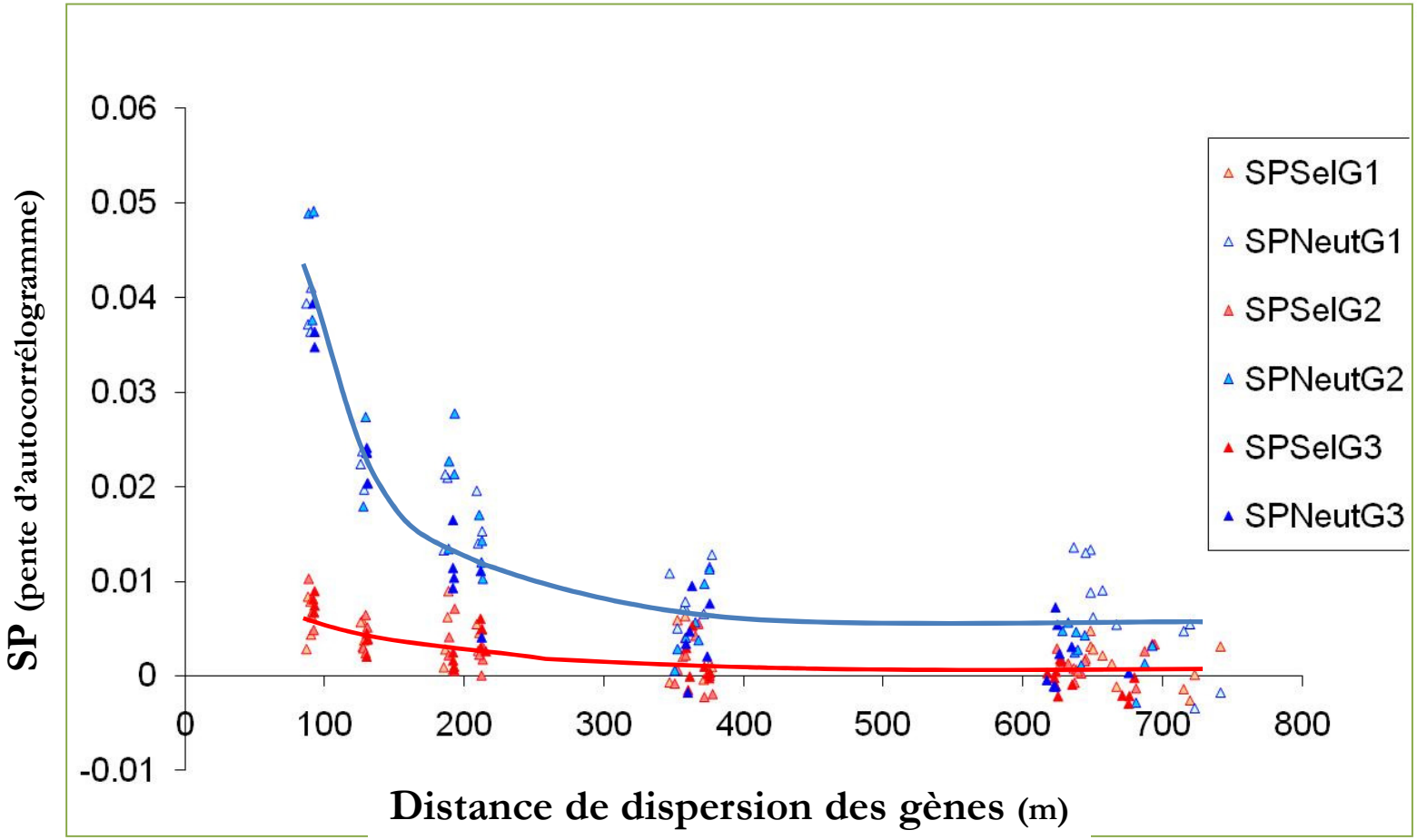
RÉSULTATS PRINCIPAUX

Structure Génétique Spatiale



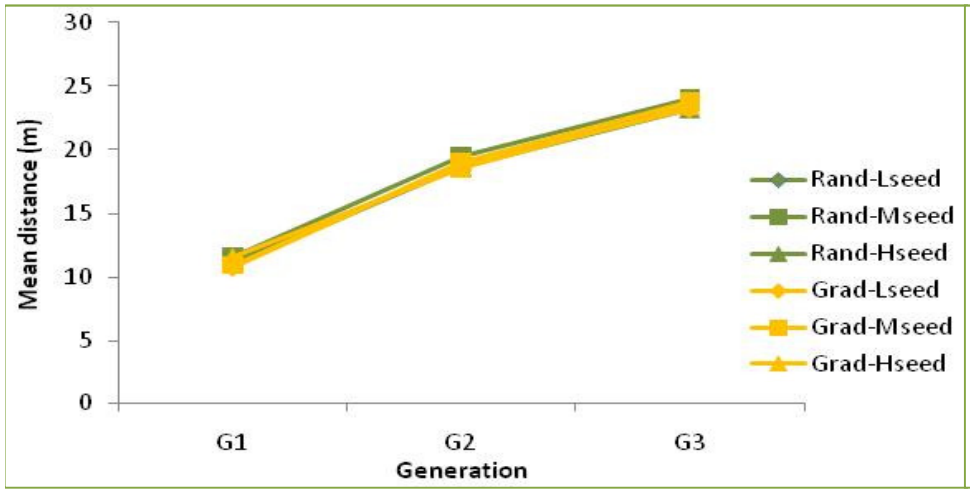
RÉSULTATS PRINCIPAUX

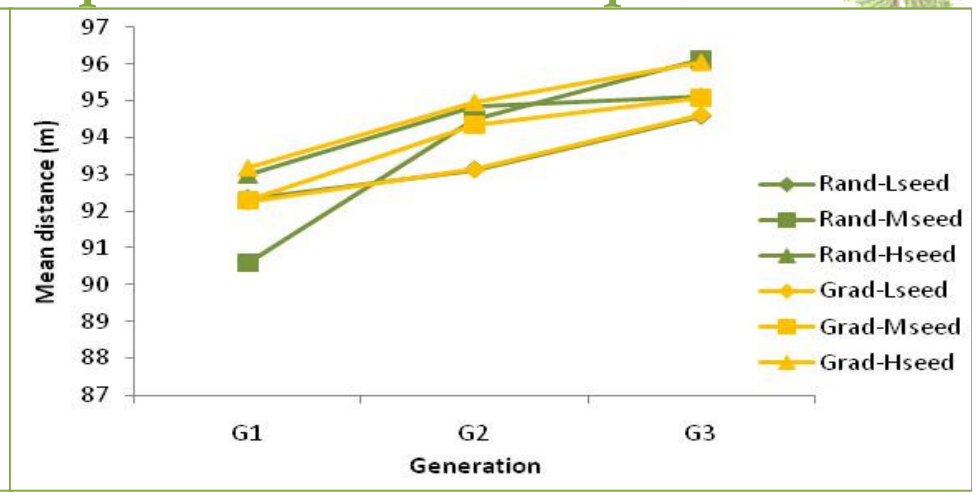
Intensité de la Structure Génétique Spatiale

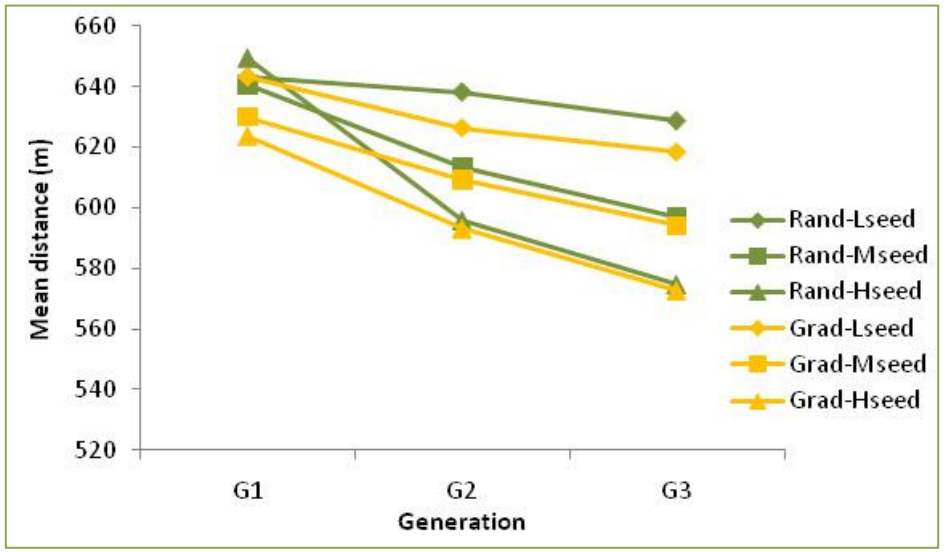


RÉSULTATS PRINCIPAUX

Evolution de la distance de dispersion réalisée du pollen







QUELQUES MESSAGES À EMPORTER

En dehors des spécificités du cas de la colonisation …

1. Les gradients de sélection deviennent uniformes avec le temps

Effets génétique → Croissance
↓
Démographie
Compétition
→ Environnement
↑
Effets génétique

2. Evolution génétique and phénotypique

G moy.	↗	Sélection
P moy.	↘	Compétition
V_G	↗	Flux de gènes
	↘ in time	Compétition
	↘ avec qualité E en Rand ↘↗ avec qualité E en Grad	Compétition Compétition + flux de gènes

QUELQUES MESSAGES À EMPORTER

3. **Un fort flux de gènes n'affecte pas la SGS des locus sélectionnés autant que les locus neutres.**

4. **Perspective de l'année : nous voulons modéliser de manière réaliste les changements temporels d'environnement, donc la prochaine étape est de lier le fonctionnement éco-physiologique aux modèles démo-génétiques !**

QUESTION ET PERSPECTIVES SUR LES CHOIX DE MODÉLISATION

A – Parcelle finie = effets de bords …

Les graines qui sont envoyées à l'extérieur sont perdues. Biologiquement réaliste mais très pesant.

B – Pas de mortalité …

Loi d'auto-éclaircie : les plus petits arbres qui ne poussent pas meurent. Mais pas assez d'arbres encore dans notre cas ! Quelle autre mortalité introduire ?

C – Différence pollen / graines : kernel de dispersion pour les graines puis recherche du père (double kernel trop lourd).

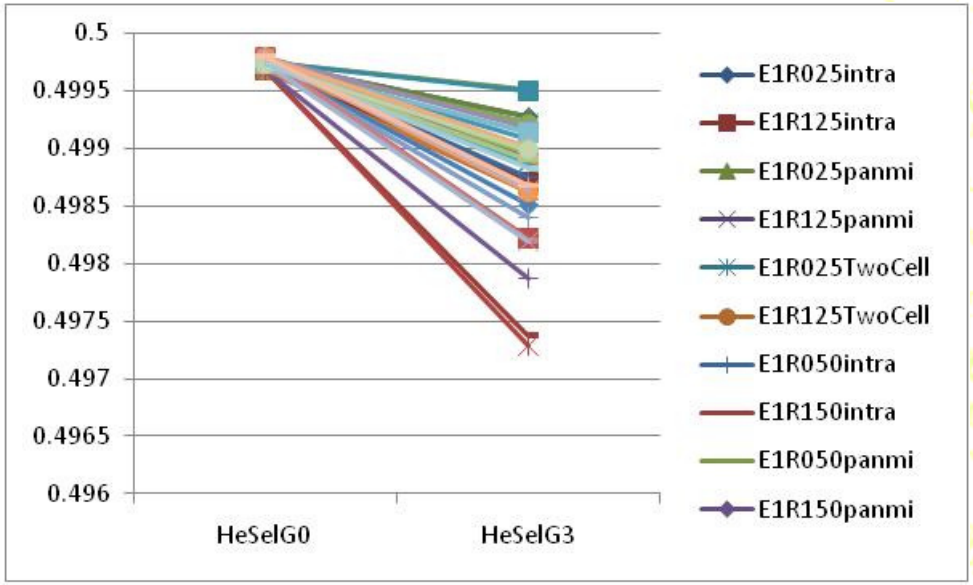
D – Environnement : il nous faut plusieurs environnements aléatoires mais comment faire plusieurs gradients ? En gardant 5 niveaux et les mêmes proportions ?

Merci à Samuel et François pour leur soutien !

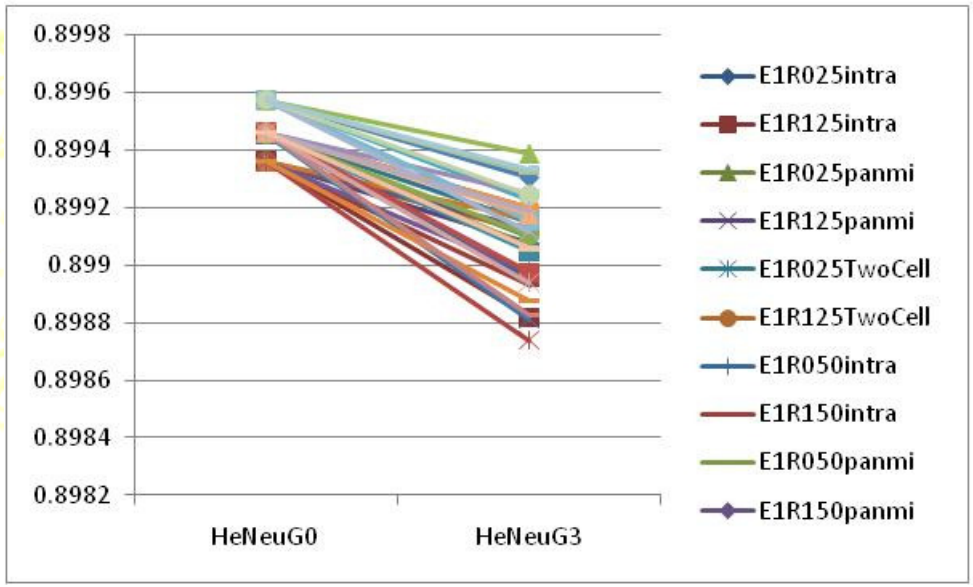
Merci de votre attention

Decrease in He between G0 and G3

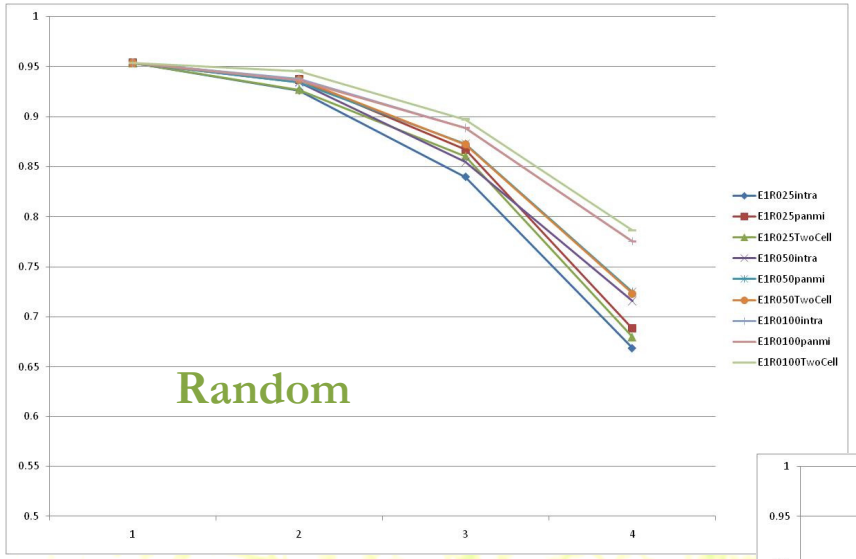
Selected

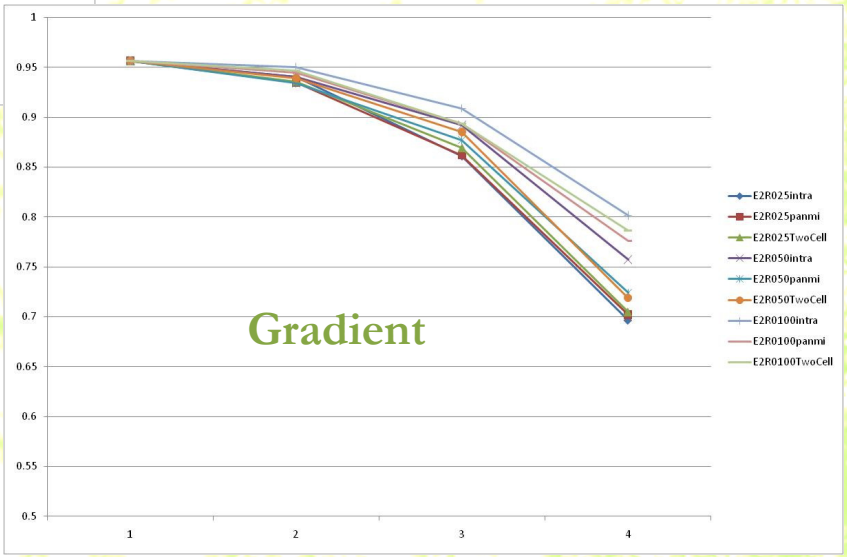


Neutral



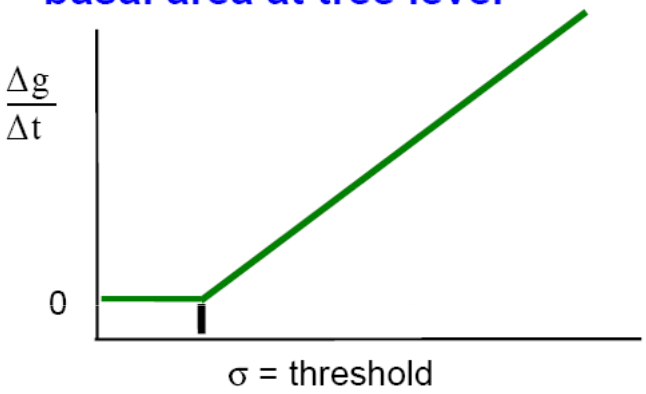
Decrease in heritability in time





GROWTH COMPETITION MODEL

basal area at tree level

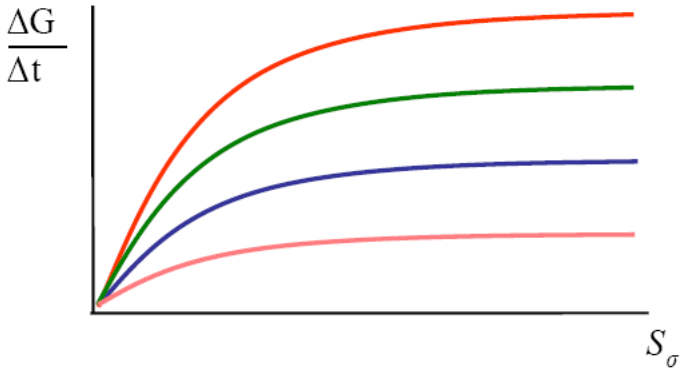


Growth model

$$\frac{\Delta g}{\Delta t} = \gamma(c - \sigma) \quad \text{if} \quad c > \sigma$$

$$\frac{\Delta g}{\Delta t} = 0 \quad \text{if} \quad c \leq \sigma$$

basal area at stand level



Growth potential x density regulation

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = \frac{\Delta \Gamma}{\Delta t}\left(1 - e^{-\lambda S_\sigma}\right)$$

Growth potential depending on heigth increase

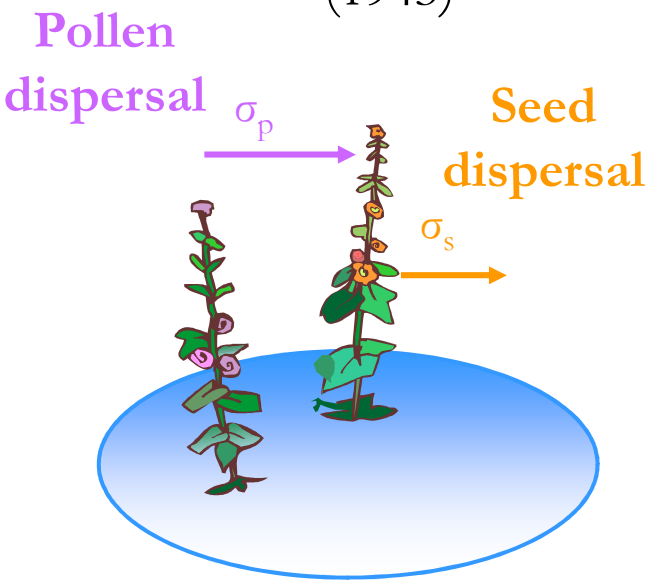
$$\frac{\Delta \Gamma}{\Delta t} = \alpha + \beta \frac{\Delta Ho}{\Delta t}$$

Density regulation: $S_\sigma = \Sigma$ circ. for trees > σ

constraints σ tends to 0 when density tends to 0 and $\frac{\Delta G}{\Delta t} = \sum \frac{\Delta g}{\Delta t}$

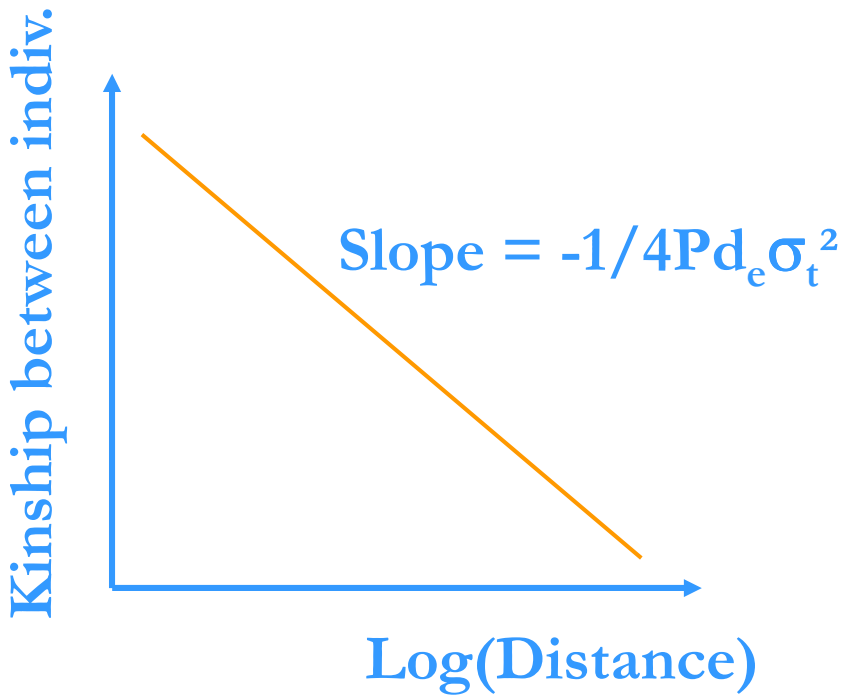
SGS and Sp-Statistics

Wright's isolation by distance model (1943)



$$\sigma_t^2 = \sigma_s^2 + 1/2\sigma_p^2$$

Rousset 1999



$$Sp = -\frac{slope}{(1-F_1)}$$