



**Analyse d'un  
réseau d'essais  
« variétés »**

**Exemple du réseau  
« variétés de blé tendre  
d'hiver (BTH) »**

**ARVALIS**  
Institut du végétal

François PIRAUX  
Arvalis – Institut du végétal

Séminaire méta-analyse – 13 juin 2013



# Plan

- Définition et objectifs d'un réseau d'essais « variétés »
- Présentation de l'exemple
- Méthodes d'analyse
- Analyse de l'exemple



# Définition

Réseau d'essais multi-local et/ou pluri-annuel ou MET (multi-environment trials) = ensemble d'essais de même protocole réalisés en différents endroits et/ou différentes années.

Un MET fait l'objet d'une **planification** formalisée au travers d'un **protocole expérimental** qui doit comprendre, au minimum, les éléments suivants :

- Définition du but et des conditions de l'expérience (conduite de culture)
- Définition des facteurs étudiés (liste de variétés)
- Définition des variables d'intérêt
- Définition des unités expérimentales : taille, forme, bordures, ...
- Dispositif expérimental au niveau d'un essai
- Choix des environnements (liste des lieux)
- Méthode d'analyse des résultats



# Objectif

Chaque année, une 30 de variétés de BTH sont inscrites en France. Arvalis évalue la valeur agronomique et technologique de ces variétés dans des essais au champ, dans un but de préconisation.

## **Objectif 1**

Estimer la valeur moyenne d'un ensemble de variétés dans une région donnée et quantifier le niveau d'interaction entre les variétés et les environnements.

- on choisira des environnements représentatifs
- nécessite de bien définir la population d'environnements d'intérêt



# Objectif

On fait des essais en réseau parce qu'on s'attend à ce que les résultats varient en fonction de l'environnement → interaction variétés\*essais .

Dans l'analyse d'un MET, on accordera donc souvent une importance particulière à la quantification, à la description et à la prédiction de l'interaction entre les variétés et les environnements (IGE).

## **Objectif 2**

Etude des IGE, par exemple, identifier les covariables génotypiques et environnementales à l'origine des interactions G\*E et quantifier leur effet.

→ on choisira des environnements contrastés



# Présentation de l'exemple

## Réseau d'essais variétés de blé tendre

Nombre de Rdt	Annees								
Varietes	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
ASTRAKAN	21	8							
ALLISTER	18	23	1						
ACIENDA	3	21	24	11					
AGRESTIS		3	1	1					
AGUILA			26	22	5				
HYSORE				11	6	3			
ACCOR					30	10			
ADEQUAT					9	5			
ALDRIC					44	36	32	16	
APACHE	24	30	38	43	48	49	49	60	

Remarque : valeur = nombre d'essais



# Présentation de l'exemple

186 variétés de blé tendre

137 essais (BAC ou alpha-plan, 3 ou 4 rep par essai)

58 lieux

8 années : 2003 à 2010

Nombre moyen de variétés par essai : 34.1

Nombre d'années de présence des variétés :

Nb d'années :	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb de variétés :	69	57	20	12	9	9	4	6

Nombre de données observées : 4676 (données moyennes)

Nombres de données dans le cas d'un tableau complet :  $186 \times 137 = 25482$

Taux de remplissage :  $4676/25482 = 0.184$



# Analyse

- La méthode la plus efficace est l'analyse en une étape (sur données individuelles), mais elle est souvent compliquée :
  - beaucoup d'essais et de variétés
  - jeux de données déséquilibrés
  - dispositifs expérimentaux différents d'un essai à l'autre
- Une alternative populaire est l'analyse en deux étapes :
  - Étape 1** : analyse et validation des essais individuels → moyennes des variétés par essai
  - Étape 2** : analyse des données moyennes par essai obtenues à l'étape 1





# Analyse

## Étape 1 : analyse et validation des essais individuels

### 1. Analyse agronomique des essais

- validation agronomique de l'essai (respect du protocole )
  - ✓ conduite de culture, méthodes de mesures
  - ✓ facteurs limitants indésirables sur l'essai :  
enherbement, parasitisme, gel, pertes de plantes
  - ✓ Homogénéité visuelle

### 2. Analyse statistique des essais

- validation statistique de l'essai (absence de données aberrantes, ETR, ...)
- estimation des moyennes par variété et de la précision de ces moyennes



# Exemple de fiche de validation d'un essai

Suivi agronomique détaillé : les points clefs de contrôle		
Accidents ou Applications	Avis de l'expérimentateur	Commentaires
<b>Implantation</b>		
Régularité de semis et de densité	Régulière	
Vitesse de la levée	Lente	
Validité de la levée	Régulière	
Date de levée	01/11/2010	
<b>Hiver</b>		
Excès d'eau	Nul	
Froid	Moyen	
<b>Montaison / Remplissage</b>		
JNO	Nul	
Mosaïque	Nul	
Homogénéité de hauteur (absence de moutonnement)		
Excès d'eau	Nul	
Sécheresse	Fort	
Températures froides	Non	
Températures élevées	Oui	
Piétin échaudage	Nul	
Autres		
<b>Traitements fongicides</b>		
Efficacité	Très bonne	
Phytotoxicité	Nul	
MALADIES dominantes sur l'essai (ou sur bloc ou parcelle Non Traité)	Rouille naine	
<b>Désherbage</b>		
Efficacité	Correcte	
Phytotoxicité	Nul	
<b>Verse</b>		
Précoce	Nulle	
Récolte	Faible	Surtout de la casse d'épis
<b>Fertilisation</b>		
Carence minérale	Non	
Brûlure	Non	
Efficacité	Correcte	
Commentaire		
<b>Récolte</b>		
Stade de récolte	A maturité	
Conditions de récolte	Facile	
Egrenage	Faible	
Casse d'épis	Partielle	
Germination	Nul	
Dégâts d'oiseaux	Absence	
Dégâts de grêle	Non	
Autres		

Validation agronomique	
<b>Dispositif et plan d'essai</b>	
Hétérogénéité de terrain (sol,résidu)	Assez mal contrôlée
Sens travail du sol/semis	Perpendiculaire
<b>Conformité au protocole de la conduite</b>	
La conduite de l'essai est conforme aux demandes du protocole :	Oui
Commentaire sur la conduite de l'essai	
<b>Validité agronomique</b>	
Avis du technicien réalisateur de l'essai	Valable
<b>Commentaire et représentativité de l'essai:</b>	
Essai situé en "petites terres" et qui n'a pas bénéficié d'une pluviométrie suffisante pour réaliser un rendement correct.	
Si abandon, date et raison de l'abandon	
date abandon	
raison	

Quelques précisions pour la validation du rapport d'essais	
<b>Conformité des méthodes de mesures et notations / aux protocoles et m.o.</b>	
	Non
<b>Si non préciser les différences.</b>	
Faute de temps, pas de comptages épis/m <sup>2</sup> sur toutes les variétés ni de stades Z30 sur les témoins	
<b>Analyse de variance du rendement retenue</b>	
ETR de l'essai :	4.77
Nombre de blocs analysés :	3
Bloc supprimé et justification :	
Modalités supprimées et justification :	
Parcelles supprimées ou manquantes et justification:	



# Analyse

## Étape 2 : analyse du réseau

- Objectif 1 : estimer la valeur moyenne des variétés et quantifier leur niveau d'interaction
- Modélisation des données moyennes par essai avec un modèle mixte



# Analyse

## Modèle 1

$$y_{ij} = \mu + v_i + E_j + (vE)_{ij} + e_{ij}$$

$y_{ij}$  = moyenne de la variété  $i$  dans l'essai  $j$

$\mu$  = moyenne générale

$v_i$  = effet principal de la variété  $i$

$E_j$  = effet principal de l'essai  $j$ ,  $E_j \sim iid N(0, \sigma_E^2)$

$(vE)_{ij}$  = interaction de la variété  $i$  et de l'essai  $j$ ,  $(vE)_{ij} \sim iid N(0, \sigma_{vE}^2)$

$e_{ij}$  = erreur associée à la moyenne  $y_{ij}$

$R = var(e_{ij})$ , supposée connue à partir de la première étape de l'analyse



# Analyse

Différents dispositifs expérimentaux sont utilisés dans nos essais : BAC (blocs aléatoires complets) et alpha-plans.

Différents modèles d'analyse sont utilisés :

- pour les BAC : modèle fixe ou modèle mixte avec autocorrélation spatiale
- pour les alpha-plans : modèle mixte avec effets blocs incomplets aléatoires

→ la structure de  $R_j$  est de type générale (us) (sauf analyse BAC)

Exemple

$$\begin{bmatrix} \sigma_{1.j}^2 & \sigma_{21.j} & \sigma_{31.j} & \sigma_{41.j} \\ \sigma_{21.j} & \sigma_{2.j}^2 & \sigma_{32.j} & \sigma_{42.j} \\ \sigma_{31.j} & \sigma_{32.j} & \sigma_{3.j}^2 & \sigma_{43.j} \\ \sigma_{41.j} & \sigma_{42.j} & \sigma_{43.j} & \sigma_{4.j}^2 \end{bmatrix}$$



# Analyse

$R$  est bloc-diagonale de type  $R_{us}$  :  $R = \bigoplus_{j=1}^t R_j$  avec  $R_j = \text{var}(e_j)$

Exemple

$$\begin{bmatrix}
 \sigma_{1.1}^2 & \sigma_{21.1} & \sigma_{31.1} & \sigma_{41.1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \sigma_{21.1} & \sigma_{2.1}^2 & \sigma_{32.1} & \sigma_{42.1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \sigma_{31.1} & \sigma_{32.1} & \sigma_{3.1}^2 & \sigma_{43.1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \sigma_{41.1} & \sigma_{42.1} & \sigma_{43.1} & \sigma_{4.1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{1.2}^2 & \sigma_{21.2} & \sigma_{31.2} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{21.2} & \sigma_{2.2}^2 & \sigma_{32.2} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{31.2} & \sigma_{32.2} & \sigma_{3.2}^2 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{1.3}^2 & \sigma_{21.3} & \sigma_{31.3} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{21.3} & \sigma_{2.3}^2 & \sigma_{32.3} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{31.3} & \sigma_{32.3} & \sigma_{3.3}^2
 \end{bmatrix}$$



# Analyse

- Modèle 1.0

Idéalement, il faudrait prendre  $var(e_{ij}) = \mathbf{R}_{us}$

- Cela ne facilite pas beaucoup l'analyse qui est équivalente à l'analyse en une étape (sur données individuelles)
- Différentes approximations de  $\mathbf{R}_{us}$  sont utilisées.



# Analyse

- Modèle 1.1

On considère  $var(e_{ij}) = R_{id} = \sigma^2 I$

Exemple

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$





# Analyse

Correct si :

- Analyse orthogonale (BAC)
  - Les essais ont la même variance résiduelle  $\sigma_{résiduelle}^2$
  - Les essais ont le même nombre de répétitions n
- $\sigma^2 = \sigma_{résiduelle}^2/n$



# Analyse

- Modèle 1.2

On considère  $var(e_{ij}) = R_{id.j} \rightarrow R_j = 0.5 vmc_j I$

$vmc_j$  = variance moyenne des comparaisons entre variétés de l'essai j

Exemple

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$



# Analyse

- Modèle 1.3

On considère  $var(e_{ij}) = \mathbf{R}_{diag} = \text{diag}(\mathbf{R}_{us})$

Exemple

$$\begin{bmatrix} \sigma_{1.1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{2.1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{3.1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{4.1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{1.2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{2.2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{3.2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{1.3}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{2.3}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{3.3}^2 & 0 \end{bmatrix}$$



# Analyse

Comparaison des modèle 1.1 ( $R_{id}$ ), 1.2 ( $R_{id.j}$ ) et 1.3 ( $R_{diag}$ ) sur un sous-ensemble du réseau d'essais

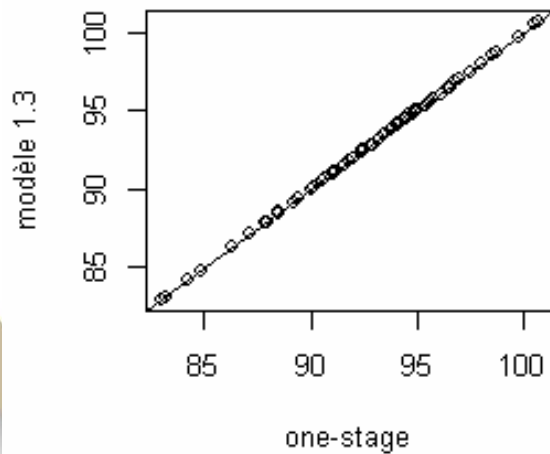
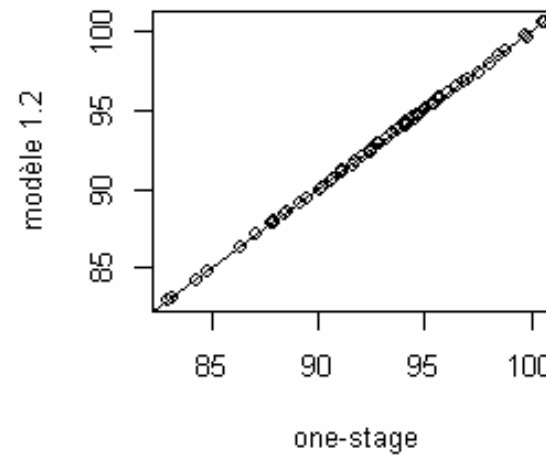
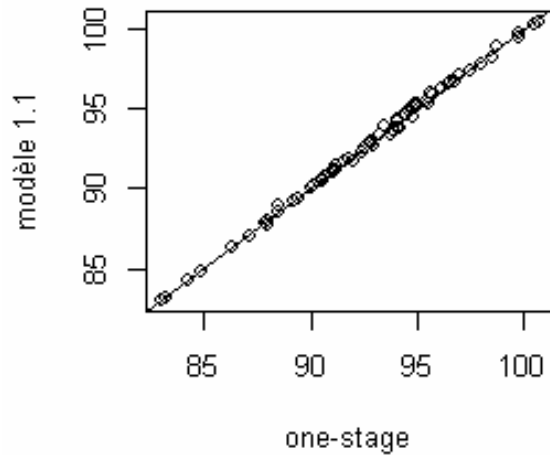
- 17 essais en alpha-plans
- 68 variétés
- 377 moyennes
- Critères de comparaison :
  - Corrélation de Pearson entre les moyennes de l'analyse en une étape et des modèle 1.1, 1.2 et 1.3
  - Corrélation de Pearson entre les effets d'interaction variété\*essai de l'analyse en une étape et des modèle 1.1, 1.2 et 1.3
  - Corrélation de Pearson entre les erreurs-standards des écarts à la moyenne générale de l'analyse en une étape et des modèle 1.1, 1.2 et 1.3
- Analyses réalisées avec le logiciel R, package asrem1



# Analyse

## Résultats

- Moyennes des variétés



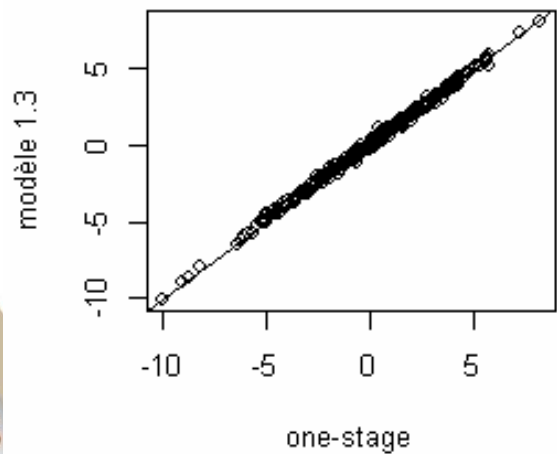
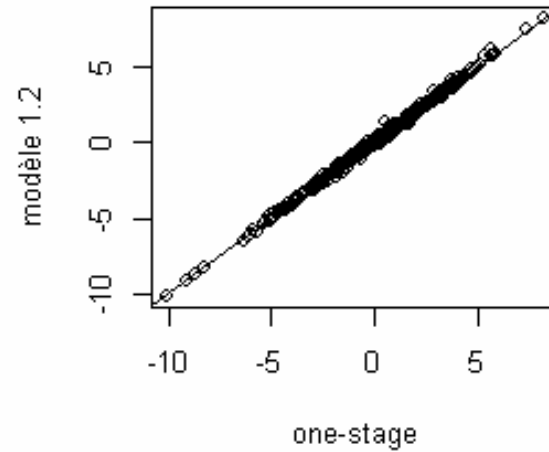
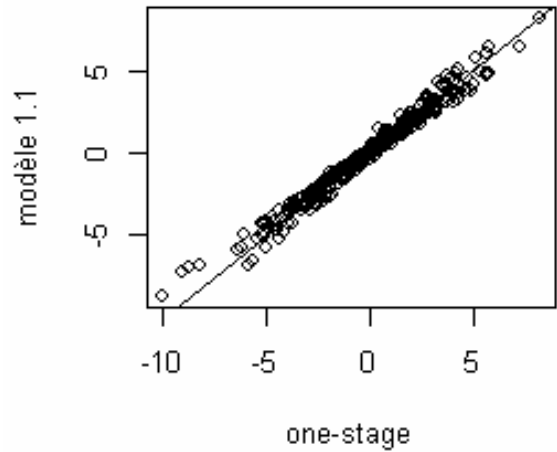
Modèle	Corrélation
1.1	0.9989
1.2	0.9999
1.3	0.9999



## Résultats

- Effets IGE

# Analyse



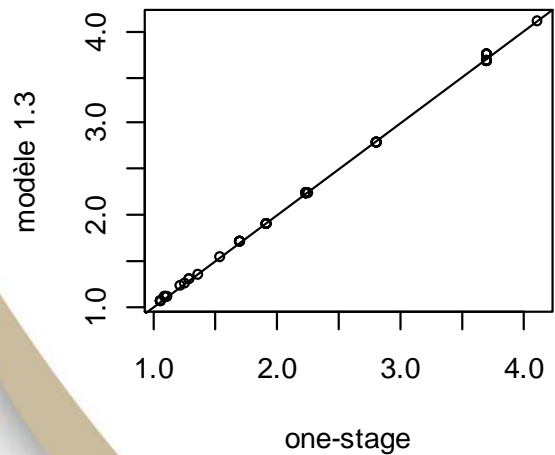
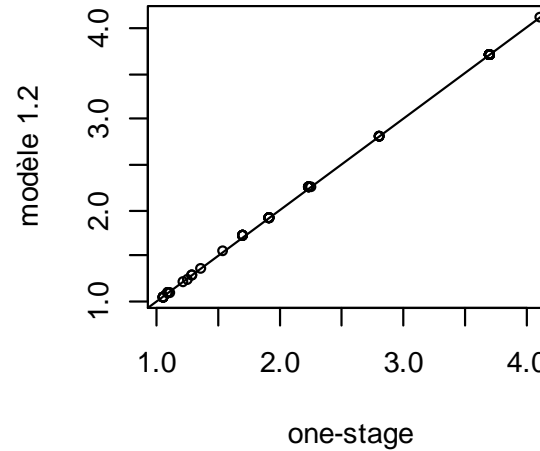
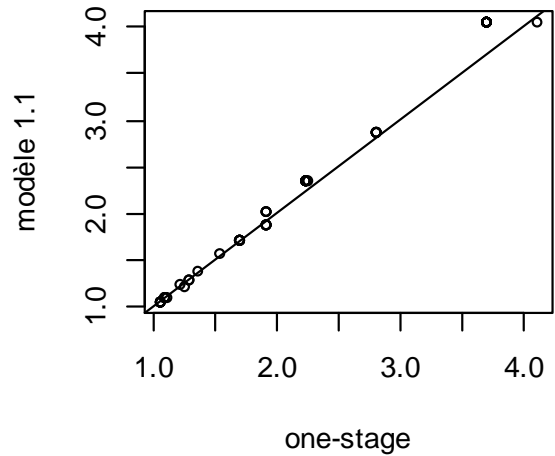
Modèle	Corrélation
1.1	0.9887
1.2	0.9987
1.3	0.9984



# Analyse

## Résultats

- Erreurs-standards des écarts à la moyenne générale



Modèle	Corrélation
1.1	0.9979
1.2	0.9999
1.3	0.9998



# Analyse

## Résultats

- Étude de Möhring et Piepho (CROP SCIENCE, VOL. 49, NOVEMBER–DECEMBER 2009)

Corrélation de Pearson entre les moyennes de l'analyse en une étape et des modèle 1.1, 1.2 et 1.3

Experiment	modèle 1.1	modèle 1.2	modèle 1.3
1	0.9795	<b>0.9951</b>	0.9946
2	0.9903	0.9894	<b>0.9908</b>
3	0.9811	0.9906	<b>0.9908</b>
4	0.9763	0.9821	<b>0.9852</b>





# Analyse

## Modèle 2

Extension du modèle 1 avec variance de l'interaction  
variété\*essai hétérogène (variance différente par variété) :

$$(vE)_{ij} \sim iid N(0, \sigma_{vE.i}^2)$$

$\sigma_{vE.i}^2$  = critère de stabilité



# Analyse de l'exemple

Modèle 1.2 ( $R_{id.j}$ )

Résultats

1. Composantes de la variance

ID\_ESSAI  
177.6

Varietes:ID\_ESSAI  
15.76

Résultats (extrait)

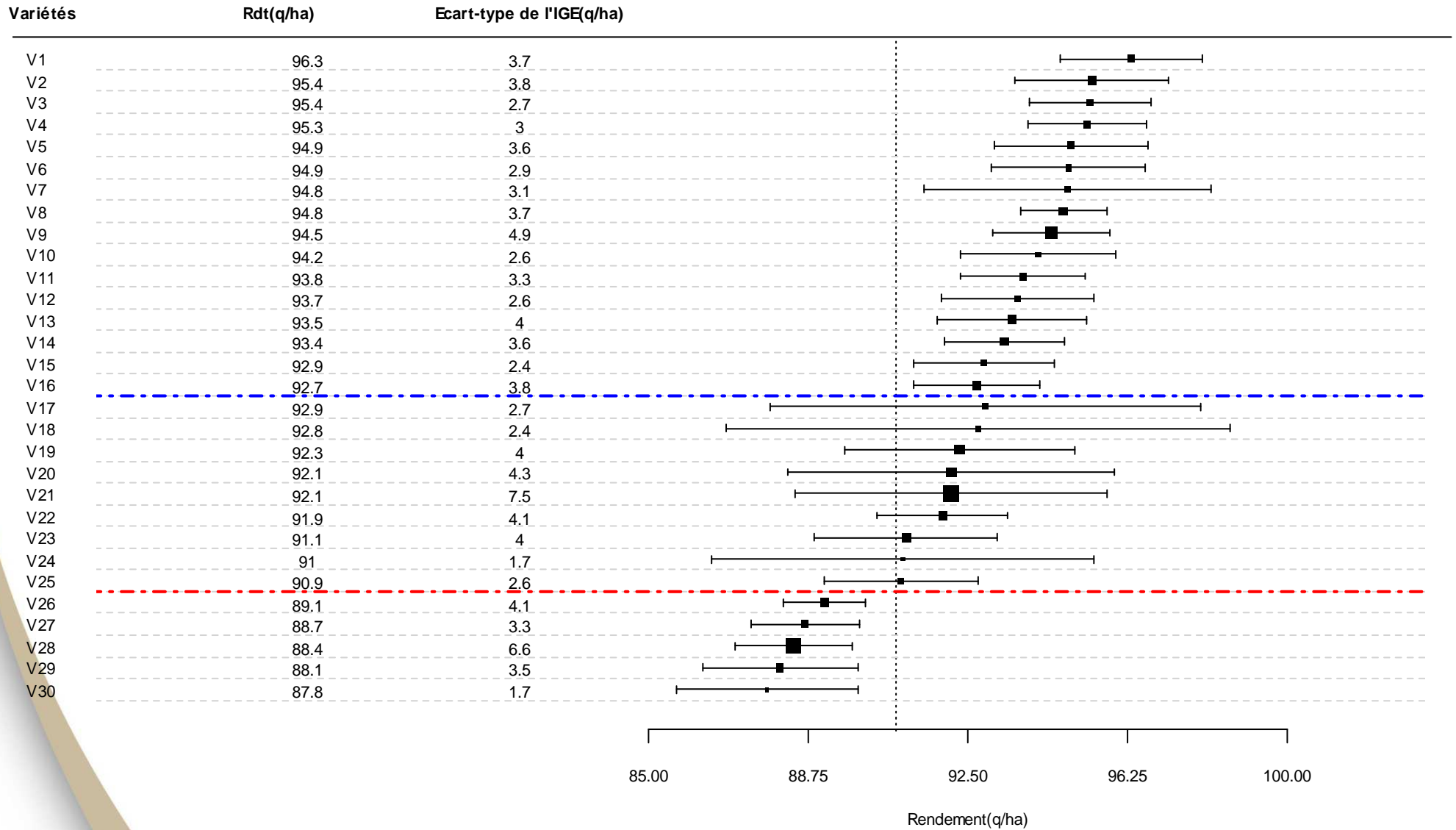
2. Estimation des moyennes des variétés

3. Estimation de la stabilité des variétés

4. Estimation des écarts à la moyenne générale



# Analyse de l'exemple





# Analyse de l'exemple

Modèle 2, version 2.2

Résultats

## 1. Composantes de la variance

ID\_ESSAI

178.1

Varietes:ID\_ESSAI

V1        9.794

V2        13.26

V3        17.63

...



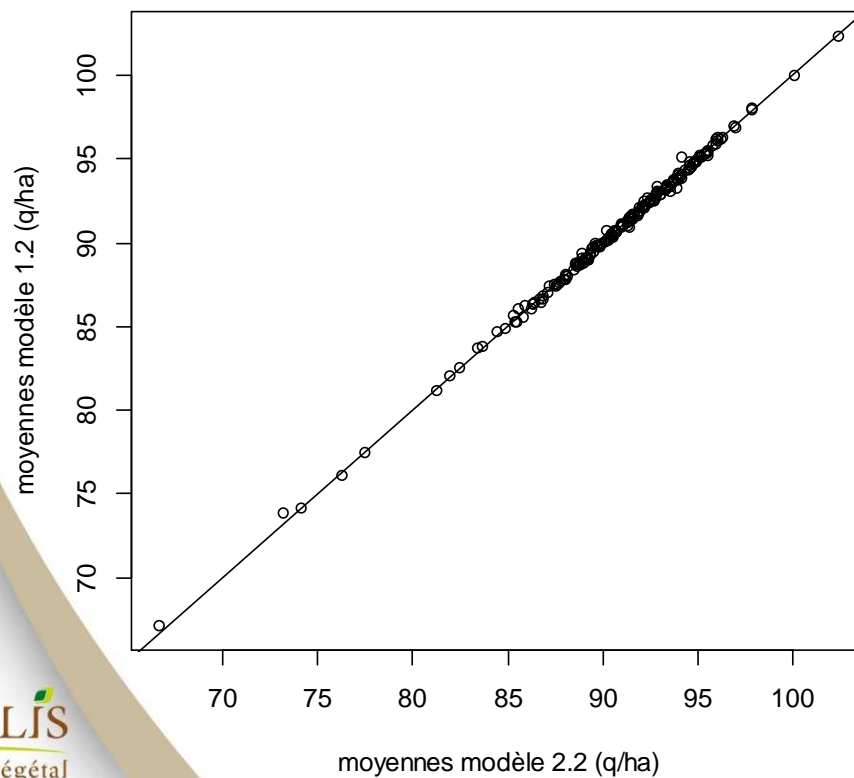
# Analyse de l'exemple

## 2. Comparaison modèle 1 vs modèle 2

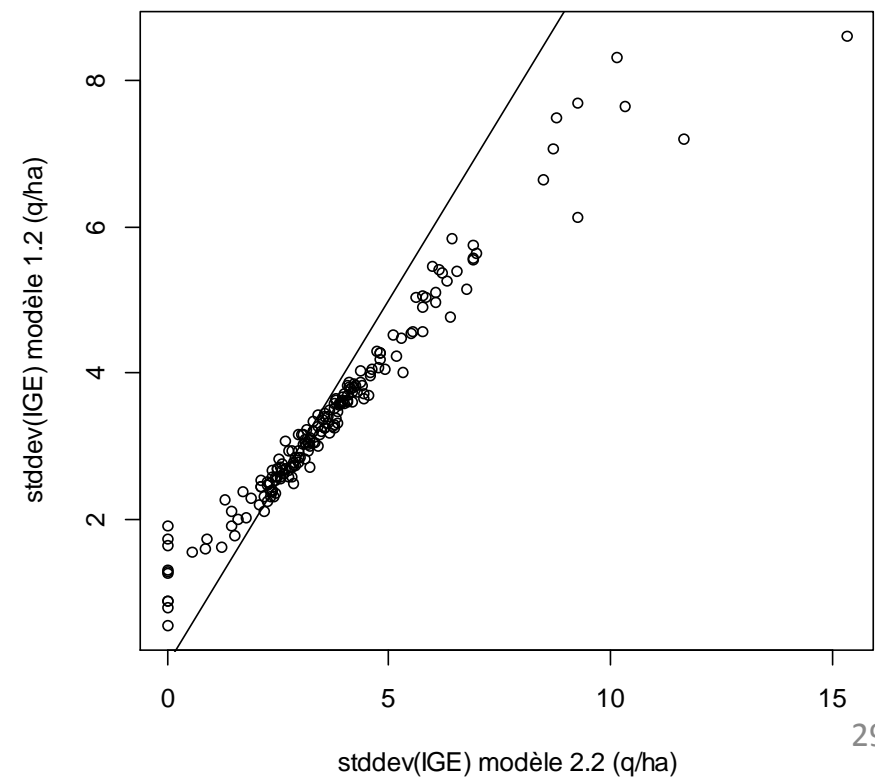
Test du rapport de vraisemblances

LRT	ddl	proba.chi2
645.1	185	3.11e-52

moyennes des variétés



écart-type des IGE par variétés





**Merci de votre attention**

**ARVALIS**  
Institut du végétal