

Chapitre 02 : Planification expérimentale

Introduction :

L'expérimentation permet d'évaluer la réponse induite sur une ou plusieurs variables par la modification d'un ou plusieurs facteurs expérimentaux. Le plus souvent on envisage de mener une expérimentation afin de vérifier une hypothèse suggérée par des connaissances antérieures ou des problèmes posés à l'agriculture. Il faut alors élaborer une procédure de vérification de cette hypothèse. Cette procédure comporte différentes phases parmi lesquelles on note :

- le choix du matériel expérimental
- le choix des caractères à observer ou mesurer
- la détermination des méthodes d'observation et de mesure
- la détermination des critères de validation de l'hypothèse.

Les deux premières phases ne posent souvent pas beaucoup de difficultés à l'expérimentateur car elles relèvent essentiellement du domaine de recherche considéré. Par contre. Les deux dernières exigent un certain bagage en statistique. En effet, il faudra Savoir comment déterminer une méthode fiable et précise de mesures et dans quel cadre ces mesures obtenues permettront de valider ou d'invalider l'hypothèse.

Ainsi, à l'issue de l'expérimentation une décision sera prise, mais elle sera prise dans un contexte incertain sujet à diverses sources de variation liées au matériel expérimental utilisé, aux conditions expérimentales (par exemple la température, la pluviométrie, l'hétérogénéité du sol), aux erreurs de mesure etc. La décision d'accepter ou de refuser une hypothèse sera basée alors sur un raisonnement probabilistique ou statistique. Nous voyons dès à présent l'importance et l'enjeu de la statistique dans le domaine de l'expérimentation agricole.

Exemple

Considérons une expérimentation mise en œuvre dans le but de comparer les rendements potentiels de deux variétés A et B d'arachide. L'hypothèse à tester consiste à dire que ces deux variétés produisent le même rendement.

L'expérimentateur, disposant de deux parcelles contiguës de même taille, sème chacune des variétés sur une des parcelles et observe que la variété B donne un meilleur rendement.

L'expérimentateur, à partir seulement de cette observation, ne pourra certainement pas avancer une conclusion valable en vue de valider son hypothèse de travail. En effet cette différence: observée pourrait très bien être due à des facteurs autres que la variété, en l'occurrence une attaque d'insectes plus marquée sur la parcelle ayant reçue la variété A, une plus grande fertilité de la parcelle ayant reçue B pourraient par exemple expliquer cette différence **de rendement**.

Nous voyons ainsi que l'expérimentateur devra planifier son expérience de telle façon à pouvoir décider si la différence observée pouvait être attribuée à un effet de la variété ou bien être attribuée à d'autres facteurs dits : "non contrôlés" par l'expérience.

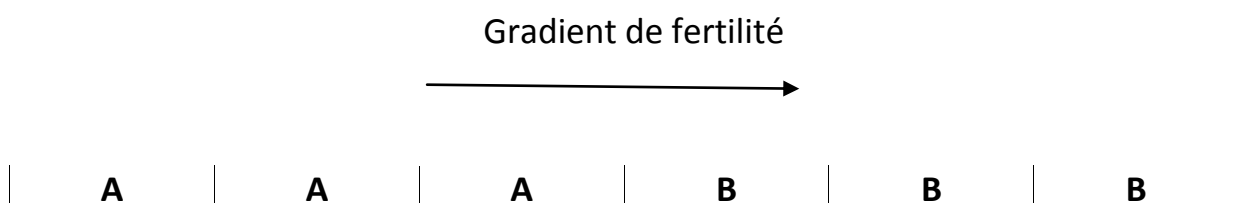
I- Principes de la planification expérimentale :

Une planification expérimentale de qualité peut être définie comme "la façon de fournir l'effort expérimental minimum pour la meilleure précision", en d'autres termes le moyen d'obtenir des résultats précis au moindre coût.

Nous mesurons dès à présent toute l'importance à devoir accorder à l'étape de la planification expérimentale dans le processus de recherche. La planification expérimentale doit, pour garantir la validité de l'analyse statistique des données qui seront recueillies obéir à trois principes fondamentaux que nous allons brièvement décrire.

I-1- La randomisation :

Reprenons à présent l'exemple précédent en considérant que nous disposons de six parcelles expérimentales contiguës, les trois premières recevant la variété A et les trois autres la variété B



Dans ce cas, une des variétés pourrait être constamment favorisée, au point de vue de son rendement, s'il existe par exemple un gradient de fertilité allant de la

droite à la gauche du terrain.

Pour éviter toute source d'erreur systématique en avantageant une des variétés au détriment de l'autre, il nous faut procéder à la randomisation qui est une règle d'affectation au hasard des traitements aux unités expérimentales. Cette procédure garantit l'indépendance des observations d'une unité expérimentale à l'autre et élimine les biais qui peuvent être induits par une mauvaise répartition des traitements aux unités expérimentales.

I-2- Les répétitions :

Si l'expérimentateur avait choisi de semer la même variété sur les six parcelles il aurait quand même sûrement observé une différence de rendement entre ces parcelles, cette différence est due à une source de variabilité appelée erreur expérimentale qui ne peut être estimée que s'il y a des répétitions, c'est à dire affecter une même variété à différentes parcelles expérimentales.

Il est en effet nécessaire d'avoir des répétitions pour évaluer l'erreur expérimentale et distinguer ainsi cette erreur de l'effet du aux traitements.

I-3- Le contrôle de l'erreur :

Nous venons de voir que les répétitions nous permettent d'avoir une mesure de l'erreur expérimentale. Il nous faut , pour la réduire, limiter l'influence de certains facteurs non contrôlés par l'expérience. Nous chercherons, pour cela, à constituer des regroupements d'unités expérimentales les plus homogènes possible. Une part de la variabilité sera ainsi contrôlée et l'erreur expérimentale réduite.

Pour un essai au champ, on cherchera lorsqu'un gradient d'hétérogénéité (ou un gradient de fertilité) par exemple est reconnu à constituer des groupes de parcelles semblables du point de vue de leur fertilité de telle sorte que la variabilité du phénomène étudié soit plus faible entre des unités expérimentales d'un même groupe qu'entre unités expérimentales appartenant à des groupes différents. Les traitements seront alors répartis de manière aléatoire au niveau de chacun de **ces groupes ou blocs**. Le facteur de variation lié à la fertilité du sol sera ainsi contrôlé et l'erreur expérimentale réduite.

II-Principales étapes de la planification expérimentale :**Protocole expérimental**

Après une étude bibliographique permettant de procéder à l'état des

connaissances sur le thème de recherche projeté, l'expérimentateur doit définir lors de la planification de son expérience différents éléments dont les principaux sont :

II-1- La définition de l'objectif expérimental :

Une expérience étant mise en place pour répondre à un certain objectif, il est nécessaire que cet objectif soit défini de manière claire. On conçoit aisément que la définition de l'objectif expérimental détermine la réalisation de l'expérimentation et la nature des mesures qui seront relevées.

Les diverses questions auxquelles l'expérience devrait répondre doivent être formulées sans ambiguïté et classées par ordre d'importance lorsque l'objectif de l'expérience est multiple.

II-2- La définition des facteurs à étudier(facteurs étudiés) :

Un facteur est défini par un ensemble d'éléments de même nature dont nous voulons étudier l'influence sur une certaine variable : **chacun de ces éléments** est appelé un **niveau** dans le cas d'un facteur **quantitatif** ou **variante** dans le cas d'un facteur **qualitatif** ou une d'une façon général on l'appel **modalité** du facteur.

Le niveau ou la variante sont appelés : **Traitement** dans le cas d'un seul facteur étudié, par contre dans le cas de plusieurs facteurs étudiés le traitement est **la combinaison des niveaux ou variantes** ou d'une façon générale des modalités du premier facteur étudié avec les modalités des autres facteurs étudiés, dans ce cas cette combinaison est appelée aussi : **Objet**.

Les facteurs à étudier constituent l'objet même de notre expérience. Ainsi leur nature doit être définie avec précision ; le nombre de facteurs et le nombre de niveaux ou de variantes ou modalités de chacun d'entre eux doivent être clairement déterminés.

Dans le cadre de notre exemple ci-dessus, le facteur étudié est la variété d'arachide. Les variétés A et B constituent les deux variantes (facteur qualitatif) ou modalités de ce facteur.

Un traitement est défini par une combinaison des niveaux ou des variantes des différents facteurs étudiés, dans le cas où on a plus d'un facteur étudié. Dans le cas où un seul facteur serait étudié un traitement correspond à un niveau ou une variante de ce facteur.

Exemple :

A titre d'illustration considérons qu'on s'intéresse à l'étude de 2 facteurs : la variété d'arachide à deux variantes ou modalités (variété A et variété B) et

l'engrais azoté à deux niveaux (dose D1 et dose D2).

Chacune des 4 combinaisons des deux facteurs (AD1, AD3, BD 1 et BD2) constitue un traitement.

II-3- La définition des conditions expérimentales :

Les résultats d'une expérience peuvent être fortement influencés par les conditions expérimentales et, à cet effet, il est alors nécessaire de bien définir ces conditions.

Les conditions expérimentales peuvent être par exemple dans le domaine végétal le site d'implantation de l'expérience (en station, en milieu paysan). Les sources d'hétérogénéité potentielles sur le site (existence de gradient de fertilité ou de salinité), le précédent cultural, les techniques culturales etc...

Dans le domaine agronomique on peut faire la distinction entre expériences « **en station** » et expériences « **hors station** ».

Par expérience en station, on entend une expérience qui est organisée de façon très stricte au sein d'une station de recherche, d'un laboratoire ou d'une manière générale, de tout milieu qui peut être étroitement surveillé (chambre de culture ou serre par exemple). Par expérience hors station, on entend au contraire une expérience qui est organisée dans un cadre moins bien contrôlé et généralement plus proche de la pratique (chez les agriculteurs ou en forêt par exemple).

-L'expérience « en station » est souvent plus artificielle et elle peut porter sur un matériel animal ou végétal plus homogène. De plus les conditions de travail permettent de nombreux cas d'utilisation d'équipements ou de locaux spéciaux conduisant à la définition d'unités expérimentales (exemple parcelles) plus petites.

-Par contre les expériences « hors station » portent le plus souvent sur un matériel animal ou végétal hétérogène et sont généralement soumises à plus d'aléas. Il en résulte qu'elles sont fréquemment caractérisées par l'emploi d'unités expérimentales plus grandes et malgré cela, par une plus grande variabilité des résultats obtenus.

II-4- La définition des unités expérimentales :

L'unité expérimentale est l'élément recevant le traitement (un seul) et sur lequel porteront les observations.

- **Choix des unités expérimentales :**

Pour les unités expérimentales on doit répondre à 4 questions :

Quoi ?

- Cas des végétaux ca va être : Une parcelle en cultures maraichères ou en grandes cultures, ou un individu isolé dans le cas des pots par exemple, ou un morceau du végétal
- Cas des animaux ca va être : Un lot d'animaux, ou un animal ou un morceau d'animal

On définit l'unité expérimentale comme étant la plus petite unité (du matériel vivant, animal ou végétal ou micro-organisme) recevant un traitement

Quelles sont les dimensions ?

Le principe c'est d'avoir la plus petite unité possible pour avoir le maximum de répétition (domaine agronomique), mais dans la pratique il y a des contraintes. Exemple en grandes cultures, contrainte de la largeur du semoir, il faut donc trouver un compromis entre le nombre de répétitions et les contraintes pratiques.

Le principe c'est d'avoir le max de répétitions et dans le cas des unités expérimentales sur terrain (parcelles) il ne faut pas oublier les bordures.

Quelle est la forme ?

Dans le domaine agronomique en production végétale on a deux situations : Dans le cas de terrain homogène, on utilise des parcelles carrées, dans le cas de terrain hétérogènes des parcelles allongées.

Quel est le nombre de répétitions?

On tient compte de l'homogénéité du terrain. Le minimum de répétitions est 3, le maximum est de 6.

On peut déterminer le nombre de répétitions par la formule :

$$n = 21 \cdot V^2 / \sigma^2$$

V: Coefficient de variation (CV)

σ : Ecart type de la population

$$CV(\text{ou } V \text{ en } \%) = S / \bar{y} \times 100$$

II-5- La définition des observations (paramètres mesurés ou mesures) :

Des mesures ou observations seront réalisées au niveau de chaque unité

expérimentale. Ces mesures ou observations sont les valeurs de variables, dites variables d'étude, prises sur l'unité considérée.

- **Choix des observations (paramètres mesurés ou mesures):**

De la définition des objectifs vont découler les observations.

Exemple : Objectif : Adaptation à la sécheresse du blé.

Observations :

-Rendement en sec

-Rendement en irrigué

-Mesure du pHF (potentiel hydrique foliaire) entre les différentes variétés

-Couleur des feuilles

On va distinguer deux types d'observations : Essentielles et accessoires.

- **1-Les observations essentielles :**

Ce sont les observations qui permettent de répondre à l'objectif

On a :

-**Les observations qualitatives** : exemple : Couleur des feuilles

Elles sont de nature :

a-nominale (à plus de deux modalités), par exemple la couleur, la variété cultivée...

b-Ordinale : c'est-à-dire celles qui permettent de classer les individus. Une variable qui prend des valeurs faibles, moyennes et fortes
Elles sont basées sur une échelle ou des indices :

Exemple d'attaque d'oidium sur les feuilles :

0.....pas de notation

1.....pas d'attaque d'oidium

2.....attaque visible mais faible

3.....attaque visible moyen

4.....attaque visible fort

5.....plante morte

c-Binaire :(nominale à deux modalités)

Par exemple les variables qui prennent les valeurs oui ou non ou présence ou absence d'un caractère.

-**Les observations quantitatives** (ce sont les paramètres mesurables),
exemple : Mesure de la longueur des tiges, poids des grains etc...

Parmi les observations quantitatives on a celles qui sont de nature :

- **continue**, par exemple le poids, le rendement, la hauteur...
- **discrète**, par exemple le nombre d'épis, le nombre d'insectes...

-On doit définir avec précision :

- les dates d'observations
- le nombre d'observations-
- la méthode d'échantillonnage

Ce ci doit être défini avant de mettre l'expérience en place.

-Prévoir les méthodes d'enregistrement : Cahier, ordinateur et éviter les transcriptions successives (éviter de transcrire plusieurs fois)

- **2-Les observations accessoires** : Qui sont nécessaires pour les interprétations. On doit décrire les conditions de l'environnement : Date de semis, traitements phytosanitaires, les températures, les pluies etc...

-Les erreurs :

S'il y a des erreurs on aura des coefficients de variation élevés et on n'aura pas les résultats recherchés.

On a différents types d'erreurs :

- Erreurs de mesure :

Exemples : -Récolte du blé : Le taux d'humidité varie au cours de la journée, pour éviter l'erreur il faut travailler avec le poids sec.

-Le poids de l'animal varie selon son alimentation, donc doit être pesé à jeun pour éviter les erreurs.

b- Erreurs systématiques : liées à l'observateur

c-Erreurs d'échantillonnage

-Remplacement des données manquantes par des données voisines

- Remplacement des échantillons difficiles par des échantillons faciles

Représentativité des observations :

Elle est essentielle et l'échantillonnage doit être homogène. Exemple pour des mesures sur des animaux, ils doivent être du même poids, même âge et même sexe.

II-6- Le choix du dispositif expérimental :

Le choix du dispositif expérimental se fait en fonction de l'objectif projeté, de la structure et du nombre de facteurs à étudier et des conditions ou contraintes expérimentales.

Un dispositif expérimental est un ensemble des parcelles (ou unités expérimentales) dont la répartition particulière et caractéristique permet d'étudier un ou plusieurs facteurs.

Le dispositif expérimental doit assurer que les suppositions nécessaires à l'analyse statistique sont réalisées et permettre une bonne précision des résultats, en spécifiant la manière d'affecter les traitements aux unités expérimentales.

L'objectif du dispositif expérimental est d'obtenir un essai d'une puissance maximale, d'une interprétation simple et permettant raisonnablement d'attribuer la causalité des phénomènes observés

Le choix d'un dispositif expérimental est fonction de trois critères ; le nombre de facteurs étudiés, le nombre de gradients d'hétérogénéité (potentiels ou réels) et les contraintes liées à l'expérimentation (mise en place, conduite, observations...). Sur la base de ces trois critères nous avons :

1 facteur étudié + aucun gradient d'hétérogénéité = dispositif en randomisation totale

1 facteur étudié + 1 gradient d'hétérogénéité = dispositif en blocs aléatoires complets.

1 facteur étudié + 2 gradients d'hétérogénéités = dispositif en carré latin.

2 facteurs étudiés + 1 gradient d'hétérogénéité = dispositif en factoriel bloc.

2 facteurs étudiés + 1 gradient d'hétérogénéité + 1 contrainte expérimentale = dispositif en split-plot

2 facteurs étudiés + 1 gradient d'hétérogénéité + des contraintes expérimentales = dispositif en criss-cross.

Dans ce qui suit nous allons développer les dispositifs les plus utilisés en agronomie à savoir, le dispositif en randomisation totale, le dispositif en blocs aléatoires complets, le dispositif en Carré latin et le dispositif en split plot.

Dispositifs expérimentaux

II-6-1-Dispositif en randomisation totale ou dispositif aléatoire complet :

Ce type de dispositif est utilisé pour les essais à un seul facteur et dans les terrains assez homogènes. L'affectation des traitements se fait par tirage au sort complètement aléatoire. Le même traitement peut apparaître plus d'une fois dans la même ligne et dans la même colonne. La seule condition est que le même traitement ne peut pas apparaître dans des parcelles voisines.

Exemple : Pour comparer 4 traitements T1, T2, T3 et T4 à 4 répétitions, l'essai comporte 16 parcelles.

T1	T2	T4	T3
T2	T3	T1	T4
T1	T4	T2	T1
T3	T2	T3	T4

II-6-2-Dispositifs en blocs aléatoires complets :

Ce dispositif est composé de plusieurs blocs et chaque bloc est constitué de plusieurs parcelles. Il est appliqué dans le cas d'essai à un facteur dans des terrains hétérogènes avec la présence d'un gradient de fertilité (pente, cours d'eau, drains, brises vents etc...). Les blocs doivent être allongés perpendiculairement au sens du gradient et les parcelles dans le même sens de ce même gradient de fertilité. Chaque bloc doit comporter l'ensemble des

traitements et le même traitement peut apparaître plus d'une fois dans la même colonne MAIS ne peut pas apparaître deux fois dans la même ligne.

Exemple : Pour un essai sur 1 facteurs à 4 niveaux et 4 répétitions nous avons 4 blocs et dans chaque bloc, les différents traitements sont affectés par tirage au sort sur un nombre total des parcelles = 4.

Bloc1	T1	T2	T4	T3
Bloc2	T2	T3	T1	T4
Bloc3	T1	T4	T2	T3
Bloc4	T4	T1	T3	T2



Gradient de fertilité ou d'hétérogénéité

Le bloc aléatoire complet peut être d'un seul tenant ou séparé suivant les conditions du terrain.

	T1	T2	T4	T3
Bloc1				
	T2	T3	T1	T4
Bloc2				
	T1	T4	T2	T3
Bloc3				
	T4	T1	T3	T2
Bloc4				



Gradient de fertilité ou d'hétérogénéité

II-6-3-Dispositif en Carré latin :

Ce dispositif à un seul facteur est recommandé lorsqu'un terrain est très hétérogène, soit un gradient de fertilité est présent dans deux direction perpendiculaires. C'est un Carré où existent autant de répétitions que de traitements et autant de lignes que de colonnes comporte plusieurs blocs. Le même traitement figure une seule fois dans chaque colonne et dans chaque ligne.

Exemple : Pour un essai sur 1 facteurs à 4 niveaux et 4 répétitions nous avons le carré suivant de 16 parcelles, les différents traitements sont affectés par tirage au sort sur un nombre total des parcelles = 4.

4 blocs en lignes

Gradient de fertilité ou d'hétérogénéité

T1	T2	T4	T3
T2	T3	T1	T4
T3	T4	T2	T1
T4	T1	T3	T2



Gradient de fertilité ou d'hétérogénéité

4 blocs en colonnes

II-6-4-Dispositif en Split-plot :

C'est un dispositif en parcelles subdivisées qui s'applique dans le cas d'une expérience comportant deux facteurs. Un Split plot se réalise de la manière suivante :

- Déterminer le facteur principal et le facteur secondaire ;
- Constituer un plan en Blocs complets qu'on appelle « les grandes parcelles » ou « les parcelles principales ». Les modalités du facteur principal sont randomisées dans ces grandes parcelles ;
- Subdiviser les grandes parcelles en autant de petites parcelles définitives qu'il y a des modalités du facteur secondaire ;
- Randomiser les traitements du deuxième facteur par unité indépendamment du premier.

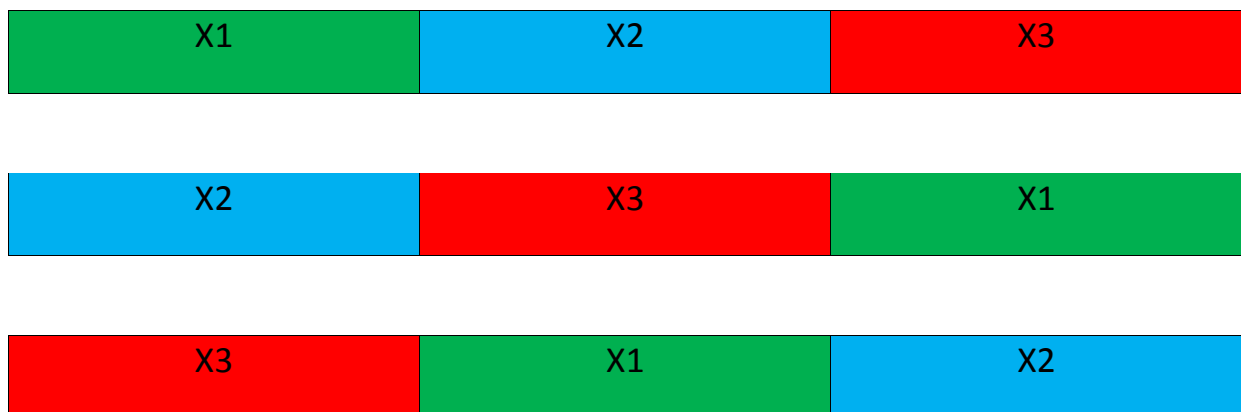
Exemple : Pour un essai portant sur 2 facteurs et 3 répétitions, soit :

X est le facteur principal avec trois modalités X1, X2, X3

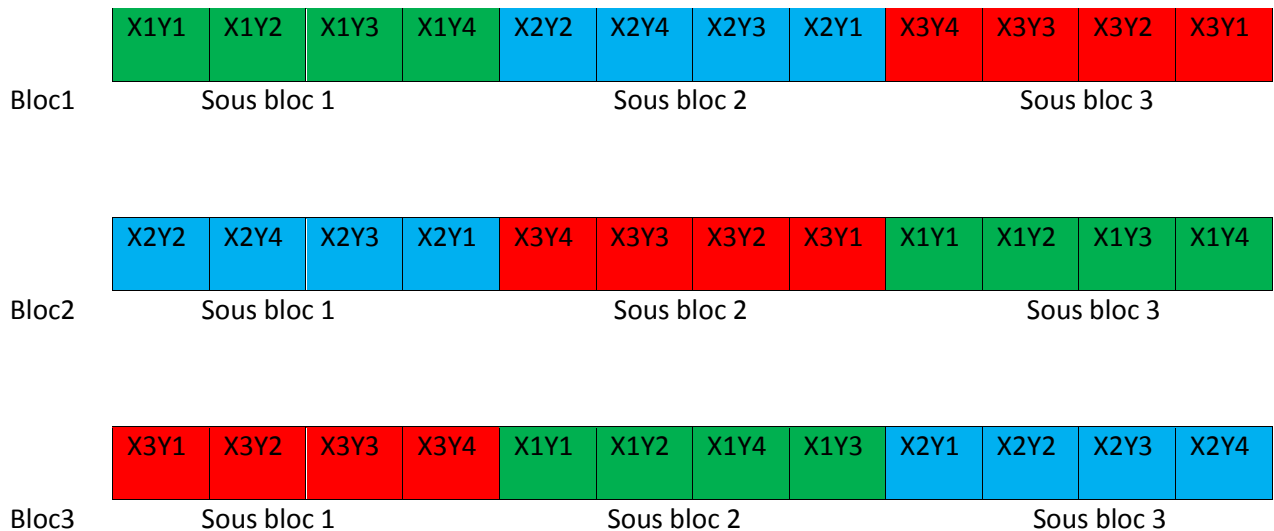
Y est le facteur secondaire avec 4 niveaux Y1, Y2, Y3, Y4

Le dispositif se réalise en deux étapes comme suit :

1/ La préparation des parcelles relatives au facteur principal (X) et l'affectation des modalités du premier facteur pour les trois répétitions par tirage au sort :



2/ La division des parcelles principales en sous parcelles et l'affectation des objets du facteur secondaire (Y) indépendamment du facteur principal par tirage au sort comme présenté ci-dessous



II-7- La détermination du nombre de répétitions :

Nous notons souvent un manque de critères objectifs dans la détermination du nombre de blocs et du nombre de sites d'un essai multilocal.

Le nombre de répétitions devrait être déterminé par la précision des résultats que l'on veut obtenir avec une certaine probabilité en fonction de l'objectif de recherche poursuivi et de la variabilité du matériel expérimental à utiliser. Nous pouvons utiliser des résultats expérimentaux antérieurs ou organiser des essais préliminaires pour avoir une idée a priori de la variabilité du matériel expérimental.

II-8- La détermination de la méthode d'analyse statistique :

Il est fort utile d'envisager, dès la planification de notre expérience, la ou les méthodes adéquates d'analyse statistique des données qui seront collectées. Les principaux facteurs susceptibles d'orienter ce choix sont l'objectif poursuivi, la nature des données à analyser et les propriétés des méthodes statistiques à utiliser.

Le protocole expérimental devrait ainsi, présenter une définition des hypothèses expérimentales à vérifier, des paramètres à estimer, des méthodes statistiques qui seront utilisées et une brève description des tableaux de résultats qui seront obtenus.

Ces divers éléments passés en revue constituent les principaux éléments du protocole expérimental.