

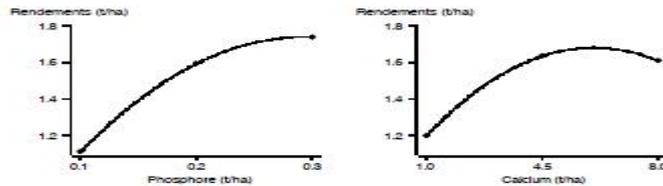
Plan expérimentaux

16	2	7	9	8	10	6	4
15	13	14	1	3	11	5	12
14	10	12	3	5	9	1	16
4	15	7	8	13	11	2	6
7	2	10	5	15	6	11	9
12	1	14	4	8	13	16	3

Planification



Réalisation



Interprétation

Sources de variation	Degrés de liberté	S. des carrés des écarts	Carrés moyens	F	P
Phosphore	2	6,2949	3,1474	39,9 ***	0,0000
Régression linéaire	1	5,7348	5,7348	72,8 ***	0,0000
Régression quadrat.	1	0,5601	0,5601	7,11 *	0,018
Calcium	2	3,5022	1,7511	22,2 ***	0,0000
Régression linéaire	1	2,4494	2,4494	31,1 ***	0,0001
Régression quadrat.	1	1,0528	1,0528	13,4 **	0,0023
Interaction	4	0,1525	0,0381	0,48	0,75
Blocs	2	1,9191	0,9596		
Variation résiduelle	15	1,1820	0,0788		
Totaux	25	13,0507			

Analyse

Introduction

Observation et expérimentation:

L'observation et l'expérimentation sont deux outils essentiels de l'avancement des sciences.

L'**observation** permet d'acquérir une **première connaissance des phénomènes** de la nature, au sens le plus large, et d'en **déduire éventuellement des hypothèses**, qui doivent ensuite être vérifiées et précisées.

Dans certaines disciplines, telles l'économie, la météorologie et les sciences de la Terre, il n'est pas possible de provoquer la réalisation des phénomènes auxquels on s'intéresse. La vérification des hypothèses émises ne peut alors se faire que par une observation structurée, dans le temps ou dans l'espace, ou par enquête.

Dans d'autres disciplines où, au contraire, les phénomènes étudiés peuvent être provoqués assez facilement, telles la biologie, la chimie et la physique, le contrôle des hypothèses se fait habituellement par l'expérience ou l'expérimentation.

En effet, **l'expérience** (ou l'essai) a précisément pour but **d'éprouver tout élément qui peut conduire à un enrichissement des connaissances**, et l'expérimentation peut être considérée comme étant l'emploi systématique et raisonné de l'expérience scientifique.

Le cycle permanent « hypothèse à tester – expérience – hypothèse nouvelle », passant par la planification des expériences, leur réalisation, l'analyse des données collectées et l'interprétation des résultats, constitue la pierre angulaire de la méthode expérimentale.

Protocole expérimental:

Dans la mesure où l'expérience a pour but de provoquer un phénomène et, ensuite, d'en observer la réalisation dans des conditions bien définies, il est normal qu'elle soit, avant toute chose, l'objet d'une planification très stricte.

Cette planification doit conduire à la mise au point d'un plan d'expérience ou d'un protocole expérimental

les différents éléments de base d'un protocole expérimental sont :

1. La définition du ou des **but**s et des **conditions** de réalisation de l'expérience (expérience en laboratoire ou en champ par exemple).
2. La définition du ou des **facteurs** (température, pression, etc.) dont on désire étudier l'influence, de ses ou de leurs modalités et des combinaisons de ces modalités, auxquelles nous associerons les notions de traitement ou d'objet et de plan ou de structure des traitements ou objets.
3. La définition des **individus** ou, d'une manière plus générale, des **unités expérimentales** qu'on se propose d'observer (telles que des patients, des animaux ou des plantes, des pièces de bois ou de métal, etc.)

4. La définition des **observations** (rendements par exemple) qui devront être réalisées et des modalités de collecte de ces observations
5. La manière dont les différentes modalités ou combinaisons de modalités du ou des facteurs devront être affectées aux différentes unités expérimentales et la répartition des unes et des autres dans l'espace ou dans le temps, ce qui constitue le **dispositif expérimental**.
6. Des informations générales relatives à **l'analyse des résultats** (telles qu'un schéma d'analyse de la variance et/ou la formulation d'une ou plusieurs équations de régression, y compris la spécification précise du ou des modèles envisagés).

But et conditions de l'expérience

Définition du but de l'expérience:

1. Expérience à objectif unique:

la définition d'un objectif précis nécessite un minimum de connaissances préalables des phénomènes étudiés.

Ces connaissances peuvent être acquises par une étude bibliographique et critique, conduisant à une synthèse et à des conclusions, exprimées par exemple sous la forme d'hypothèses à vérifier ou de questions auxquelles des réponses doivent être apportées. Ces connaissances préalables peuvent également être élargies par des expériences ou des observations préliminaires.

Exemple: comparer par une nouvelle substance ou molécule à un témoin ou placebo, en vue d'établir l'efficacité éventuelle de la nouvelle substance.

2. Expérience à objectifs multiples:

Le plus souvent, cependant, les expériences poursuivent simultanément plusieurs objectifs.

On peut notamment avoir pour but d'étudier deux ou plusieurs variables différentes relatives à une même série d'individus (rendement en racines, richesse saccharine et production de sucre de différentes variétés de betterave sucrière, par exemple). Mais on peut également se proposer d'effectuer, en plus des mesures de base (de croissance ou de rendement, par exemple), des observations complémentaires relatives au déroulement de l'expérience (précocité de la croissance ou développement de certaines maladies, par exemple).

Définition des conditions de l'expérience

1. Importance ou ampleur de l'expérience

Un même objectif ou au moins des objectifs fort semblables peuvent être poursuivis dans le cadre d'expériences réalisées dans des conditions très différentes, qui doivent être précisées dès le départ. Ces conditions peuvent être liées notamment à l'importance ou à l'ampleur qui est donnée aux expériences.

Ex: En matière agronomique: expériences en station et expériences hors station.

En station : expérience organisée de façon très stricte, au sein d'une station de recherche, d'un laboratoire ou milieu qui étroitement surveillé (chambres de culture ou serres). Matériel plus homogène, petites unités expérimentales.

Hors station: expérience organisée dans un cadre moins bien contrôlé plus proche de la pratique (chez des agriculteurs ou en forêt). Matériel plus hétérogène, unités expérimentales plus grandes et variabilité plus importante.

Les facteurs et les traitements ou objets

La notion de facteur:

On appelle facteur toute série d'éléments de même nature qui peuvent être comparés au cours d'une expérience, tels qu'une série de variétés, un ensemble de produits phytosanitaires, différentes doses d'un même engrais, différentes températures, différentes pressions, etc.

les facteurs peuvent être divisés en **facteurs qualitatifs**, dont les différents éléments ne peuvent pas être classés a priori (variétés, produits phytosanitaires, etc.), et en **facteurs quantitatifs**, dont les éléments se classent au contraire de façon logique a priori (différentes doses d'un même engrais, différentes températures, différentes pressions, etc.)

Variantes, niveaux, modalités:

Les différents éléments individuels qui sont associés à chacun des facteurs sont appelés variantes, niveaux ou modalités

Le terme « **variante** » convient mieux dans le cas des facteurs **qualitatifs** (différentes variétés par exemple),

le terme « **niveau** » dans le cas des facteurs **quantitatifs** (différentes températures par exemple),

tandis que le terme « **modalités** » s'adapte aux **deux situations**.

Facteurs contrôlés et non contrôlés, facteurs constants

Les facteurs qui sont effectivement étudiés au cours d'une expérience sont aussi appelés **facteurs contrôlés** ou **maîtrisés**.

Ils s'opposent aux facteurs **non contrôlés** ou **non maîtrisés**, sur lesquels il n'est pas ou il est difficilement possible d'agir et qui sont la source de variations résiduelles, fréquemment considérées comme aléatoires (ex: conditions météorologiques).

Très souvent, certains facteurs qui pourraient être facilement maîtrisés sont maintenus constants, dans le but de ne pas augmenter de façon excessive le nombre de sources de variation prises en considération simultanément. Ces facteurs sont dits **constants**.

Les unités expérimentales

L'unité expérimentale est l'élément de base de l'expérience, qui est considéré individuellement durant tout le processus expérimental.

Chacune des unités est notamment soumise au départ à un objet ou un traitement particulier et conduit à une ou plusieurs observations en fin d'expérience, quand ce n'est pas déjà au début ou au cours de l'expérience.

Ex: une parcelle, un groupe d'animaux, un patient...

Les observations

1. Observations principales:

Les observations qui sont faites au terme de l'expérience et qui sont directement liées à son ou à ses objectifs sont généralement considérées comme étant les **observations principales**. Ces observations peuvent être relatives à une ou à plusieurs variables ou caractéristiques.

Ex: poids, hauteurs, teneurs en éléments...

2. Observations initiales:

Des observations préliminaires ou **initiales** peuvent aussi être réalisées avant ou au début de l'expérience. Ces observations sont essentiellement destinées à pouvoir disposer d'un certain nombre d'informations relatives aux différentes unités expérimentales avant tout traitement.

Dans le domaine médical, ces observations définissent ce qui est souvent appelé la **ligne de base** de l'expérience

Ex: poids initial des animaux.

3. Observations et analyses intermédiaires:

Dans certains cas, des observations **intermédiaires** ou **intérimaires** sont également réalisées à un ou à plusieurs moments différents, durant l'expérience. Il peut s'agir de variables ou de caractéristiques différentes de celles qui doivent être observées au terme de l'expérience.

Ex: germination, croissance et différents stades du développement des plantes.

4. Autres observations:

Observations relatives aux conditions dans lesquelles l'expérience se déroule (**observations de contrôle**).

Ex: Température, Humidité.

Nature des observations:

Distinction entre données **quantitatives** et données **qualitatives**

Les données **quantitatives** peuvent être subdivisées en **mesures** ou **mensurations**, de type **continu**, et **dénombrements** ou **comptages**, de type **discontinu**.

Les données **qualitatives**, en données **binaires** (ex: présence ou absence d'un certain symptôme), données **ordinales**, constituées de différents niveaux logiquement ordonnées d'un même caractère (ex: différents degrés d'attaque d'un même parasite), et données **nominales**, constituées de différents états d'un même caractère non susceptibles d'être logiquement ordonnés (ex: différentes couleurs non ordonnées).

Enregistrement des observations

Enregistrement de façon visuelle et au moins partiellement manuelle, ou de manière automatique.

Echantillonnage

Dans certains cas, les observations ne portent pas sur la totalité de chacune des unités expérimentales, mais bien sur certains sous-ensembles.

Le processus d'échantillonnage qui intervient dans un tel cas doit être clairement défini dans le protocole expérimental, et ce processus doit évidemment être scrupuleusement respecté au cours de l'expérience.

Les expériences complètement aléatoires

Une première manière de se prémunir contre d'éventuelles fluctuations des facteurs non contrôlés, dans l'espace et/ou dans le temps, est de procéder à une affectation complètement **aléatoire** des différents objets aux différentes unités expérimentales. Cette opération de répartition « **au hasard** » est appelée **randomisation**.

Les dispositifs expérimentaux conçus de cette manière sont dits aléatoires ou complètement aléatoires, ou encore randomisés ou complètement randomisés

Exemples d'expériences complètement aléatoires.

4	1	5	2	4	3	4	4
3	5	2	6	2	7	4	8
1	9	5	10	5	11	3	12
1	13	2	14	2	15	3	16
3	17	1	18	5	19	1	20

Cette figure illustre ce que peut être une expérience en champ qui comporterait cinq objets, numérotés de 1 à 5 , et quatre répétitions de chacun des objets. Les numéros des objets sont indiqués au centre des parcelles, de forme rectangulaire, et les numéros des parcelles dans leur coin inférieur droit. L'objet 1 est ainsi affecté aux parcelles 9 , 13 , 18 et 20 , etc.

La répartition aléatoire ou (au hasard) des objets peut être réalisée à l'aide de tables de nombres aléatoires ou de permutations aléatoires

La méthode d'analyse des résultats qui est associée le plus couramment au dispositif expérimental complètement aléatoire est l'analyse de la variance

L'analyse de la variance peut être remplacée par certaines méthodes non paramétriques, dont le test de Kruskal et Wallis, notamment dans le cas de données ordinales ou codées sous forme de rangs, et par les méthodes d'analyse des tableaux de contingence, dont le test *chi*² d'indépendance, dans le cas de données qualitatives.

Avantages et inconvénients

Si le dispositif expérimental complètement aléatoire a l'avantage d'être à première vue très simple, il n'est cependant pas sans inconvénients. Il faut noter tout d'abord qu'il peut conduire à certaines anomalies, parfois importantes.

Ainsi, dans l'exemple de la figure , on peut observer que, par le jeu de la répartition complètement aléatoire, l'objet 4 est largement concentré dans le coin supérieur droit du champ d'expérience (parcelles 3 , 4 et 8), tandis que l'objet 1 est concentré, dans une moindre mesure cependant, dans la partie inférieure gauche du dispositif (parcelles 9 , 13 et 18).



De telles situations peuvent porter à conséquence quand le matériel expérimental, au sens large, est caractérisé par des variations non contrôlées importantes ou systématiques.

Ces évolutions progressives, dans le **temps** ou dans l'**espace**, sont souvent appelées **dérive** ou **gradient** ou **tendance systématique**.

Les expériences en blocs aléatoires complets

Notion de bloc aléatoire complet

Dans le cas des expériences en champ, au sens large (champ, verger, forêt, etc.), on entend classiquement par bloc un ensemble de parcelles voisines et très semblables les unes aux autres, quant aux conditions de croissance et de développement de la végétation. Ces blocs sont dits complets quand tous les objets mis en expérience sont présents dans chacun d'eux, le nombre de parcelles par bloc étant au moins égal au nombre d'objets.

Forme des blocs

La forme des blocs doit toujours être définie en même temps que la forme des parcelles, de manière à garantir une similitude aussi grande que possible des conditions de croissance et de développement à l'intérieur de chacun des blocs, ce qui correspond aussi, pour un champ d'expérience donné, à une hétérogénéité maximum entre blocs.

3	4	4	6
6	3	5	3
1	5	2	1
2	1	7	5
7	7	3	2
4	2	1	4
5	6	6	7
Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4

Gradient 

Exemple de forme et d'orientation des parcelles et des blocs en présence d'un gradient (de fertilité ou de toute autre nature).



Le principe des blocs aléatoires complets, qui est particulièrement facile à exposer dans le cas des expériences en champ, peut être étendu à de nombreuses autres situations. L'objectif est toujours de constituer des groupes d'unités expérimentales aussi semblables que possible les unes aux autres, de manière à réduire, au sein des blocs, l'hétérogénéité des conditions expérimentales.

En arboriculture fruitière par exemple, les blocs peuvent être formés d'arbres de configuration semblable (mêmes dimensions et mêmes dispositions des branches notamment), sans que ces arbres soient nécessairement voisins les uns des autres.

En matière de productions animales, les blocs peuvent être des groupes d'animaux de même race, de même sexe, de même âge et de même poids, ou des groupes d'animaux de même père, de même sexe et de même âge (demi-frères ou demi-sœurs)

Analyse des résultats

1. Un facteur

L'interprétation statistique des résultats qui est la plus courante est basée sur l'analyse de la variance à deux critères de classification. Le facteur subsidiaire vient en effet s'ajouter au facteur principal envisagé initialement.

L'analyse de la variance peut céder la place à d'autres méthodes, de type non paramétrique, d'étude de tables de contingence, de régression, etc.

2. Deux ou plusieurs facteurs

L'analyse de la variance est aussi la méthode d'analyse qui est la plus utilisée (analyse multivariée).

Avantages

Les expériences en blocs aléatoires complets présentent de multiples avantages. Elles sont en premier lieu souvent aussi simples, voire même plus simples à organiser que les expériences complètement aléatoires.

Elles peuvent en outre être réalisées pour n'importe quel nombre d'objets et n'importe quel nombre de répétitions

Les expériences en blocs aléatoires complets possèdent également l'avantage de conserver toutes leurs propriétés quand, pour quelque raison que ce soit, un ou plusieurs objets ou un ou plusieurs blocs doivent être éliminés, par exemple au moment de la réalisation des observations ou lors de l'analyse des résultats.



Ces expériences sont en général plus efficaces que les expériences complètement aléatoires. Pour un même matériel expérimental, la précision ou la puissance des comparaisons est plus élevée, ou inversement, pour une même précision ou une même puissance, le matériel expérimental peut être plus réduit.