FORMATIONS AUX STATISTIQUES : MANUEL DU FORMATEUR DE NIVEAU 1

Janvier 1991

SCÉNARIO 2

Planification expérimentale

INRA

DOCUMENTS "STAGIAIRE"

DÉPARTEMENT DE BIOMÉTRIE

formation permanente

Scénario 2

PLANIFICATION EXPERIMENTALE

1 Présentation générale

1.1 Objectifs :

Mettre en œuvre la stratégie choisie pour le recueil des données.

- Citer quelques plans d'expérience classique
- Répartir les traitements sur les unités expérimentales selon un plan d'expérience donné.
- Expliquer l'importance des répétitions dans les préélèvements d'échantillons.

1.2 Les étapes

1. Rappel du vocabulaire de base (scénario 1)
2. Nécessité des répétitions. Où l'on s'aperçoit que pour comparer deux traitements. il faut avoir une idée de la variabilité de la mesure.
3. Introduction d'un facteur Blocs pour tenir compte de l'hétérogénéité des unités expérimentales.
4. Randomisation : on explique l'intérêt de ce tirage au hasard; on en réalise un avec différents moyens.
5. Evaluation collective de l'acquisition de la notion de bloc par discussion sur des exemples de stagiaires (fin de la première séance)
6. Dispositif en carré latin. On envisage de s'accomoder de deux facteurs de variations parasites.
7. Evaluation collective : facteur bloc et dispositif en carré latin
8. Facteur obtenu par croisement de deux autres : pour étudier les effets croisés de deux facteurs d'intérêt.
9. Dispositif en parcelles divisées (split-plot)
10. Dispositif en blocs incomplets
11. Evaluation individuelle sur questionnaire QCM anonyme dépouillé collectivement

1.3 Matériel

Tableau noir, blanc plutôt que papier (trop petit)
Projecteur de transparents
Feutre à transparent lavable (pour réutilisation ultérieure)
Chapeau ou sac, petits cartons, avec des numéros ou balles numérotées
Dés : quelques dés à 10 faces, sinon à 6 faces
11 transparents, 2 ou 3 transparents vierges.

1.4 La forme

Interactive : le formateur introduit un problème, pose une question. On attend la réponse des stagiaires. Néanmoins le scénario se parcout de façon linéaire et ne permet pas de s'orienter en fonction de questions éventuelles.

1.5 Durée

Deux séances de 3 heures.

1.6 Prérequis

Le vocabulaire du scénario 1.
Avoir participé à la mise en place d'une expérience, ou à la récolte de données expérimentales.

1.7 Evaluation

Deux étapes d'évaluation collective orale pour

- La notion de bloc : étape 5
- La notion de bloc, de plusieurs facteurs parasites : étape 7

Une étape finale d'évaluation individuelle par questionnaire QCM.

TABLE DE NOMBRES AU HASARD

Pour tirer des nombres au hasard, à l'aide de cette table, il faut choisir, par un moyen quelconque, un point de départ, c'est-à-dire une ligne et une colonne, et prélever les chiffres au fur et à mesure de leur rencontre, dans un sens fixé à l'avance.

Exemple :

Si l'on veut tirer au hasard 5 objets dans une liste de 100, numérotés de 0 à 99, on commence par choisir :

- un point de départ : 15e ligne, 41e colonne par exemple,
- un sens de lecture : de gauche à droite (on peut aussi lire de droite à gauche, de haut en bas ...)

On obtient 56626 77422 ...

Si on prend des nombres de deux chiffres, on va donc prélever les objets numérotés 56, 62, 67, 74 et 22.

NOMBRES AU HASARD

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	13407	62899	78937	90525	25033	56358	78902	47008	72488	57949
	50230	63237	94083	93634	71652	02656	57532	60307	91619	48916
	84980	62458	09703	78397	66179	46982	67619	39254	90763	74056
	22116	33646	17545	31321	65772	86506	09811	82848	92211	51178
5	68645	15068	56898	87021	40115	27524	42221	88293	67592	06430
	26518	39122	96561	56004	50260	68648	85596	83979	09041	62350
	36493	41666	27871	71329	69212	57932	65281	57233	07732	58439
	77402	12994	59892	85581	70823	53338	34405	67080	16568	00854
	83679	97154	40341	84741	08967	73287	94952	59008	95774	44927
10	71802	39356	02981	89107	79788	51330	37129	31898	34011	43304
	57494	72484	22676	44311	15356	05348	03582	66183	68392	86844
	73364	38416	93128	10297	11419	82937	84389	88273	96010	09843
	14499	83955	75403	18002	45068	54257	18085	92625	60911	39137
	40747	03084	07734	88940	88722	85717	73810	79866	84853	68647
15	42237	59122	92855	62097	81276	06318	81607	00565	56626	77422
	32934	60227	58707	44858	36081	79981	01291	68707	45427	82145
	05764	14284	73059	80830	17231	42936	48472	18782	51646	37564
	32706	94879	93183	66049	25988	46656	35365	13800	83745	40141
	22190	27559	95668	53261	21676	98943	43618	42110	93402	93997
20	81616	15641	94921	95970	63506	22007	29966	38144	62555	07864
	26099	65801	69870	84446	58248	21262	56938	54729	67757	68412
	71874	61692	80001	21430	02305	59741	34262	15157	27545	14522
	08774	29589	42245	51903	69179	96682	91819	60812	47631	50609
	37294	92028	56850	83380	05912	29830	37612	15593	73193	99287
25	33912	37996	78967	57201	66916	73998	54289	07147	84313	51938
	63610	61475	26980	23804	54972	72068	19403	53756	04281	98022
	01570	41701	30282	54647	06077	29354	95704	75928	21811	88274
	24159	77787	38973	82178	46802	90245	01805	23906	96559	06785
	92834	52941	88301	22127	23459	40229	74678	21859	98645	72388
30	16178	60063	59284	16279	48003	44634	08623	32752	40472	05470
	81808	32980	80660	98391	62243	19678	39551	18398	36918	43543
	28628	82072	04854	52809	86608	68017	11120	28638	72850	03650
	62249	65757	12273	91261	96983	15082	83851	77682	81728	52157
	84541	99891	01585	96711	29712	02877	70955	59693	26838	96011
35	89052	39061	99811	69831	47234	93263	47386	17462	18874	74210

TABLES

1. Permutations aléatoires des nombres de 1 à 10

2	7	4	10	8	6	5	9	1	3
3	4	6	5	8	2	9	1	10	7
6	5	10	9	4	1	7	2	3	8
2	6	5	8	3	9	4	10	1	7
6	9	10	2	4	3	5	1	8	7
3	10	1	9	7	4	6	2	5	8
7	5	9	6	3	4	2	10	8	1
1	5	2	4	3	6	7	8	9	10
7	1	5	9	2	8	4	10	6	3
2	5	1	9	4	6	3	8	10	7
1	9	4	3	6	7	5	2	10	8
5	6	8	3	7	1	2	4	9	10
2	5	8	6	9	1	4	7	3	10
9	1	8	6	2	7	3	4	10	5
2	3	5	10	8	9	4	1	7	6
1	5	10	6	3	9	8	4	2	7
8	5	10	1	3	2	9	7	6	4
9	2	5	1	4	8	10	3	7	6
1	3	4	5	10	6	9	2	7	8
1	7	10	5	6	8	9	2	4	3
6	3	8	4	7	2	5	10	1	9
10	8	6	9	1	3	7	5	4	2
10	5	8	9	1	4	6	2	3	7
2	9	8	3	10	5	4	7	1	6
5	9	10	7	3	6	2	8	4	1
9	6	3	10	1	7	5	8	4	2
4	9	10	5	7	6	3	1	2	8
2	4	7	1	8	10	3	6	9	5
6	9	7	4	1	5	10	2	3	8
1	5	9	7	8	4	3	6	2	10

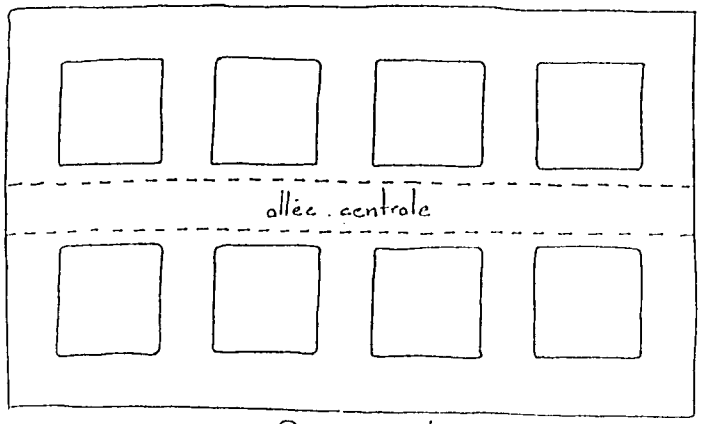
1	9	3	10	6	4	7	8	5	2
10	5	7	9	1	3	2	8	4	6
3	8	6	10	5	7	4	1	2	9
10	1	4	2	6	7	3	5	8	9
7	9	3	6	8	1	5	2	10	4
5	10	3	4	2	9	8	7	1	6
7	8	10	6	1	4	2	9	3	5
4	1	3	8	10	2	7	6	9	5
3	10	4	8	7	5	2	9	6	1
8	3	7	10	6	1	5	2	9	4
1	6	2	4	8	5	10	3	9	7
6	4	3	8	7	5	1	9	10	2
3	10	5	7	2	6	8	1	4	9
5	4	10	8	3	6	1	2	7	9
8	5	3	1	10	4	2	7	6	9
2	5	9	8	4	7	3	1	6	10
2	9	6	8	4	7	10	3	5	1
9	7	1	5	3	2	4	10	8	6
4	5	1	3	10	9	6	2	7	8
7	8	10	5	3	1	2	9	4	6
10	9	1	5	7	3	4	2	6	8
10	2	6	3	4	9	1	5	8	7
10	3	5	9	7	4	1	6	2	8
3	4	1	8	2	7	5	6	10	9
1	10	7	5	4	8	3	6	9	2
10	5	6	3	9	8	2	7	4	1
3	6	10	1	2	7	4	8	5	9
4	3	5	1	10	7	2	9	8	6
8	4	5	2	10	7	3	1	9	6
6	3	1	9	8	5	10	2	4	7

2. Permutations aléatoires des nombres de 1 à 20

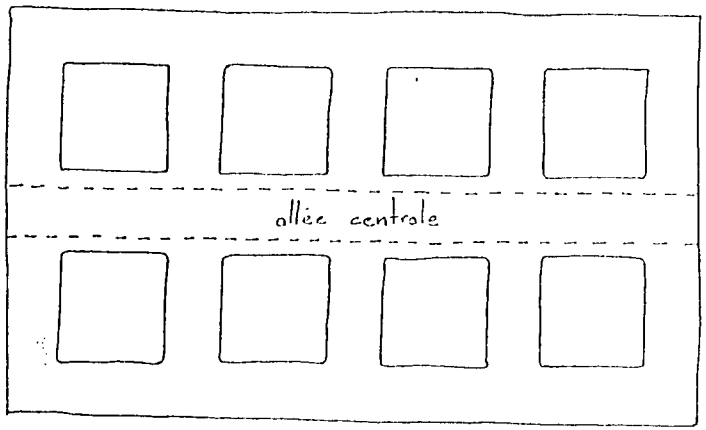
13	1	15	18	14	7	5	8	19	3
2	10	4	16	11	6	20	9	12	17
13	20	18	9	6	15	7	14	17	12
16	5	4	1	8	3	10	2	19	11
1	11	4	18	12	6	8	5	14	17
7	2	15	13	10	9	3	16	20	19
7	18	3	2	1	16	15	6	4	11
12	20	9	13	8	10	17	5	19	14
4	16	14	3	17	8	11	19	1	18
2	10	13	9	5	12	20	6	7	15
15	11	19	12	7	2	20	3	9	17
5	8	13	4	6	16	18	10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

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

Plan des unités expérimentales disponibles pour l'essai *Ficus*

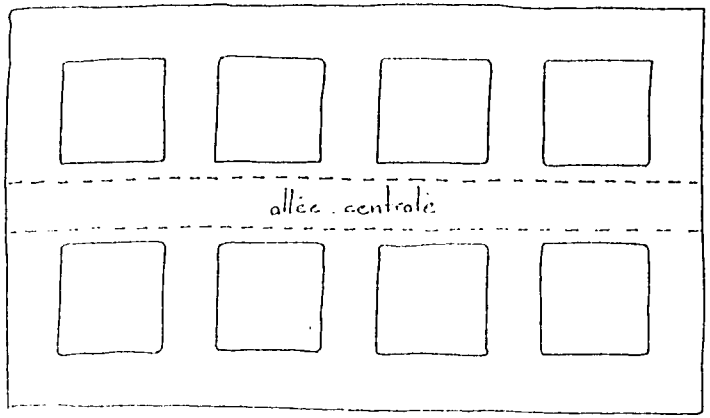


Serre n° 1

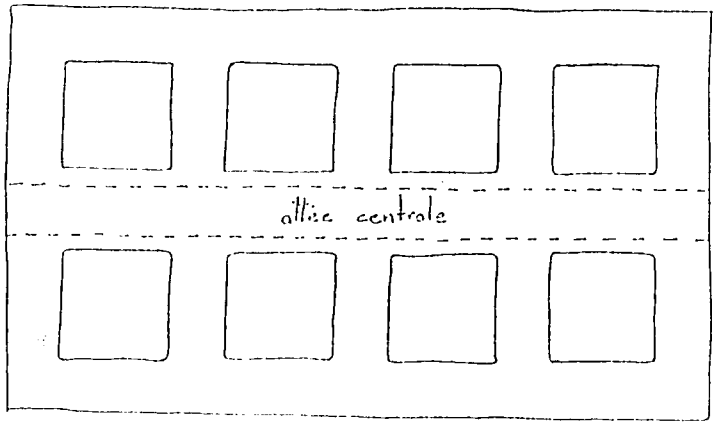


Serre n° 2

Plan des unités expérimentales disponibles pour l'essai *Ficus*



Serre n° 1



Serre n° 2

stagiaire 5 scénario 2 Dispositif Statistique

Schéma du champ et des 20 parcelles disponibles pour l'essai
Pomme de terre (exemple 2)

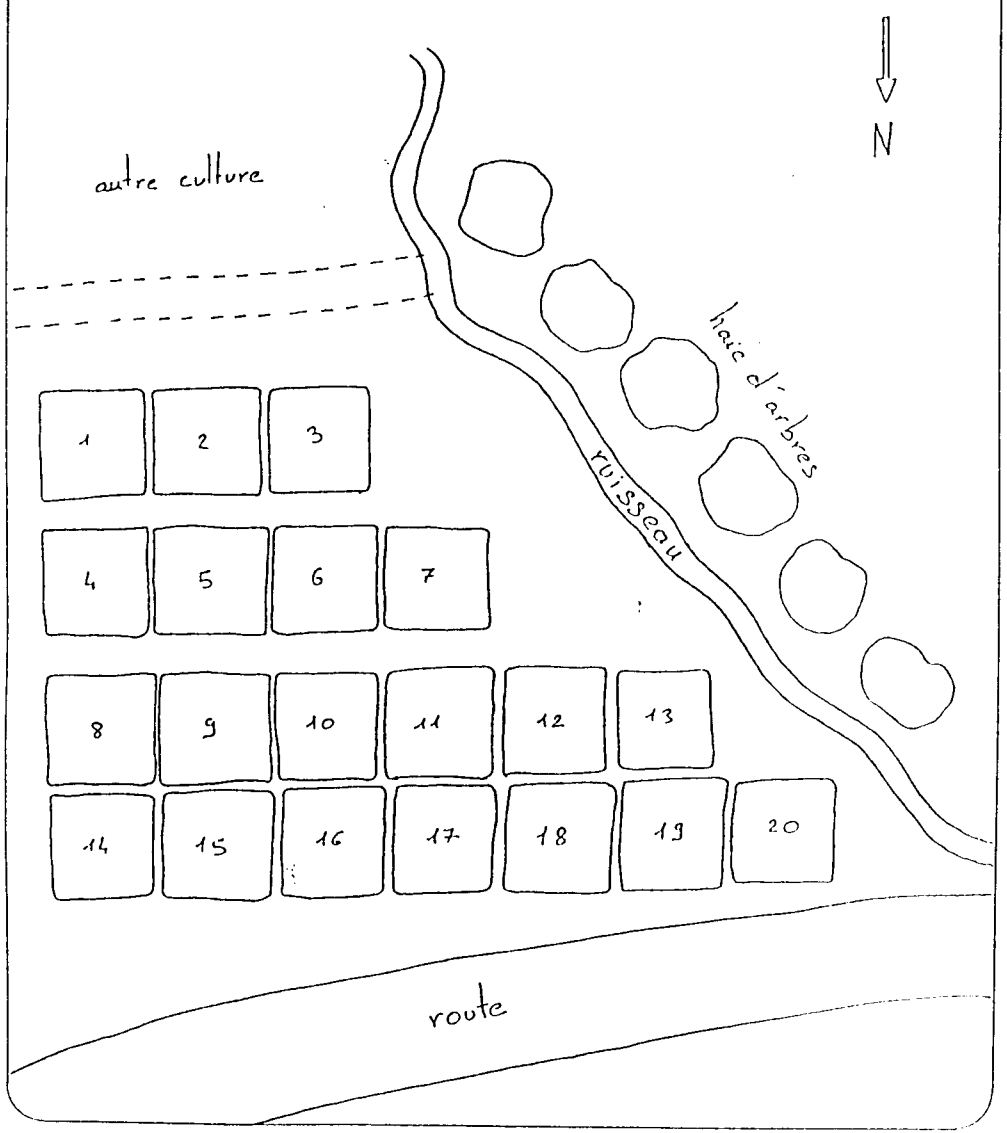
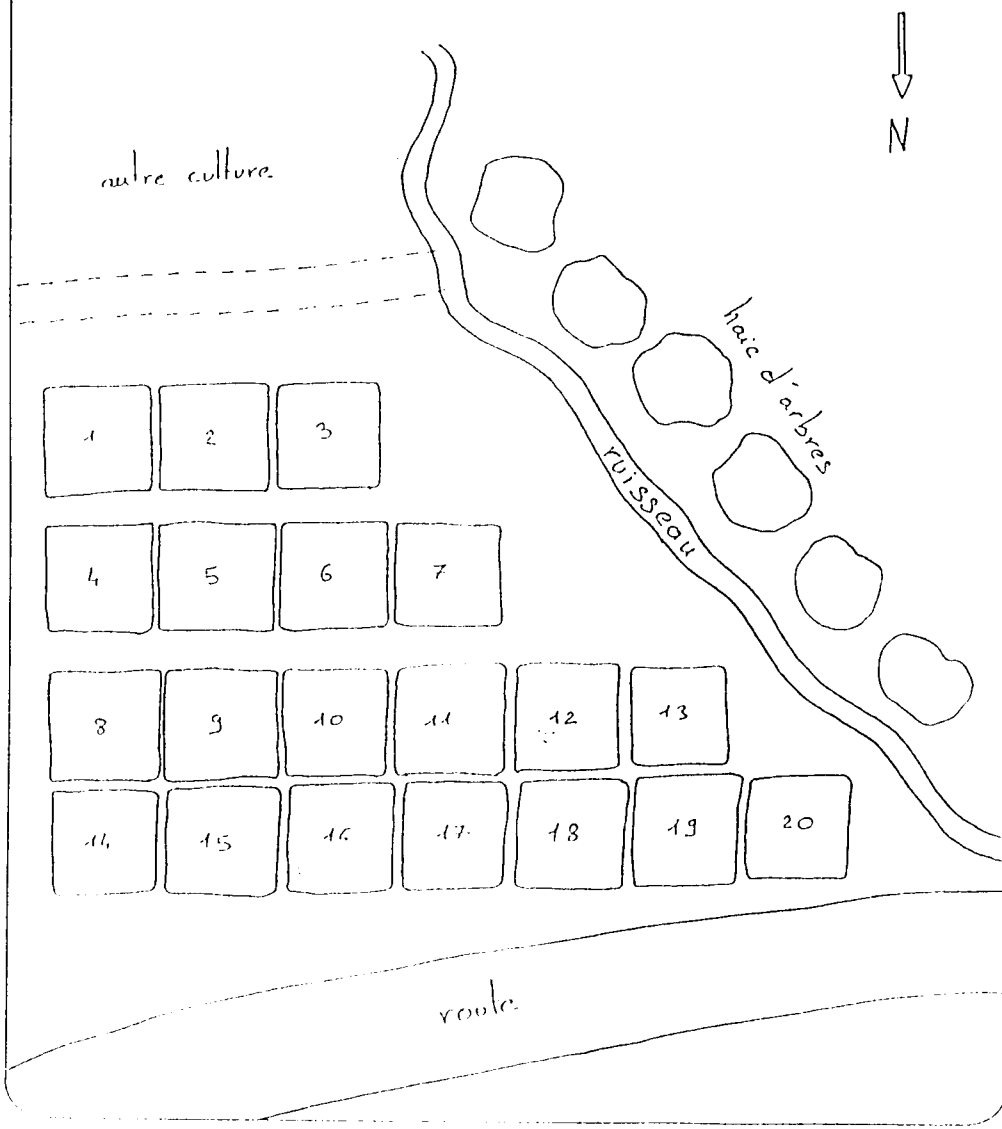
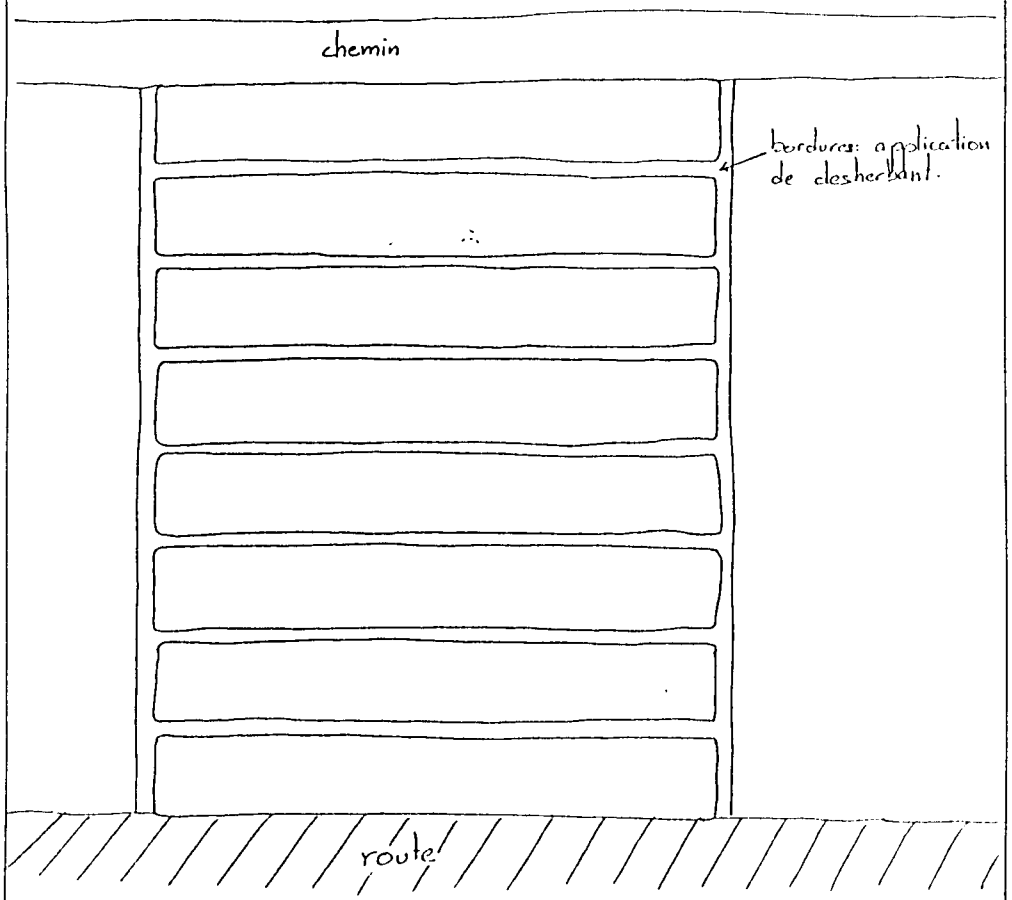


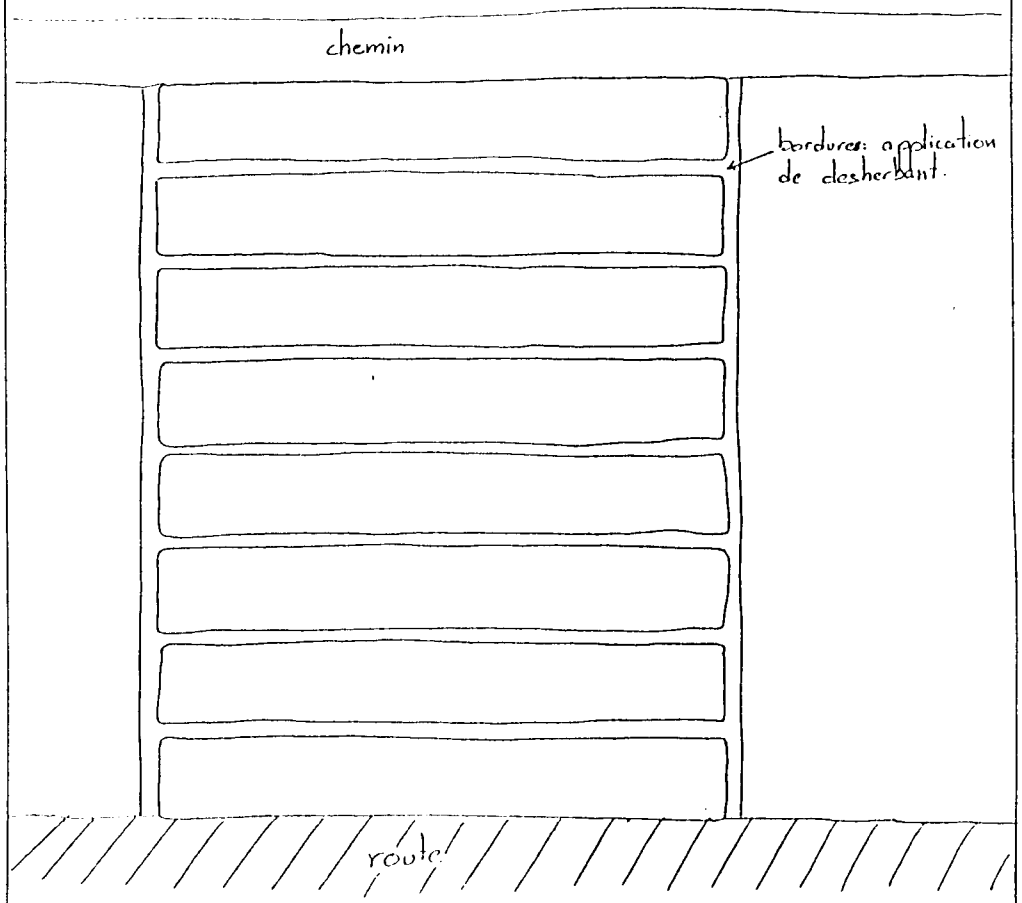
Schéma du champ et des 20 parcelles disponibles pour l'essai
Pomme de terre (exemple 2)



Essai blé



Essai blé



stagiaire 7

scénario 2

Dispositif Statistique

Feuille d'évaluation du scénario n 2. Anonyme

Q1 : Pour comparer 2 régimes pour engraisser les cochons on peut :

- nourrir 2 cochons avec les deux régimes successivement ..... oui non
- nourrir 2 cochons, chacun avec un régime ..... oui non
- nourrir 4 cochons, 2 avec un régime, 2 avec l'autre ..... oui non
- nourrir 4 cochons d'une portée avec le 1er régime, 4 cochons d'une 2ème portée avec le 2ème régime ..... oui non

Q2 : On veut comparer le production de lait de vaches Normande, Frisonne et Jurassienne.

"Normande" est

1. un facteur de variation ..... oui non
2. un traitement ..... oui non
3. une unité expérimentale ..... oui non
4. un niveau d'un facteur ..... oui non

Cette expérience doit permettre d'étudier :

1. un facteur de variation ..... oui non
2. deux facteurs de variation ..... oui non
3. trois facteurs de variation ..... oui non

Nom possible d'un facteur .....
Nombre de ses niveaux .....

Q3 : En utilisant une table, proposer un dispositif en blocs aléatoires complets sans répétition dans les blocs pour comparer 6 traitements A,B,C,D,E,F avec 4 blocs

Table utilisée : ...
Nombre associé aux traitements A : ...
B : ...
C : ...
D : ...

E : ...
F : ...

1ère ligne tirée dans la table :

Dispositif proposé :

Bloc 1						
Bloc 2						
Bloc 3						
Bloc 4						

Q4 : Citer 3 plans d'expérience en précisant le nombre de facteurs

1. introduits pour l'étude de leur effet : leur nombre est noté N1
2. introduits pour tenir compte de la variabilité des unités expérimentales : leur nombre est noté N2

Plan	N1	N2	N1 + N2
1.			
2.			
3.			

Q5 : Pour étudier 4 méthodes de pasteurisation notées A,B,C,D on peut faire 4 mesures par jour. Les traitements sont testés dans l'ordre suivant :

A B C D	A B C D	A B C D
jour 1	jour 2	jour 3

Ce dispositif est :

1. un dispositif complètement randomisé OUI NON
2. un dispositif en blocs complets OUI NON
3. un carré latin OUI NON

Q6 : En supposant que le jour ainsi que l'ordre des traitements chaque jour peuvent avoir un effet, compléter le plan ci-dessous pour en faire un carré latin.

n° ordre	1	2	3	4
jour 1	A	B	C	D
jour 2	B	A		
jour 3	C			B

Scénario 2

VOCABULAIRE

Facteur blocs : facteur introduit pour tenir compte de l'hétérogénéité des **unités expérimentales**. En tenir compte dans le choix du dispositif permet d'isoler l'effet de ce **facteur**, c'est à dire de ne pas l'intégrer dans l'estimation de l'erreur ou variabilité incontrôlable qui sert de référence pour la comparaison des traitements. Ce facteur est alors appelé facteur contrôlé. Dans la pratique, on réunit en général les parcelles d'un même bloc et le plus possible entre les blocs. Les blocs une fois formés, on doit leur associer autant que possible les autres sources de variation parasite. A la fin de la journée, l'expérimentateur avisé terminera ses mesures sur les parcelles d'un bloc, mais n'en entamera pas de nouveau. Toute évolution survenue au cours de la nuit sera associée aux blocs. Les blocs servent en quelque sorte de poubelle : toute variation indésirable y est autant que possible incluse, de sorte que l'élimination des différences entre blocs élimine en même temps toute variation sans rapport avec le problème.

Facteur obtenu par croisement de deux autres : si on veut étudier simultanément les effets d'un facteur VARIETES à deux **niveaux** notés A, B et d'un facteur ENGRAIS à 3 niveaux notés 1, 2, 3; il est intéressant en général d'expérimenter tous les croisements possibles A1, A2, A3, B1, B2, B3. On définit ainsi 6 niveaux d'un nouveau facteur, parfois noté VARIETES x ENGRAIS obtenu par croisement des deux précédents.

Facteur ou facteur de variation (factor) : on appelle facteur toute série d'éléments de même nature qui peuvent être comparés au cours d'une même expérience, tels qu'une série de variétés, un ensemble de produits phytosanitaires, différentes doses d'un même engrais, différentes températures, différentes pressions,... Un facteur est un ensemble de **traitements** tel que pour chaque **unité expérimentale** un traitement du facteur est appliqué. Dans le cas de l'étude de l'influence de la température sur la croissance de plants de ficus, le facteur TEMPERATURE est l'ensemble des quatre températures de sol à comparer.

Facteur traitement : nom parfois donné au facteur introduit délibérément dans l'expérience en vue d'étudier son effet sur la variable. Il peut être obtenu par croisement de plusieurs **facteurs**.

Niveau de facteur (level) : les niveaux d'un **facteur** sont les numéros ou les noms des différents traitements de ce facteur. Pour l'exemple FICUS, le facteur TEMPERATURE a quatre niveaux : 15° ,20°, 25°, 30°. Ce mot est donc synonyme du terme **traitement**.

Plan complètement randomisé ou plan complètement aléatoire (completely randomized design) : il résulte de l'affectation au hasard des différents **traitements** aux différentes **unités expérimentales**. Chaque unité doit avoir la même probabilité de se voir affecter un traitement donné.

Plan d'expérience ou dispositif expérimental (experimental design) : les deux termes sont synonymes. C'est la répartition des **traitements** sur les **unité expérimentales**. Il se représente par un tableau où les cases sont les unités, elles sont regroupées par bloc (éventuellement plusieurs systèmes de blocs, comme dans le **plan en carré latin**), le code noté dans chaque case précise le traitement à appliquer à cette unité.

Plan en blocs complets (complete blocks design) : les blocs sont dits complets quand tous les **traitements** mis en expérience sont présents dans chacun d'eux, le nombre de parcelles par blocs étant au moins égal au nombre des traitements. Si la répartition des traitements est faite de façon complètement aléatoire dans chacun des blocs, le plan est dit en **blocs complets randomisés ou blocs complets aléatoires**.

Plan en carré latin (latin square design) : dispositif constitué d'un nombre de parcelles qui est carré (9, 16, 25...), qui comporte autant de lignes de parcelles que de colonnes de parcelles et au sein duquel chaque **traitement** est présent une et une seule fois dans chaque ligne et dans chaque colonne. Le nombre de traitements envisagés est donc égal au nombre de lignes (et de colonnes). Les lignes et les colonnes constituent un double réseau de blocs conduisant à un double contrôle de l'hétérogénéité du matériel expérimental. Dans une expérience de zootechnie, les lignes peuvent correspondre à des animaux différents, les colonnes à des périodes différentes, le dispositif étant tel que chaque traitement (ration alimentaire par exemple) soit considéré une et une seule fois pour chacun des animaux et une et une seule fois pour chacune des périodes.

Traitement (treatment) : toute différence introduite délibérément entre les **unités expérimentales** pour étudier son effet. Cela peut être aussi bien l'application d'un fongicide que l'absence d'application de traitement fongicide. Dans l'exemple FICUS, le statisticien parle des quatre températures de sol comme de quatre traitements.

Unité expérimentale (experiment unit) : c'est l'unité de base sur laquelle porte l'expérience. Elle est traitée individuellement dès le départ, est l'objet d'au moins une observation et est également considérée individuellement au cours du dépouillement des résultats. Ce peut être une branche d'arbre, un arbre, un ensemble d'arbres, un animal isolé, un groupe d'animaux ou une partie d'animal, une cellule. Dans un laboratoire, c'est souvent l'unité servant de base aux manipulations qui sont réalisées, quantité fixée d'un produit par exemple. On appelle souvent PARCELLE (plot) l'unité expérimentale. En agriculture, il s'agit exactement de ce qu'on appelle une parcelle et le terme est souvent conservé dans les autres cas. A ne pas confondre avec la **variable mesurée**.

Variable mesurée (variate) : elle peut être **quantitative** ou **qualitative**. La parcelle peut être une plante et la variable mesurée la longueur du premier entre-noeud.