

Construire une séquence pédagogique consacrée aux conduites d'essais au champ

*Application à l'utilisation
des produits résiduels organiques (PRO)*

Mercredi 19 février - Programme

9h00 – 10h00 : Contexte du recyclage et présentation du Réseau PRO et outils

10h30 – 10h45 : Comment mettre en place un essai agronomique au champ sur les PRO adapté au contexte local, identifier les questions et contextes

10h45-11h : Pause

11h-13h00 : Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

14h – 18h30 : études de cas (1 et 2), construction de séquences pédagogiques

Jeudi 20 février - Programme

8h30 – 9h30 : Partie 2 – Exemple de mise en place
et conduite agronomique d'essais de plein champ

9h30 – 10h30 : Etude de cas (3 a.)

10h30 – 10h45 : Pause

10h45-13h00 : Partie 3 - Gestion des données et
exploitation des résultats (traitements statistiques)

14h – 18h30 : études de cas (3 b. et 3c.),
construction de séquences pédagogiques

Vendredi 21 février - Programme

8h30 – 12h30 : Restitution des travaux de groupes

PRO : Contexte et enjeux

PRO : Produits Résiduaire Organiques

Ex : fumiers de bovins, boues de station d'épuration
compost de déchets verts, etc.

Contexte agricole : qualité/fertilité
sols, augmentation prix engrais

Contexte réglementaire :

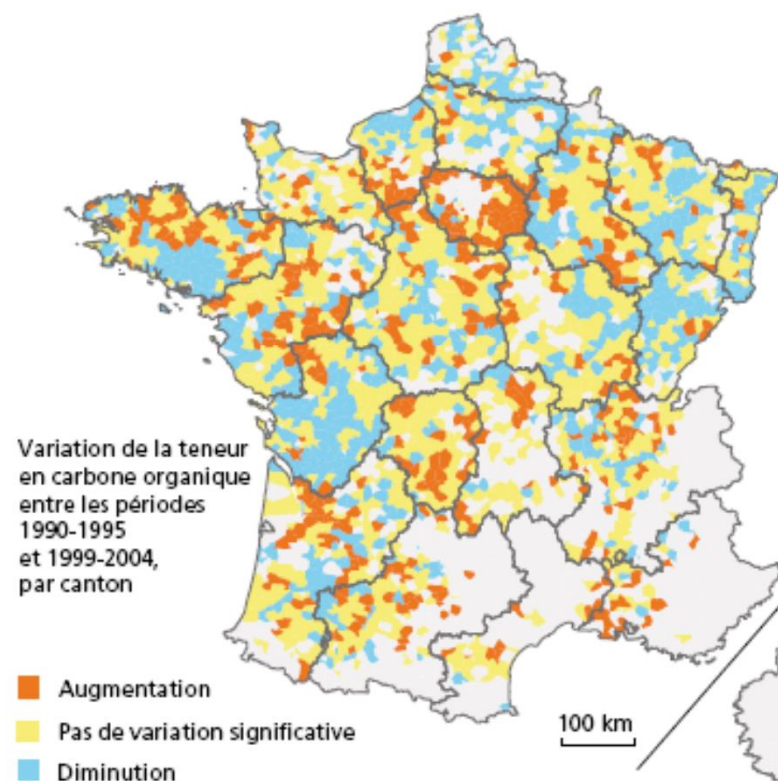
Projet End of Waste (sortie statut déchets,
commercialisation PRO en Europe)

Grenelle Environnement (2007)

Directive Cadre Déchets (2008)

Proposition Directive Cadre Sol (2006)

Diminution des teneurs en carbone organique
sur la façade atlantique et dans l'Est
entre les périodes 1990-1995 et 1999-2004



➔ **Contextes favorables au recyclage agricole des PRO**

(GIS SOL, BDAT, 2007 ; IFEN 2007)

PRO : Contexte et enjeux

→ 330 000 t/an de PRO recyclés en France

Les PRO sont recyclés en agriculture pour :

Leurs effets fertilisants : apport de nutriments pour la plante (N, P, K, autres majeurs, oligo-éléments)

Leurs effets amendants : maintien voire augmentation du stock de matières organiques du sol, maintien/amélioration de la structure du sol, lutte contre l'érosion, etc. (C_{org} , pH, $CaCO_3$)



Leur gestion présente des enjeux sanitaires et environnementaux :

Assurer la qualité sanitaire des cultures

Préserver la qualité

des sols : chimique, physique, hydrique, biologique

des eaux : pollution par N et polluants (ETM, MPO)

de l'air : émissions GES, NH_3 , COV

PRO : Contexte et enjeux

Questions soulevées par le recyclages agricole des PRO

↔ Réponses à apporter

Valeur fertilisante PRO mal maîtrisée (notamment N et P), dynamique libération nutriments mal connue :

- ▶ Risques excès nutriments, pollution eaux, volatilisation NH_4 , émissions GES
- ▶ Maximiser la valeur agronomique
et minimiser les impacts environnementaux liés à la valeur fertilisante PRO

PRO peuvent être **vecteurs micropolluants et pathogènes**

- ▶ Risques contaminations sol, cultures, eaux
- ▶ Assurer l'innocuité des PRO épandus

Aspect sociétal : questions et inquiétudes sur le recyclage agricole de PRO

- ▶ Besoin acceptation de cette pratique par la société et la profession agricole
- ▶ Apporter réponses scientifiques/pratiques sur effets à court et long terme (+ et -)
- ▶ Développer des outils de gestion de leur valeur agronomique

PRO : Contexte et enjeux

Grande diversité de PRO :

- grande variété de **matières premières** d'**origines diverses** (urbaine, élevages, industrielle...)

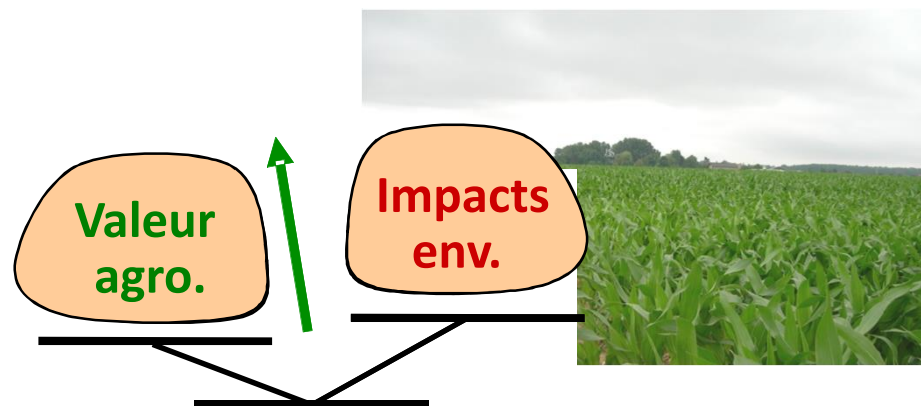
- **divers traitements et combinaison de traitements** (méthanisation, compostage, séchage...)

→ **Impacts sur les effets a⁺ endus au champ des PRO ?**



PRO : Contexte et enjeux

L'expérimentation au champ : un moyen de fournir des réponses aux questions soulevées par le recyclage des PRO en agriculture



Seule façon d'étudier les **processus impliqués à court-long terme**

A l'échelle de la **parcelle agricole**

Dans des conditions proches des **pratiques locales**

Acquisition de **données à court-long terme** en fonction des **objectifs visés** (évaluation valeur fertilisante N post-épandage, évaluation des effets amendant...)

Le projet Réseau PRO

Financement CasDAR / ADEME en 2011-2014

Soutien des RMT Fertilisation & Environnement et Quasaprove :

Partenariat de **23 structures impliquées dans la filière des Produits Résiduaires Organiques** : instituts techniques, instituts de recherche, chambres d'agriculture, laboratoires, organisme de transfert, établissements enseignement agricole, association, professionnels R&D/traitement PRO

Enjeux = développer un réseau d'essais national partageant

- des **méthodes uniformes** d'étude et de suivi des effets des PRO au champ,
- des **données acquises sur une grande diversité d'essais au champ**, mutualisées dans une base de données.

Le projet Réseau PRO

Objectifs opérationnels du réseau PRO : apporter des outils opérationnels gestion PRO et créer un réseau d'acteurs

1. **Apporter cadre opérationnel** : guide méthodologique : protocole et modes opératoires harmonisés entre acteurs de la filière de gestion des PRO, pour la mise en place de nouveaux essais
2. **Mutualiser les données acquises sur les essais entre acteurs** : saisir sous un même format les données et les archiver dans une base de données commune entre acteurs
3. **Exploiter les données** (traitements statistiques annuels, temporels et en réseaux d'essais)
4. **Alimenter des outils de gestion et de pilotage de la fertilisation et du statut organique des sols (interaction RMT)** : Regifert, Azofert, Syst'N et AMG ; grilles d'évaluation de risques du RMT Quasaprove
5. **Fédérer les acteurs de la filière autour des questions liées au recyclage agricole des PRO**

Outils Réseau PRO :

Inventaire national des essais

Mise à jour de l'inventaire des essais PRO ADEME 2002 :

Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origines urbaines et industrielle

Mieux connaître le contexte français d'expérimentation au champ portant sur les effets des PRO :

PRO testés ? Effets étudiés ? Méthodes de suivis ? Contextes agronomiques d'expérimentation ?

→ 2011 : recensement national des essais étudiant les effets de l'épandage de PRO

→ **437 essais recensés**, conduits entre 1974 et 2013

Outils Réseau PRO :

Inventaire national des essais

Pourcentage d'essais recensés étudiant les différents grands types de PRO

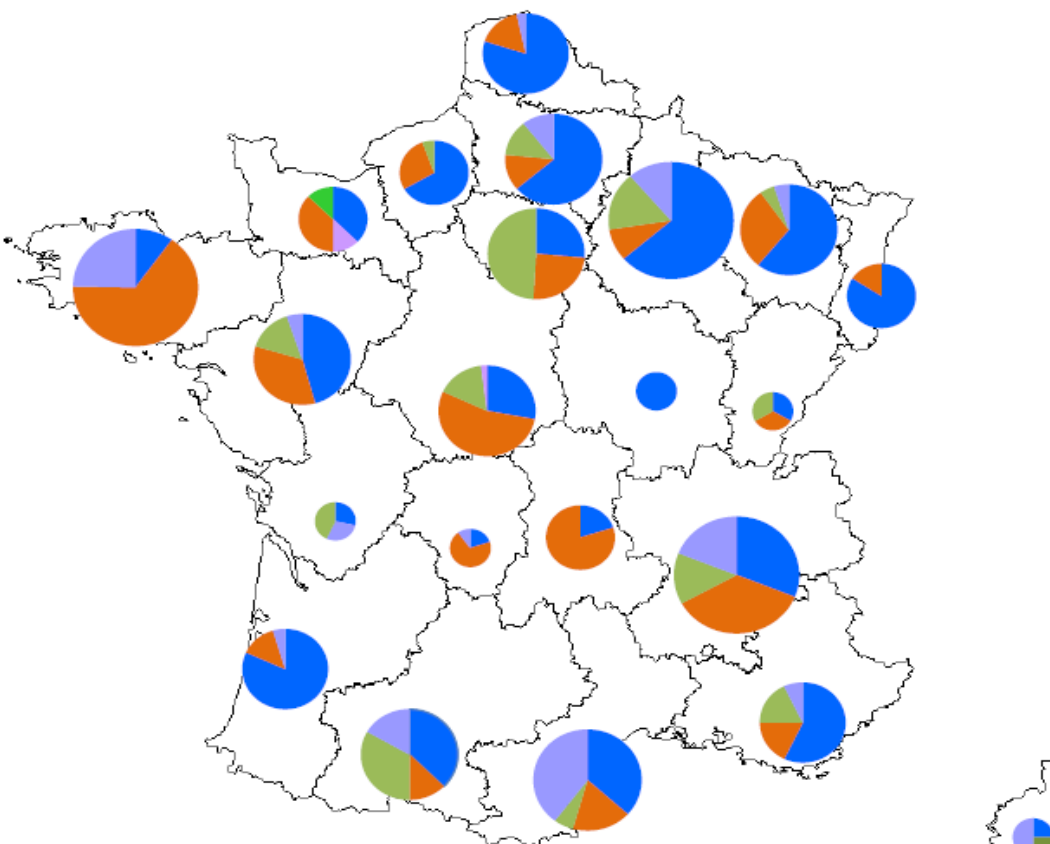
Origine des PRO	Grand type de PRO étudiés	Pourcentage d'essais
Urbaine ou industrielle	Boue urbaine ou industrielle	28%
	Sous produit agroindustriel	19%
	Compost urbain ou industriel	17%
	Digestat urbain ou industriel	0,20%
Elevages	Effluent d'élevage non composté et non méthanisé	36%
	Compost d'effluent d'élevage	14%
	Digestat d'effluent d'élevage	0,20%
Végétale et/ou animale autre	Matière organique animale (farine animale)	13%
	Matière organique végétale (algue, issus de silo)	5%
	Compost de matière organique végétale ou animale	2%
Mixte	Mélange de matières organiques mixtes	11,90%
	Compost de matières organiques mixtes	6%
	Digestat de matières organiques mixtes	0,90%

Outils Réseau PRO : Inventaire national des essais

Pourcentage

Origine des
Urbaine ou industrielle

Végétale et/ou animale



Origine des PRO étudiés et nombre d'essais recensés par région

Nombre d'essais recensés :

- Plus de 30 essais
- 10 à 20 essais
- 2 à 5 essais

Origine des PRO :

- Urbaine ou industrielle
- Effluents d'élevage
- Autre matière organique animale végétale
- Plusieurs origines

Les types de PRO

Pourcentage d'essais

28%

19%

17%

1,20%

36%

14%

1,20%

13%

5%

2%

1,90%

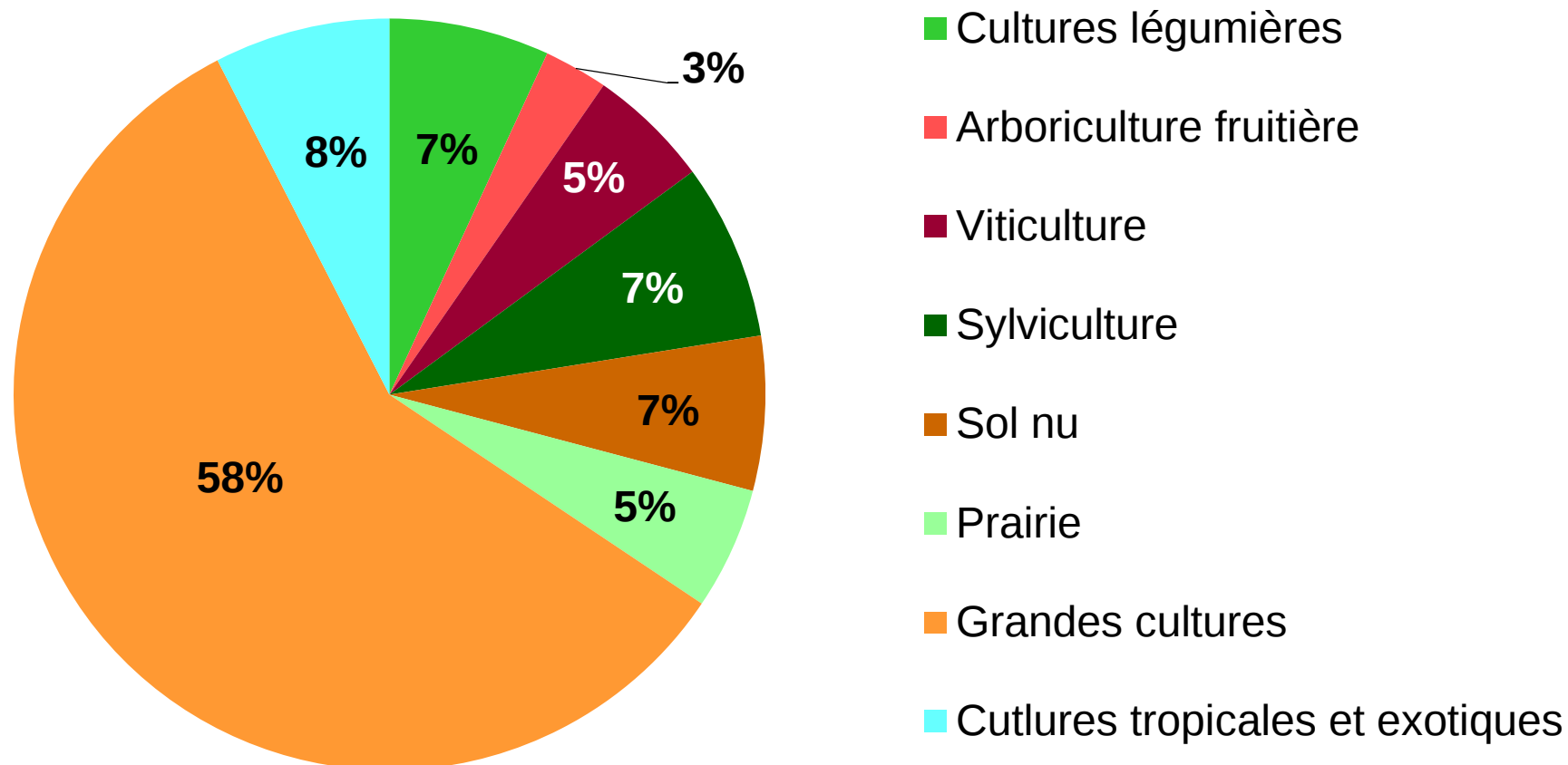
5%

1,90%

Outils Réseau PRO :

Inventaire national des essais

Types de cultures étudiés sur les essais recensés



Outils Réseau PRO :

Inventaire national des essais

Thèmes étudiés	Pourcentage d'essais
Effets azote	90%
<i>dont effets azote à court terme (01 an)</i>	54%
<i>effets azote à moyen terme (de 1 à 3 ans)</i>	14%
<i>effets azote à long terme (03 ans)</i>	17%
Effets fertilisant P-K-Mg-S	35%
Effets amendants organiques	19%
Effets physiques	10%
Effets pH	13%
Eléments traces	21%
Composés traces organiques	6%
Pathogènes	2%
Qualité des productions	27%
Services écosystémiques	5%
Impacts économiques	9%

Outils Ré Inventaire nat

Informations générales :

coordonnées responsables, lieu de l'essai, objectifs, etc.

Informations techniques :

types de PRO étudiés, type de dispositif expérimental, système de culture...

Informations suivis des compartiments :

compartiments et analyses effectuées

Système de production : (Conventionnel ou biologique)		N° Fiche :	
Titre de l'essai		Grandes cultures	
		Nombre de répétition ou « pas de répétition »	
INFORMATIONS GÉNÉRALES	Maître d'ouvrage : Maître d'œuvre :		Localisation : (ex : chez un agriculteur ou Station expérimentale) Département : Commune :
	Service à contacter : Nom du service Nom, Prénom de la personne ressource : Adresse : Tél. : E-mail :		Partenaires techniques Partenaires scientifique Partenaires financiers
	Contexte et objectifs de l'essai		
CONTEXTE EXPERIMENTAL	Début de l'essai (année) Fin de l'essai (année) Durée : ... an(s)	Contexte pédologique - Type pédologique de sol : - Substrat pédologique : - Nature du sous-sol : - Texture du sol : - Profondeur de sol : - pH initial de l'horizon de surface : - Autres caractéristiques : (teneur en Corg initiale, RU, hydromorphie, etc.)	
	Type de dispositif : (Blocs, Bandes, Split-plot, etc.)		Surface totale du dispositif : ...m ² Surface des parcelles élémentaires : ...m ² Facteurs étudiés (suivi du nombre de modalités pour le facteur) : ex : Nature du PRO, Date d'apport du PRO, Dose d'apport du PRO, Stratégie de fertilisation, Travail du sol, enherbement, Profondeur d'incorporation du PRO, etc. Type de témoins : ex : inclus au dispositif, parcelle à côté du dispositif, fixe ou tournant, sans apport fertilisant ou avec fertilisation minérale N, P, K etc.) Nombre de traitements (témoins compris) : Nombre de répétitions par traitement : ex : 2, 3, « pas de répétition »
	Type de PRO testés		Système de culture
	Nom des PRO testés : ex : lisier de porcs, compost de déchets vert, boue de STEP, etc. Année d'arrêt d'apport de PRO :		Espèce, variété : Porte-greffe : Année de plantation : Enherbement : oui/non – Irrigation : type d'irrigation
SUIVI DES COMPARTIMENTS	PRO	Ex : Physico-chimiques : Matières minérales, MO, N _{TOTAL} , P, K, Ca, Mg - Fractionnement biochimique	
	Sol	Rang + Inter-rang	Ex : Physico-chimique : pH, CEC, N _{TOTAL} , P, K, Ca, Mg, B, ETM totaux : Cd, Cr, Cu, Mn etc. – ETM extractibles : B, Cu, Mn, etc. - Reliquats azotés – Biomasse microbienne etc.
	Plante	Feuilles	Ex : Teneur en N, P, K, Ca, Mg, etc.
		Fruits	Ex : rendement : nombre de fruits par arbre - Chimiques : teneurs en N, P, K, Ca – ETM : Cu, Mn, etc. - Qualité : jutosité, calibres, acidité, dégustation, etc.
		Arbres	Ex : Vigueur : Circonférence du porte-greffe et du greffon
Sources des informations fournies : CETIOM Type d'organisme : Institut technique		Format des données de l'essai : ex : papier, fichier excel, base de données Mode de diffusion des résultats : ex : rapport technique, article scientifique, fiche de synthèse, internet, etc. Niveau de confidentialité : public	

Mercredi 19 février 2014

PNF – formation
Aurélia Michaud

Outils du Réseau PRO : Guide méthodologique

- **Objectif général du guide** : apporter un cadre opérationnel commun et harmonisé
- **Finalité** : mise en place d'un **réseau d'essais cohérents** dans différents contextes agropédoclimatiques à l'échelle nationale (mêmes protocoles et méthodes conduite)

Destinataire

Tout expérimentateur souhaitant mettre en place un essai

Contenu

Général : enjeux, état des connaissances, transversal, réglementation, bibliographie

Méthodes de caractérisation des PRO au laboratoire

Protocoles de conduite des essais par thématique : avec 2 niveaux de conduite (optimal et minimal) ; référence à des modes opératoires transversaux

Modes opératoires/procédures

Outils du Réseau PRO : Guide méthodologique

Trame de rédaction des protocoles harmonisée entre thématiques

Choix du dispositif expérimental : *contexte, objectifs de l'essai, facteurs et traitement étudiés, etc.*

Choix expérimentaux préalables à la mise en place de l'essai :
parcelles de l'essai, culture étudiées, PRO étudiés/comparés, ITK

Caractérisation initiale du site de la parcelle d'essai : *informations géographiques et pédo-climatiques, caractérisation initiale du sol, historique parcellaire*

Suivi de l'essai : *observations et mesures par compartiment à recueillir*

Gestion, traitement, validation et diffusion des données recueillies

Choix du dispositif expérimental	
Contexte et état des connaissances	Rappeler la thématique abordée, resituer le contexte d'application du protocole, poser la problématique
II. Objectifs de l'essai / Questions / Hypothèses	Objectifs généraux de l'étude (références à acquiescer)
	ordre
	se
	ice
	dues,
	S
	ie
	ants
	ités
	on des
	s
	ance,
	e (ex :
	r
	ti),
	eurs

Outils du Réseau PRO : Guide méthodologique

PROTOCOLES rédigés

Thématique azote :

- Calculs de CAU et de K_{eq}
- Cinétique de minéralisation sur sol nu

Thématique phosphore

Thématique contaminants : éléments traces, composés traces organiques, microorganismes d'intérêts sanitaires

Thématique matière organique - pH du sol – services écosystémiques

Thématique qualité des productions : étude de la qualité gustative, technologique, nutritionnelle et/ou sanitaire pouvant s'annexer aux protocoles listés ci-dessus.

Outils du Réseau PRO :

Guide méthodologique

MODES OPERATOIRES / PROCEDURES rédigés

Choix de la parcelle agricole pour l'expérimentation

Épandage des PRO : épandage des PRO liquides et solides (gestion et répartition de la dose d'apport)

Prélèvements de plantes : racines tubérisées, prairie, légumes frais, vigne, céréales

Prélèvements des PRO : PRO liquides et solides

Prélèvements de sol : prélèvement pour analyses physico-chimiques, physiques, bioindicateurs et reliquats

Prélèvements eau : eau souterraine

Méthodes statistiques :

Choix du dispositif statistique et mise en place au champ

Validation et analyses statistiques des données

Méthodes de conditionnement et de conservation des échantillons

Outils du Réseau PRO : Système d'information

Insertion et stockage des informations relatives aux essais

Informations générales sur les essais

Informations générales - Localisation

Mode de conduite

Objectifs

Personnes ressources / Propriétaire des données

Historique parcellaire - Hétérogénéité connues

Environnement - Sol, couche travaillée

Informations conduite des essais - Descriptif dispositif :

Facteurs étudiés (adaptés à
thématique PRO et diversité essais
inventoriés)

Traitements

Parcelles

Informations conduite des essais : itinéraire technique

Apports PRO étudiés, fertilisation org. complémentaire (PRO non étudiés)

Fertilisation minérale, phytosanitaires, autres amendements

Travail du sol, irrigation

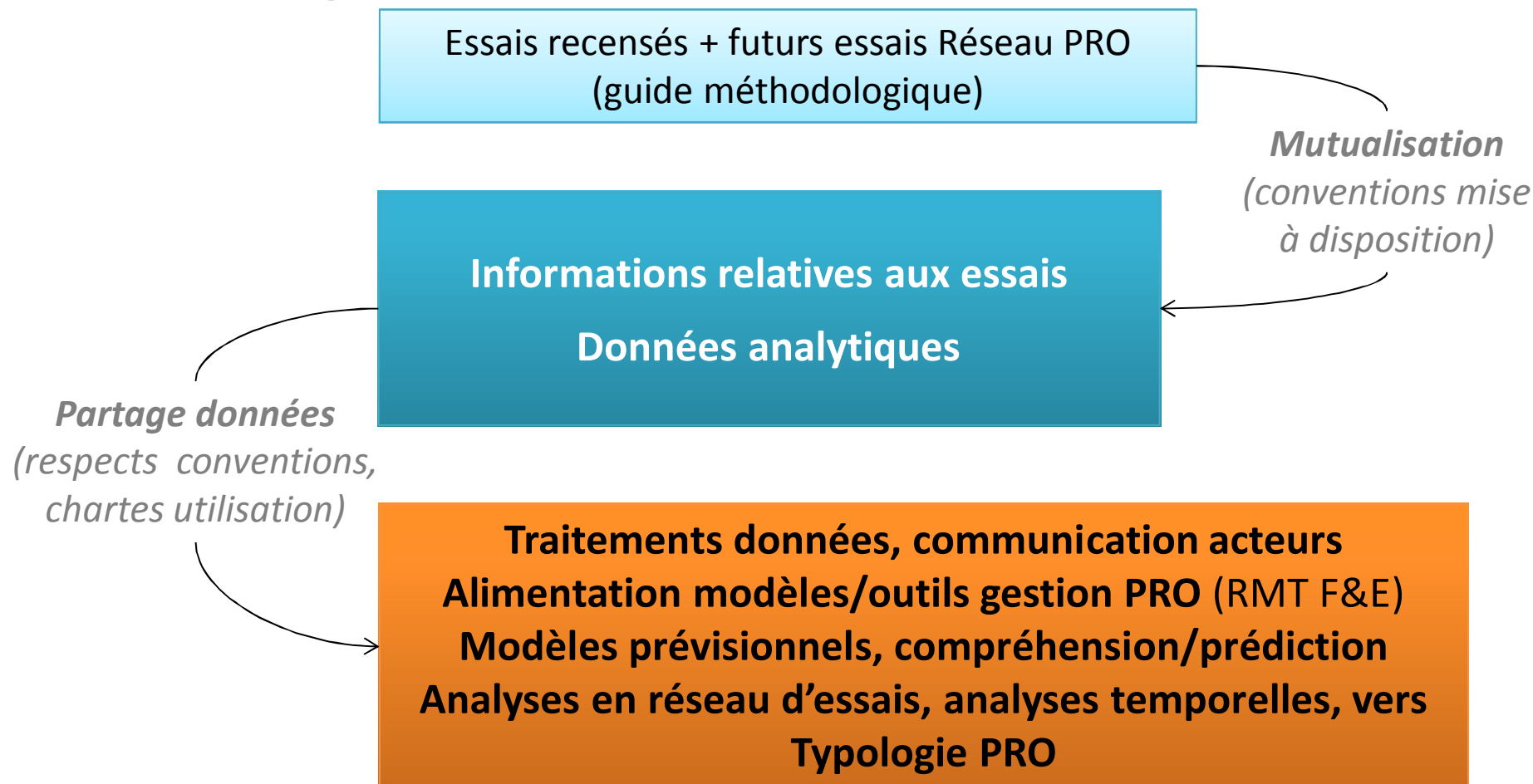
Succession culturale

Outils du Réseau PRO : Système d'information

Insertion et stockage des données analytiques acquises sur les essais :

PRO	Données PRO
Sol	Données sol
Incubations C et N PRO ± Sol	Données d'incubation C et N des PRO et /ou Sol
Reliquats	Données reliquats
Plantes	Données plantes
Intrant	Données intrants
Observations	Observations réalisées sur le dispositif
Evènements cultureux	Evènements intervenus pendant la conduite du dispositif

Outils du Réseau PRO : Système d'information



Outils du Réseau PRO : Système d'information

Valorisations des données possibles : Ex de sujets de stages effectués pour la valorisation des données mutualisées dans le Réseau PRO → Travaux de groupes ?

Validation et valorisation de données pour une thématique donnée

Validation et analyse de données issues d'expérimentations sur le recyclage agricole de produits résiduels organiques dans différents contextes agropédoclimatiques (stage de fin de DUT – agronomie – L Freudenreich)

Collecte et analyses statistiques de données issues d'expérimentations sur le recyclage agricole de produits résiduels organiques dans différents contextes agropédoclimatiques en viticulture (stage de fin de DUT – STID – P Desmet)

Analyse des paramètres agronomiques d'un essai à long terme pour l'amélioration du conseil auprès des agriculteurs dans le cas d'utilisation de boues de STEP (stage DUT)

Test et paramétrage de modèles de prédiction / outils d'aide à la décision :

Amélioration et paramétrage du modèle AMG pour le cas particulier de la vigne (stage ingénieur agro)

Test d'un modèle de prédiction du comportement des ET (éléments traces) dans des sols soumis à des apports répétés de PRO (stage ingénieur agro)

Comment mettre en place un essai agronomique au champ sur les produits résiduels organiques adapté au contexte - Identifier les questions et le contexte -

Comment et pourquoi mettre en place un essai au champ ?

- A quoi va servir l'essai (démonstration, acquisition références régionales, acquisition résultats scientifiques, etc) ?
- Définir l'essai agronomique à mettre en place et les finalités

Cerner le contexte agricole, environnemental, sociétal, politique
Comprendre les attentes, les besoins, les enjeux
Estimer les ressources disponibles et mobilisables (humaines et financières)

- Identifier les questions et le contexte -

Flux importants de matière organiques résiduaires (urbaines, agricoles, industrielles) recyclées en agriculture pour leur valeur agronomique (fertilisante et amendante)

Le contexte réglementaire, quelques textes

Grenelle Environnement (nov. 2007)

→ Développer le recyclage agricole des déchets organiques

Directive Cadre Déchets (2008/98/CE, JO 22/11/2008)

→ D'ici 2020, 50 % déchets et assimilés devant être recyclés, notamment les déchets organiques en agriculture

Communication sur les sols (CE 2002)

→ Le sol est une ressource non renouvelable à protéger, soumis à des menaces dont perte matières organiques, de baisse de fertilité, d'érosion, de pollutions...

Proposition de Directive Cadre sur les Sols (2004/35/CE 2006)

→ Mesures pour la protection des sols

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte réglementaire, quelques textes

NF U44-051:2006

Amendements organiques – Dénominations, spécifications et marquage

Ex. composts d'effluents d'élevage, effluents d'élevage, composts d'ordures ménagères résiduelles

NF U44-095:2008

Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux

Ex. composts de boues de station d'épuration, composts de boues agro-industrielles

→ **Caractéristiques agronomiques** : matière sèche, pH, NPK, C, minéralisation CN...

→ **Innocuité** (teneurs et flux apportés sur 10 ans et par épandage) : 9 éléments trace métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn), HAP/PCB, inertes, agents pathogènes humaines

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte réglementaire, quelques textes

PRO homologués (produits commercialisés), formulaire de demande d'homologation

Plan d'épandage : boues issues du traitement des eaux usées

Formulaires spécifiques à l'agrément en agriculture biologique, PRO autorisés en AB

Dérogations : dossier de demande de dérogation (ex. zones vulnérables, non respect directive nitrates, ...)

Directive nitrates

Désigner les zones vulnérables (toutes les zones connues sur leur territoire alimentant les eaux de surface et souterraines touchées par la pollution ou susceptibles de l'être)

→ Respect du plafond annuel de 170 kg d'azote organique épandus par hectare (selon le département, origine animale, matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux, composts, etc.),

→ Respect des périodes pendant lesquelles l'épandage est interdit,

→ Respect des conditions d'épandage (distance aux points d'eau par exemple), capacité de stockage des effluents suffisante avec des installations étanches,

→ Pilotage de la fertilisation azotée sur la base d'analyses de sol, de végétaux

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte agricole local ?

Le but de l'essai est-il d'être représentatif des pratiques locales ?

Quelques idées de réflexions/questions pour cerner le contexte agricole local

Cultures, rotations : grandes cultures, viticulture, maraîchage, arboriculture, espèces, cultivars...)

Types et propriétés des sols majoritairement utilisés en agriculture, présence de sols pauvres en matière organique, sols à risques de battance, sols présentant des déficiences en éléments (majeurs, oligo-éléments), sols potentiellement contaminés, etc...

Pratiques agricoles locales : agriculture conventionnelle, agri. bio, travail simplifié / labour...

Pratique du recyclage agricole par les agriculteurs : types de PRO épandus (ex. effluents, boues, composts), matériel disponible, recul d'expérience, attentes...

Présence d'élevage (type, taille, type d'animaux, bâtiments), **gestion des effluents**

Zones vulnérables

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte agricole local ?

Questions et attentes des agriculteurs et conseillers agricoles ?

Exemples de questions soulevées par une enquête réalisée par l'ARAA auprès des agriculteurs du Haut-Rhin (Bodet et Schaub 2013, Réseau PRO)

Quelle est la composition des effluents d'élevage en éléments fertilisants ?

Quelle est la disponibilité de l'azote au cours de la première année ou durant l'implantation de la culture principale réceptrice ? Quelles sont les périodes de libération de l'azote ?

Quels sont les arrières-effets azotés ? Quelle est la dynamique de minéralisation ?

Y-a-t'il des éléments traces métalliques dans les PRO d'origine non-agricole ?

Quels sont les risques d'accumulation d'ETM dans les sols à moyen et long termes ?

Quelle est la biodisponibilité des oligo-éléments ?

Quel est le risque de transfert d'éléments traces métalliques vers les grains ?

Quelle est la valeur amendement organique des PRO ?

Quels effets sur la stabilité structurale du sol, l'indice de battance ?

Quels sont les besoins en matière organique des sols alsaciens ?

Quel est l'effet sur les microorganismes du sol et la vie microbienne ?

Quel est l'effet pH des boues chaulées ?

Etc.

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte PRO

Quels gisements potentiels actuels / futurs ?

Présence d'industries agroalimentaires, papetières, autres ?

Raclage de voie navigable ?

Station d'épuration (taille, gestion des boues produites, traitements) ?

Industrie du traitement des PRO (compostage) ?

Présence d'élevages : taille des élevage (ICPE ?), conduite des troupeaux/animaux, types d'animaux, modalités de gestion et traitement des effluents ?

Identifier..

L'origine des matières premières (agricole, urbaine, agro-industrielle) ?

Les traitements appliqués sur les matières 1^{ères} donnant lieu à un PRO épandu ?

La nature des PRO épandus actuellement et à épandre dans les années à venir ?

Les quantités produites ?

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte expérimental (local) ?

Essais conduits dans la région et/ou dans des contextes équivalents ?

Quels PRO, quels cultures/sols, quels objectifs/finalités...

→ Inventaire essais du Réseau PRO

→ Ne pas refaire ce qui existe...

Quels acteurs présents (et mobilisables) ?

Quels partenaires techniques (mise en place et conduite) potentiels ?

Lycée agricole, Chambre d'agriculture, associations, industriels, instituts techniques, instituts de recherche...

→ Partenaires Réseau PRO et réseaux

→ Mobiliser les acteurs ayant de l'expérience et du temps...

Quels partenaires financier potentiels ?

→ Agence de l'eau, région, projet (AAP), industriel, ...?

→ Pistes dans l'inventaire essais Réseau PRO (partenaires financiers mentionnés)

- Identifier les questions et le contexte -

Le contexte socio-économique, environnemental ?

Attentes et craintes sociales, des riverains :

Ex. risques de contamination, de nuisance olfactive, perception du recyclage de PRO (« déchets » ?)

Filière de gestion des PRO existante, dynamique, acteurs

Ex. production de matières premières, centres de traitement, agriculteurs assurant leur recyclage en agriculture, acteurs techniques

Environnemental ?

Présence de zones vulnérables, de zones protégées

Cas de contamination des sols avérées, suspectées (origine et nature de la contamination, nature et teneur en contaminants)

Présence de sols soumis à des risques de dégradation ?

Topographie des zones agricoles ?

- Identifier les questions et le contexte -

Questions préalables sur l'essai à mettre en place

Quelle finalité ? Démonstration ? Acquisition de référence ? Acquisition de résultats scientifiques pour attester/démontrer/vérifier...? Conduite en réseau d'essais ?

Quels objectifs opérationnels, quel effet recherché des PRO épandus ?

Démontrer l'effet positif d'un PRO sur l'amélioration du rendement ?

Démontrer l'efficacité de fertilisant phosphaté des PRO par rapport à une fertilisation minérale P ?

Evaluer la valeur fertilisante N post-épandage ?

Evaluer la valeur d'amendement organique et les effets sur les risques battance ?

Evaluer la présence et les risques de transfert de contaminants (émergents) ? etc...

Quels PRO ? Quel(s) facteur(s) étudié(s) ?

Quelle conduite agronomique ? Conventionnelle, biologique, ...?

Quels types de cultures ?

Quel sol ?

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite
(voir protocole mise en place essai, Réseau PRO)

Travail d'enquête pour répondre aux questions permettant de cibler les objectifs de l'essai agronomique (Cf partie « Identifier les questions et le contexte »)

1. Choix du dispositif expérimental

I. Contexte, état des connaissances	Rappels sur la thématique abordée, resitue le contexte d'application du protocole, pose la problématique
II. Objectifs de l'essai/ Questions posées	Objectifs généraux de l'étude (références à acquérir) Ensemble des questions auxquelles l'essai tente de répondre

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

1. Choix du dispositif expérimental

III. Facteurs et traitements étudiés

III.1. PRO

III.2. Mise en place des témoins

III.3. Autres facteurs étudiés

III.4. Traitements étudiés

IV. Dispositif expérimental

IV.1. Durée de l'essai

IV.2. Type de dispositif

IV.3. Taille des parcelles

IV.4. Equipements

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

2. Choix expérimentaux préalables à la mise en place de l'essai

I. La parcelle de l'essai

I.1. Type de sol

I.2. Système cultural

I.3. Historique parcellaire

II. Les cultures

III. Les PRO étudiés

IV. Itinéraire technique

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

3. Caractérisation initiale du site de la parcelle d'essai

Contexte de l'essai

III.1. Situation géographique	- Région climatique, agricole, bassin de production - Coordonnées : altitude, longitude, latitude - Localisation sur une carte IGN (échelle ?) - Géolocalisation ou plan, Etc.
[III.2. Cultures pérennes	- Point zéro sur plante]
III.2. Sol	- caractérisation initiale (analyse physico-chimiques à effectuer) - Dénomination pédologique, épaisseur, drainage, irrigation, pente (exposition), pierosité, structure, battance, etc. - Profil pédologique, profil cultural ? Etc.
III.3. Histoire culturale	Durée minimale de l'historique : types d'amendement et tonnage, devenir des pailles, autres faits marquants,

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

4. Observations et mesures réalisées pour répondre à/aux objectif(s)

I. Mesures et observations sur le sol	Pour chaque observation à faire, préciser : - Fréquence - Date de réalisation - Horizons concernés - Parcelles concernées - Méthodes d'échantillonnage (préconisation pour la thématique) - Analyses voire méthodes d'analyses
II. Mesures et observations sur les plantes	
III. Mesures et observations sur les PRO	
IV Mesures et observations sur le climat	Paramètres à suivre et pas de temps de suivi
[V. Observations sur EAU ou AIR]	

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

5. Autres données à recueillir sur l'essai

I. Opérations culturales et suivi de la culture	- opérations culturales : dates, matériel utilisé, résultats obtenus et conditions de réalisation - suivi de la culture : éléments à renseigner et méthode d'observation. - stades de développements : stades à observer - densité de peuplement - maladies - ravageurs - enherbement - accidents de culture - etc.
---	---

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

6. Gestion, traitement, validation, diffusion des données

I. Traitement des résultats	Calculs à effectuer pour les résultats obtenus sur les compartiments (fixer les formules de calcul), Traitements statistiques
II. Valorisation des résultats	rédaction des comptes-rendus (renvoi à une annexe présentant un plan type ?) Comité de lecture des documents de valorisations Propositions de formats de valorisation des résultats

Partie 1 – Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Démarche agronomique, élaboration du protocole de conduite

7. Budget de l'essai

I. Moyens humains à mettre en œuvre	Temps par type de tâches → Mise en place du site → Suivi du site (ITK, prélèvements, envoi pour analyses) → Traitement et exploitation des données
II. Budget analyses	Coût mise en place du site Coût humain (tarif journalier mise en place et suivi, exploitation résultats) Coût fonctionnement du site : location parcelle, ITK, analyses

Partie 1

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai : Quelques définitions (cas de l'agronomie)

ESSAI = expérimentation permettant de **comparer et mesurer les effets** de différents phénomènes sur une population expérimentale dans des **conditions données**.

DISPOSITIF = terrain délimité sur lequel se déroule l'essai. Constitué de **parcelles élémentaires** (unités expérimentales) présentant une **répartition particulière et caractéristique du terrain**

Parcelle élémentaire = unité expérimentale où un et un seul traitement étudié est appliqué.

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai : Quelques définitions

En fonction des objectifs fixés : PRO, effets à étudier, etc. l'expérimentateur définit :

1) Les facteurs étudiés : facteurs introduits volontairement en vue d'en examiner les effets. En général, on étudie 1 à 2 facteurs

Facteurs étudiés	
Dose d'apport du PRO	
Nature du PRO	

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai : Quelques définitions

En fonction des objectifs fixés : PRO, effets à étudier, etc. l'expérimentateur définit :

1) Les facteurs étudiés : facteurs introduits volontairement en vue d'en examiner les effets. En général, on étudie 1 à 2 facteurs

2) Modalités / Niveaux : ensemble des niveaux, variantes ou valeurs données à un facteur étudié.

Facteurs étudiés	Modalités / Niveaux
Dose d'apport du PRO	5 t MB/ha 10 t MB/ha
Nature du PRO	Fumier de bovins FB Compost de déchets verts CDV Boue de STEP B



3) TRAITEMENTS :

toute combinaison de différentes modalités, niveaux ou variantes des facteurs étudiés.

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai : Quelques définitions

En fonction des objectifs fixés : PRO, effets à étudier, etc. l'expérimentateur définit :

Facteurs étudiés	Modalités / Niveaux		Nom traitement	Traitements
Dose d'apport du PRO	5 t MB/ha		FB 5t	Fumier de bovins FB x 5 t MB/ha
	10 t MB/ha		FB 10t	Fumier de bovins FB x 10 t MB/ha
Nature du PRO	Fumier de bovins FB		CDV 0t	Compost de déchets verts CDV x 5 t MB/ha
	Compost de déchets verts CDV		CDV 10t	Compost de déchets verts CDV x 10 t MB/ha
	Boue de STEP B		B 5t	Boue de STEP B x 5 t MB/ha
			B 10t	Boue de STEP B x 10 t MB/ha

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai : **CHOIX DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE**

Etape 1 : Enquête auprès de l'agriculteur

La motivation de l'agriculteur pour le sujet de l'expérimentation : établir une **relation de confiance**

L'aspect pratique de la parcelle pour un essai : **taille adéquate, accessibilité** par un chemin carrossable par tous les temps...

Une parcelle jugée spatialement homogène par l'agriculteur : le sol (et la pente, l'exposition...) et les rendements.

Un historique homogène sur 3 ans pour la conduite de la parcelle (cultures, travail du sol, fertilisation, cipan, devenir des résidus de récolte, apports organiques) et **sur 10 ans pour les aménagements** (remembrement, drainage, talus, haies...).

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai : **CHOIX DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE**

Etape 1 : Enquête auprès de l'agriculteur

**Etape 2 : Identification des zones homogènes de la parcelle : éliminer
au maximum la variabilité expérimentale**

→ **Différences de profondeur du sol ?** Observation état de la végétation sur photos
aériennes (Géoportail®, Google maps®)

→ **Zones hétérogènes ?** (dépressions, stagnation d'eau, variations de couleur de la
terre, éléments paysagers comme une mare ou une haie, pente, pierrosité...)

- **Observation de la parcelle lorsqu'elle est nue** ou lorsque la culture est
implantée à un **stade végétatif précoce** (variations de couleur de la végétation, de
taille des plantes, de salissement par les adventices...).

- **Au moins 2 sondages à la tarière dans chaque zone homogène** : présence
de cailloux, d'hydromorphie, texture, couleur, présence de calcaire, profondeur.

Validation de l'homogénéité générale de la parcelle ?

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai : **CHOIX DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE**

Etape 1 : Enquête auprès de l'agriculteur

**Etape 2 : Identification des zones homogènes de la parcelle : éliminer
au maximum la variabilité expérimentale**

Etape 3 : Analyse des échantillons de terre

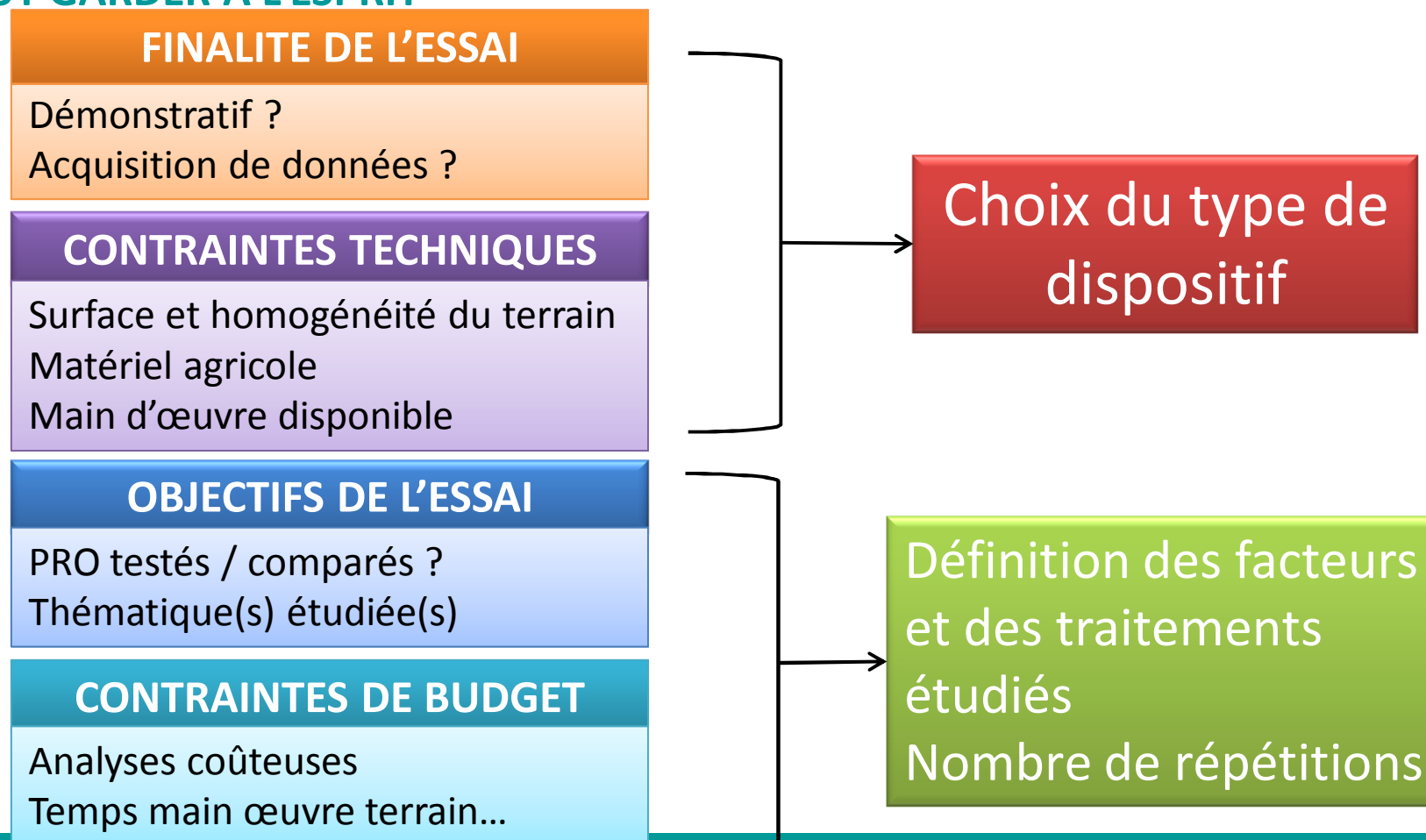
Effectuer **3 analyses de terre de l'horizon de surface** dans la zone homogène : mesure
de la granulométrie et du C + paramètres principaux concernant l'objectif de l'essai.

Le coefficient de variation entre les différents échantillons ne doit pas être trop
important.

Parcelle satisfaisant aux différents critères ?

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai : CE QU'IL
FAUT GARDER A L'ESPRIT



Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

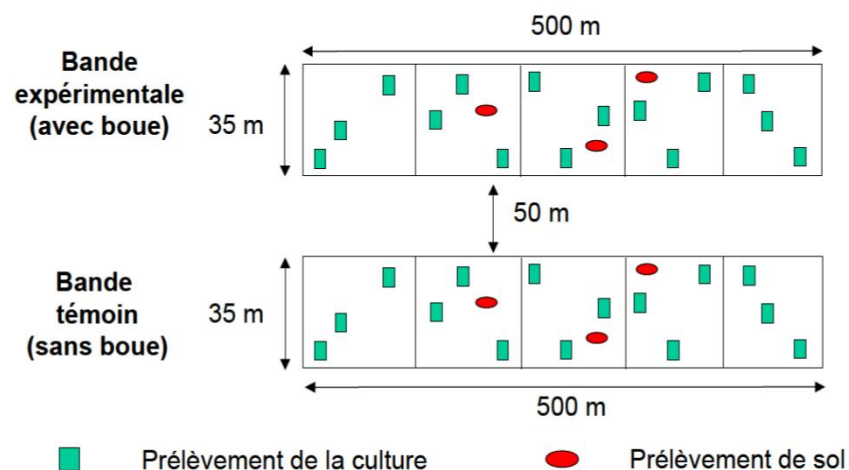
FINALITE DE L'ESSAI

Choix du type de
dispositif

Démonstratif ?

Essai en bandes : pas de répétition des traitements

- Données non exploitables statistiquement
- But pédagogique (agriculteurs, industriels, étudiants)



Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Choix du type de
dispositif

Démonstratif ?

Essai en bandes : pas de répétition des traitements

- Données non exploitables statistiquement
- But pédagogique (agriculteurs, industriels, étudiants)

Dispositif présentant **au moins 3 répétitions** des
traitements (mesures et analyses effectuées pour
chaque répétition) :

Acquisition de données ?

- évite d'attribuer un effet dû à la variabilité du terrain
à un traitement (estimation de l'erreur
expérimentale)
- Permet de pallier aux valeurs aberrantes (si valeur
aberrante, possibilité de la recalculer à partir des
autres – formule de Yates)

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

Dispositif avec répétitions :
choix du type

CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain



Champ expérimental homogène : dispositif
en randomisation totale

Répétitions des traitements étudiés attribuées de façon **totale**ment aléatoire aux parcelles élémentaires du dispositif (autant de parcelles élémentaires que traitement x répétitions)

Rare en expérimentation agronomique : il n'existe pas de terrain homogène !

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

Dispositif avec répétitions :
choix du type

CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain

Existence de gradient(s) d'hétérogénéité :
dispositifs avec BLOCS

Un bloc =

- Ensemble de parcelles élémentaires supposées **homogènes**.
- Contient une seule et unique répétition de chaque traitement étudié (autant de parcelles élémentaires que de traitements). Les traitements y sont distribués de façon aléatoire.

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

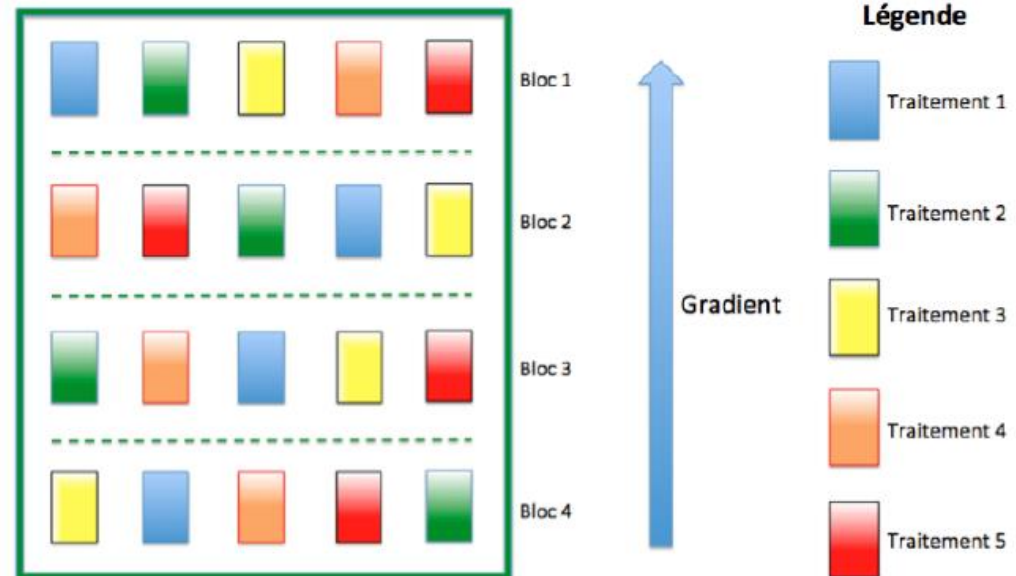
CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain

**Un seul gradient = dispositif en
blocs aléatoires complets**

- Contrôle de l'hétérogénéité du terrain
- Plus de souplesse concernant les interventions culturales

Dispositif avec répétitions :
choix du type



Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

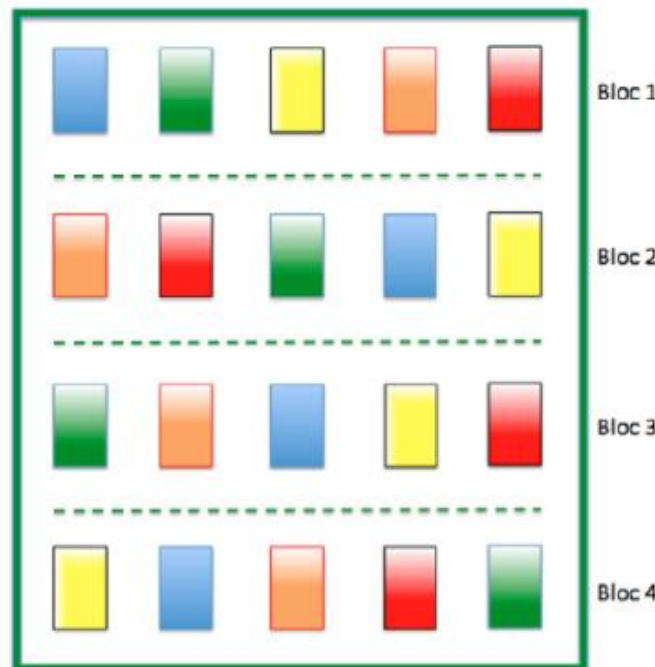
Dispositif avec répétitions :
blocs aléatoires complets

CONTRAINTES TECHNIQUES

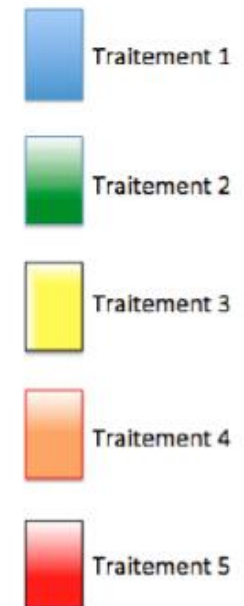
Surface et homogénéité du terrain

Les **blocs** sont disposés
PERPENDICULAIREMENT au
gradient : homogénéité au sein
du bloc

Les **parcelles élémentaires** sont
disposées **dans le sens du**
gradient (prise en compte de
l'hétérogénéité lors des mesures)



Légende



Les interventions culturales communes à tous les traitements se font dans le sens des blocs
(permet de contrôler la possible hétérogénéité apportée par l'intervention)

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

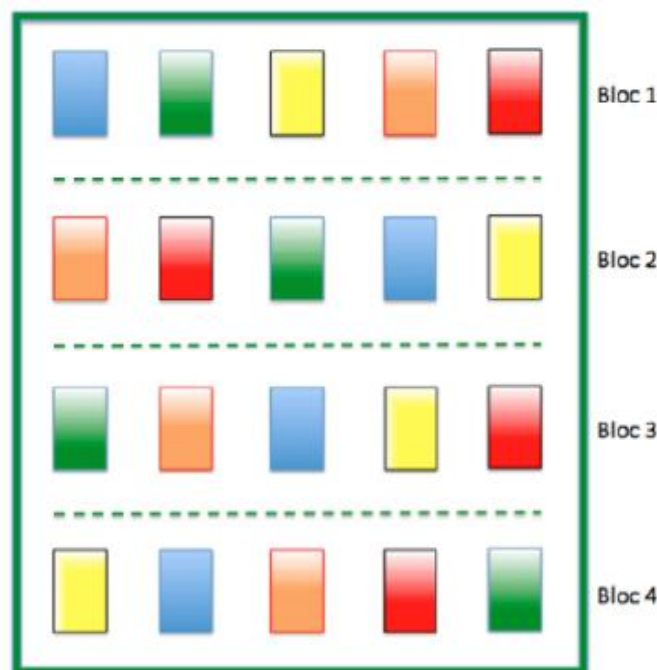
Acquisition de données

Dispositif avec répétitions :
blocs aléatoires complets

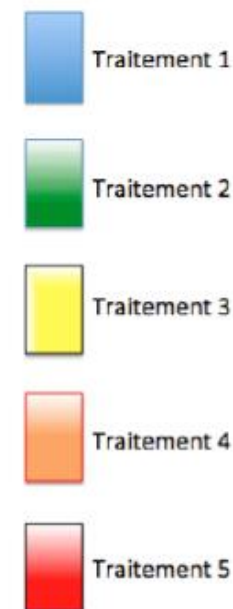
CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain

Les traitements sont affectés
aux parcelles élémentaires
d'un bloc via un tirage
aléatoire sans remise



Légende



Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

Dispositif avec répétitions :
blocs

CONTRAINTES TECHNIQUES

Légende

Limite pratique du plan en blocs aléatoires complets :

Plus le nombre de traitement est grand, plus les blocs sont grands et **plus le risque d'hétérogénéité au sein d'un bloc est grand**

Les dispositifs en blocs aléatoires complets ne plaisent pas aux expérimentateurs : risque d'avoir les **répétitions d'un même traitement dans la même zone**.

Pour y remédier, l'expérimentateur effectue des tirages répétés jusqu'à obtenir un plan qui le satisfasse ou effectue des arrangements à la main ou tire systématiquement des carrés latins.

→ Introduction de biais : la répétition n'est donc plus complètement aléatoire tandis que l'analyse statistique effectuée est celle d'un plan en blocs aléatoires complets

Une alternative est la mise en place de dispositifs en **α -plans** (carré semi-latins)

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI		Dispositif avec répétitions : α -plans					
Acquisition de données							
CONTR		Colonne 1		Colonne 2		Colonne 3	
Surface et	Ligne 1	V1	V3	V5	V2	V4	V6
Matériel a	Ligne 2	V6	V2	V4	V3	V1	V5
Main d'œu	Ligne 3	V5	V4	V1	V6	V3	V2

α -plans (carré semi-latins) = dispositifs en blocs incomplets (ici désigné par « sous-blocs »)

Conseillé lorsque le nombre de **traitements** > 15

Les sous-blocs permettent de contrôler l'hétérogénéité à l'intérieur des blocs

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

Dispositif avec répétitions :
 α -plans

CON		Colonne 1 = 1 bloc complet	Colonne 2	Colonne 3
Surfac	Ligne 1 = 1 bloc complet	V1 V3	V5 V2	V4 V6
Matér	Ligne 2	V6 V2	V4 V3	V1 V5
Main c	Ligne 3	V5 V4	V1 V6	V3 V2

α -plans (carré semi-latins) = dispositifs en blocs incomplets

Chaque bloc-ligne et chaque bloc-colonne contiennent chacun des traitements répétés une seule et unique fois

nombre de blocs colonnes = nombre de blocs lignes

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI		Dispositif avec répétitions : α -plans					
Acquisition de données							
CON		Colonne 1 = 1 bloc complet		Colonne 2		Colonne 3	
Surfac	Ligne 1 = 1 bloc complet	V1	V3	V5	V2	V4	V6
Matér	Ligne 2	V6	V2	V4	V3	V1	V5
Main c	Ligne 3	V5	V4	V1	V6	V3	V2

Avantage des α -plans :

Répartition des traitements jugée plus appropriée par les expérimentateurs (la méthode de tirage permet d'éviter que 2 traitements se trouvent côte-à-côte)

Pas de contrainte technique de mise en place plus importante qu'avec les blocs aléatoires complets

Tirage des α -plans : algorithmes de tirage disponibles sur logiciels statistiques (ex : STATBOX), et également présentés par Patterson et Williams (1976), ITCF (2001), Patterson et al. (1978)

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain →

2 gradients

**nombre de répétitions = nombre de
traitements**

dispositif en carré latin

- **Contrôle de la double
hétérogénéité du terrain**
- Un traitement est placé une seule
fois et unique dans chaque ligne
et chaque colonne

Dispositif avec répétitions :
blocs

T3	T2	T4	T1	T5
T2	T1	T3	T5	T4
T4	T3	T5	T2	T1
T1	T5	T2	T4	T3
T5	T4	T1	T3	T2

Légende

- Traitement 1
- Traitement 2
- Traitement 3
- Traitement 4
- Traitement 5

Gradient ↑

Gradient →

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

Dispositif avec répétitions :
blocs

CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain

Matériel agricole

Main d'œuvre disponible

Dispositif en **split-plot**

Facilite les interventions culturales
Chaque bloc est divisé en autant
de sous-blocs que de modalités du
1^{er} facteur

Les modalités du 2nd facteur sont affectées au hasard dans chaque sous-bloc

Facteur dose d'azote : 2 doses testées

Facteur variété : 6 variétés testées

C		Bloc 2		Bloc 3	
Sous-bloc N	Sous-bloc sans N	Sous-bloc N	Sous-bloc sans N	Sous-bloc sans N	Sous-bloc N
T3	T4	T5	T3	T2	T4
T6	T3	T6	T1	T5	T1
T4	T6	T2	T4	T3	T6
T2	T1	T1	T5	T6	T3
T5	T2	T4	T2	T1	T2
T1	T5	T3	T6	T4	T5

gradient

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

FINALITE DE L'ESSAI

Acquisition de données

CONTRAINTES TECHNIQUES

Surface et homogénéité du terrain

Matériel agricole

Main d'œuvre disponible

Dispositif avec répétitions :
blocs

Facteur dose d'azote : 2 doses testées

→ Facteur variété : 6 variétés testées

Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3	
Sous-bloc N	Sous-bloc sans N	Sous-bloc N	Sous-bloc sans N	Sous-bloc sans N	Sous-bloc N
v3	v3	v5	v5	v2	v2
v6	v6	v6	v6	v5	v5
v4	v4	v2	v2	v3	v3
v2	v2	v1	v1	v6	v6
v5	v5	v4	v4	v1	v1
v1	v1	v3	v3	v4	v4

Gradient

Dispositif en criss-cross

Facilite les interventions culturales
Chaque bloc est divisé en autant de sous-blocs que de modalités du 1^{er} facteur

Les traitements du 2nd facteur sont en vis-à-vis dans chaque sous-bloc

Partie 1

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai :

Importance du choix de type de dispositif pour les analyses statistiques :

Notion de puissance de l'essai : capacité de l'essai à montrer des différences entre les différents traitements étudiés

Plus on augmente les contraintes expérimentales (blocs, sous-blocs...) moins l'essai sera précis

De manière générale on classe la puissance des dispositifs ainsi :

Randomisation totale > Bloc aléatoires complet > Carré latin > Split-plot > Criss-cross

L'analyse statistique effectuée doit toujours correspondre au type de dispositif choisi

Le plan en **blocs aléatoires complets** est le **plus courant en expérimentation portant sur les PRO** de plein champ : **bon compromis** entre prise en compte des contraintes techniques et puissance statistique.

L' **α -plan** est plus courant en **expérimentation variétale** comportant plus de 15 traitements : répartition satisfaisante des traitements, bonne puissance statistique.

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de l'essai : contraintes budgétaires – quelles solutions ?

CONTRAINTES DE BUDGET

Analyses coûteuses
Temps main œuvre terrain...

- Ne conserver que les **traitements les plus importants** pour les objectifs de l'essai.

Attention ! L'analyse statistique s'en trouve limitée : l'essai qui présentait 2 facteurs étudiés est réduit à 1 facteur

- Se limiter à **3 répétitions**
- Opter pour un **dispositif facilitant les interventions** (split-plot, criss-cross... Attention ! Diminution de la puissance de l'essai)
- Prévoir **l'échantillonnage de chaque répétition de chaque traitement**, les stocker et **reporter les analyses** dans le temps

Nom traitement	Traitements
FB 0t	Fumier de bovins FB x 5 t MB/ha
FB 10t	Fumier de bovins FB x 10 t MB/ha
CDV 0t	Compost de déchets verts CDV x 5 t MB/ha
CDV 10t	Compost de déchets verts CDV x 10 t MB/ha
B 0t	Boue de STEP B x 5 t MB/ha
B 10t	Boue de STEP B x 10 t MB/ha

Partie 1

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai : **CONSTRUCTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

**Points à ne pas négliger pour la représentativité et la durabilité de
l'essai :**

Taille des parcelles élémentaires : La taille des parcelles élémentaires doit être
fixée de façon à assurer **HOMOGENEITE** et **DURABILITE** :

- Plus les prélèvements sont fréquents, nombreux et donc destructifs plus la
parcelle doit être grande
- MAIS plus la parcelle élémentaire est grande et plus le risque d'hétérogénéité est
grand !
- Pas de préconisation précise dans la bibliographie

**→ Compromis entre les principes théoriques et les contingences
pratiques**

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai : **CONSTRUCTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL**

**Points à ne pas négliger pour la représentativité et la durabilité de
l'essai :**

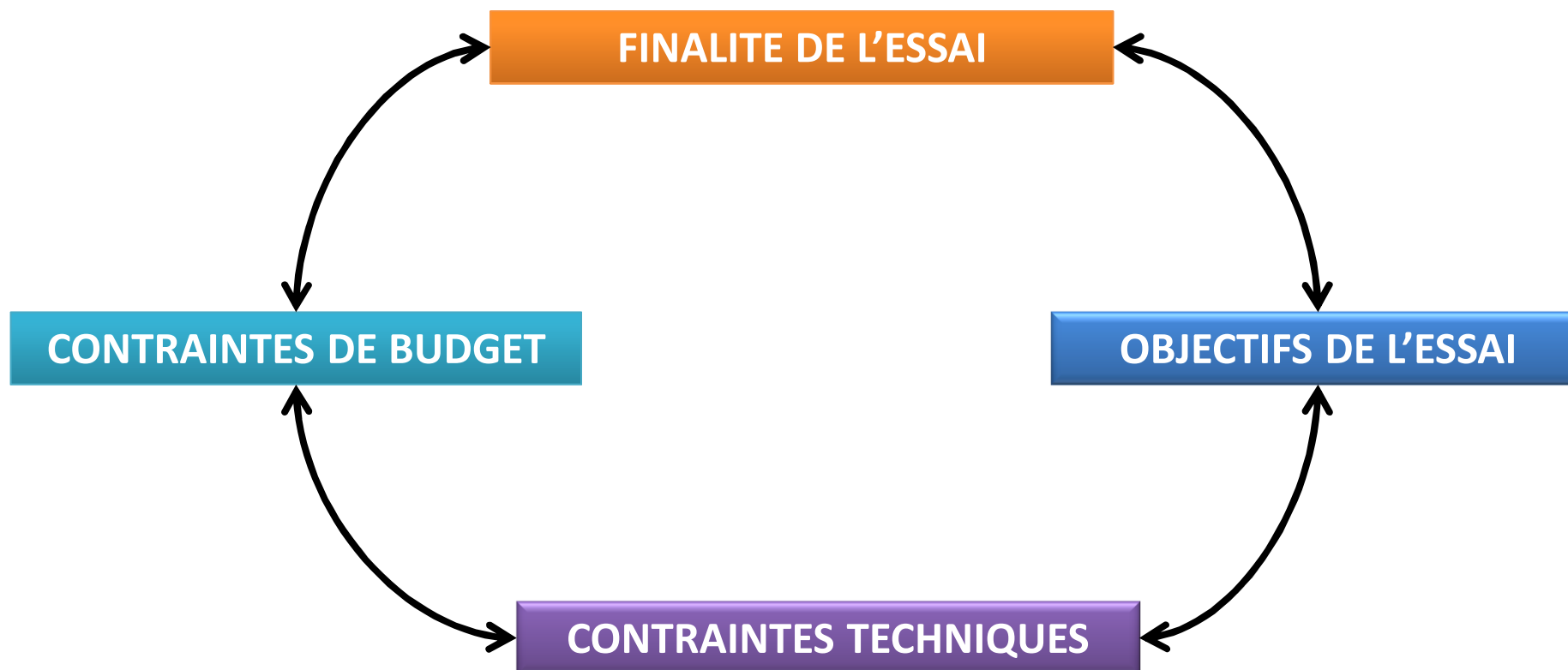
Effet « bordure » : existence d'interférences entre les parcelles élémentaires voisines (et donc les traitements) :

- **limiter la zone d'observation / prélèvement** en excluant un couloir de 1 m à l'intérieur de la parcelle élémentaire
- Prévoir des **espaces entre les parcelles élémentaires et les blocs** : essais de longue durée et travail du sol : risque de déplacement de sol d'une parcelle élémentaires à l'autre (« contamination » des traitements entre eux)

Partie 1

Démarche agronomique et statistique de mise en place d'un essai agronomique

Choix du type de dispositif lors de l'élaboration du protocole de
l'essai : BILAN



Etudes de cas (1 et 2), construction de séquences pédagogiques

1. Etude de protocoles de conduite d'essais de plein champ (2h)
2. Mise en place d'une étude pour étudier une question liée au recyclage agricole de produits résiduels organiques (1h)

Partie 2 – Exemple de mise en place et conduite agronomique d'essais de plein champ

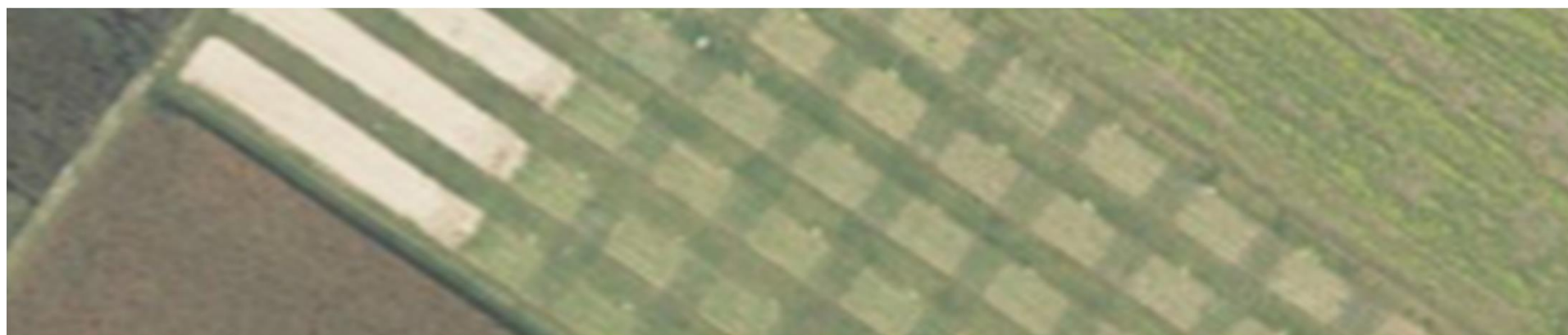
1. Exemples d'essais au champ de longue durée, instituts recherche Finalités recherche

Plans, traitements, objectifs/conduite adaptés au contexte et finalités

Mesures effectuées

Moyens humains mobilisés

2. Exemple d'un essai au champ conduit par un institut technique Finalités appliquées



Exemple d'essais « observatoire »

QualiAgro – observatoire SOERE PRO, Yvelines

Mis en place en 1998, 6 ha

2 facteurs croisés (traitement organique ; $\pm$ fertilisation N)

Objectif : évaluer valeur agronomique et impact environnemental/sanitaire composts urbains

Contexte pédoclimatique :

sol limoneux lessivé ; pH 7,0

Traitements :

compost biodéchets (BIO)

compost déchets verts + boue (DVB)

compost ordures ménagères rés. (OMR)

fumier bovins (FUM)

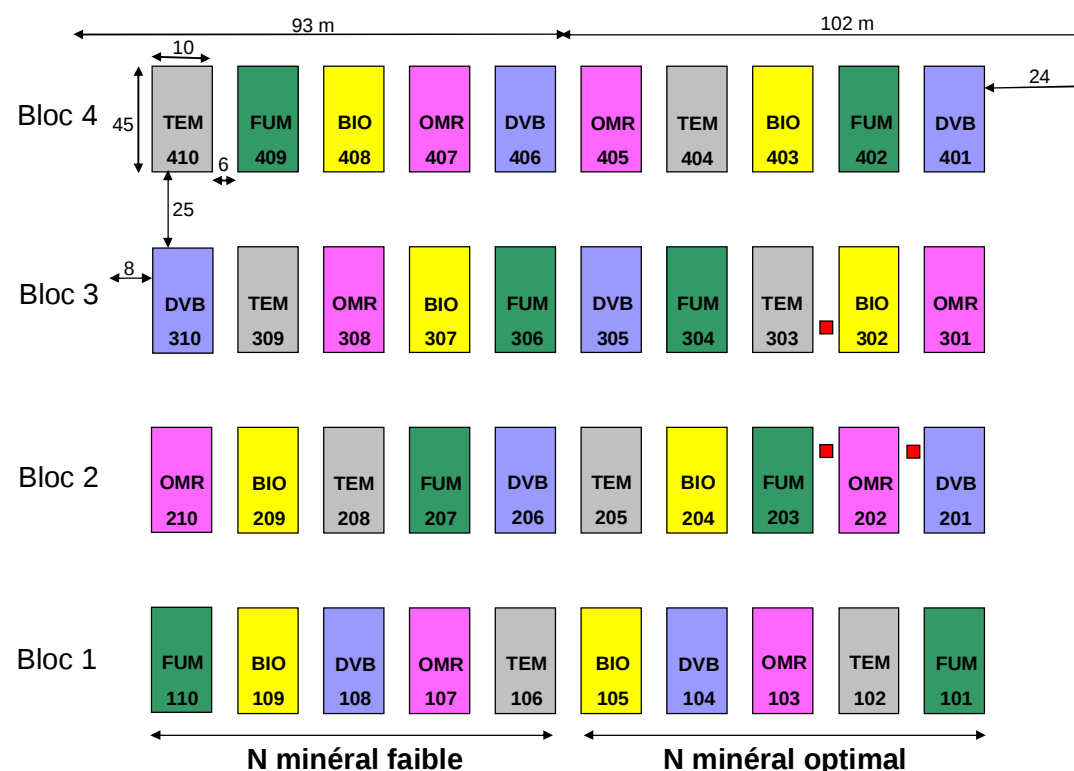
témoin (TEM)

2 niveaux ferti. N : faible et optimale

Cultures : blé – maïs (orge 2007)

Epandages : tous les 2 ans

4 t C / ha



Exemple d'essais « observatoire »

Colmar, – observatoire SOERE PRO, Haut Rhin

Mis en place en 2000, 2 ha

2 facteurs croisés (traitement organique ; $\pm$ fertilisation N)

Objectif : évaluer effet du compostage sur la valeur agronomique et impact environnemental/sanitaire de PRO urbains et agricoles

Contexte pédoclimatique :
sol limoneux, calcaire ; pH 8,3

Traitements :

boue (BOUE)

boue compostée + déchets verts (BOUE comp)

compost biodéchets (BIO)

fumier bovin (FUM)

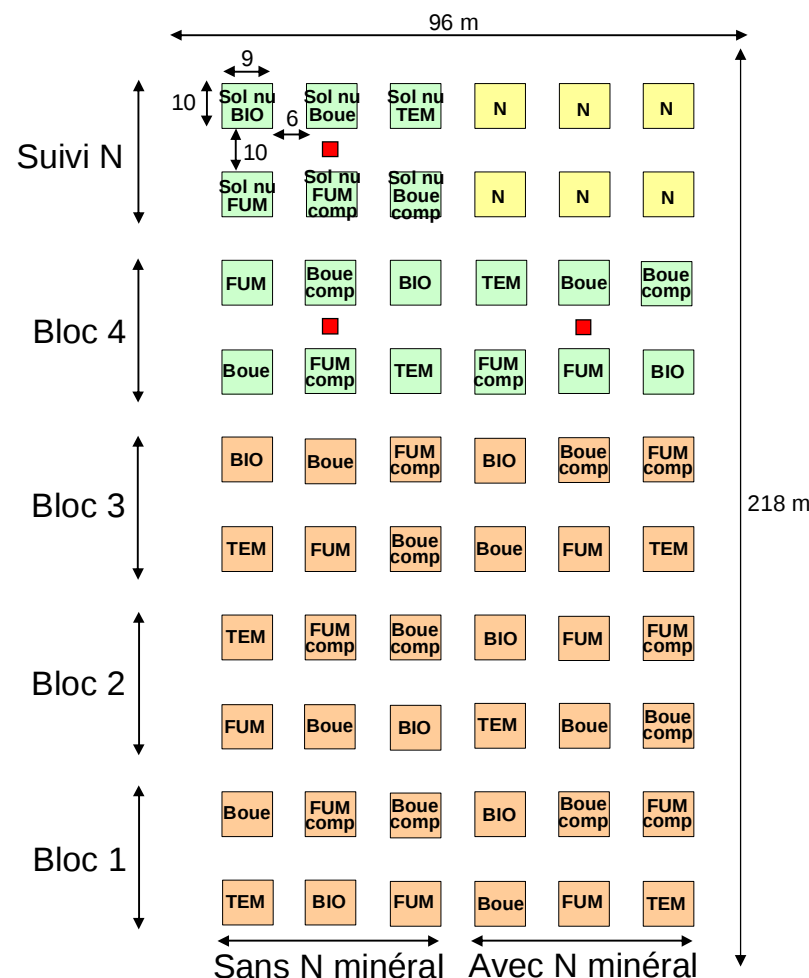
fumier bovin composté (FUM Comp)

témoin (TEM)

2 niveaux ferti. N : faible et optimale

Cultures : maïs - blé - orge - betterave sucrière

Epandages : tous les 2 ans, apport 170 kg N tot / ha



Exemple d'essais « observatoire »

Rennes, – observatoire SOERE PRO, Ile et Vilaine

Mis en place en 2010, 4 ha

Objectif : évaluer les effets agronomiques et environnementaux des apports d'effluents élevage et co-produits de traitement en grande culture

PRO :

fumier bovins (FB)
lisier porc (LP)
lisier porc composté (CLP)
fientes volailles (FV)
digestat méthanisation (DM)

Cultures : maïs/blé-cipan

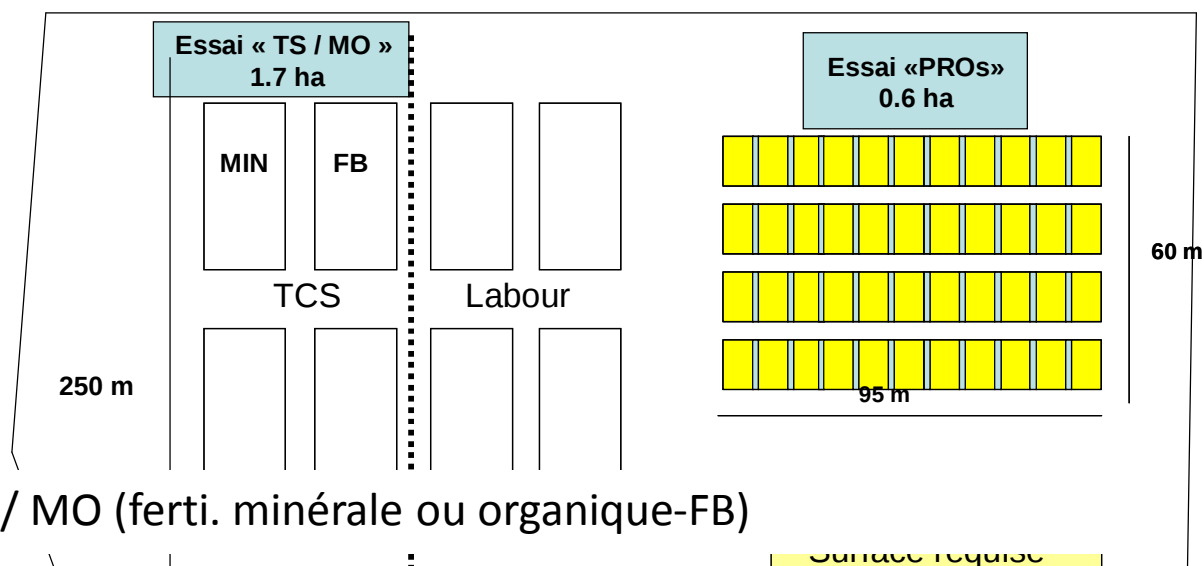
Essais : PRO et travail simplifié sol / MO (ferti. minérale ou organique-FB)

Implantation

2009 : prospection pédologique (homogénéité site), aménagement site

2010 : installation matériel mesures phys., fosses, chambres auto., homogénéisation (maïs)

2011 : point 0 avant épandage, 1^{er} épandage, 1^{ère} culture (maïs)



Exemple d'essais « observatoire »

Exemples de mesures effectuées

sol

avant épandage
sur horizon labouré

majeurs + N minéral (0-90 cm, 3 fois / an)
polluants (ETM, HAP*, PCB*, Phthalates*, LAS*, NEP*, PCDD-F*)
agents pathogènes humains*

PRO

à chaque épandage

majeurs
polluants (ETM, HAP, PCB, Phthalates*, LAS*, NEP*, PCDD-F*)
agents pathogènes humains*

plantes

à chaque récolte
résidus et grains

rendement
majeurs
polluants (ETM, HAP*, PCB*, Phthalates*, LAS*, NEP*, PCDD-F*)
agents pathogènes humains*

eaux percolation

fonction précipitations

majeurs
polluants (ETM)

précipitations

mensuellement

majeurs (C, N)
polluants (ETM, HAP* et PCB*)

gaz émissions

épandage

NH_3^* , CO_2^* , NO^* , NO_2^* , N_2O^* , O_3^*

* Pas à chaque échantillonnage

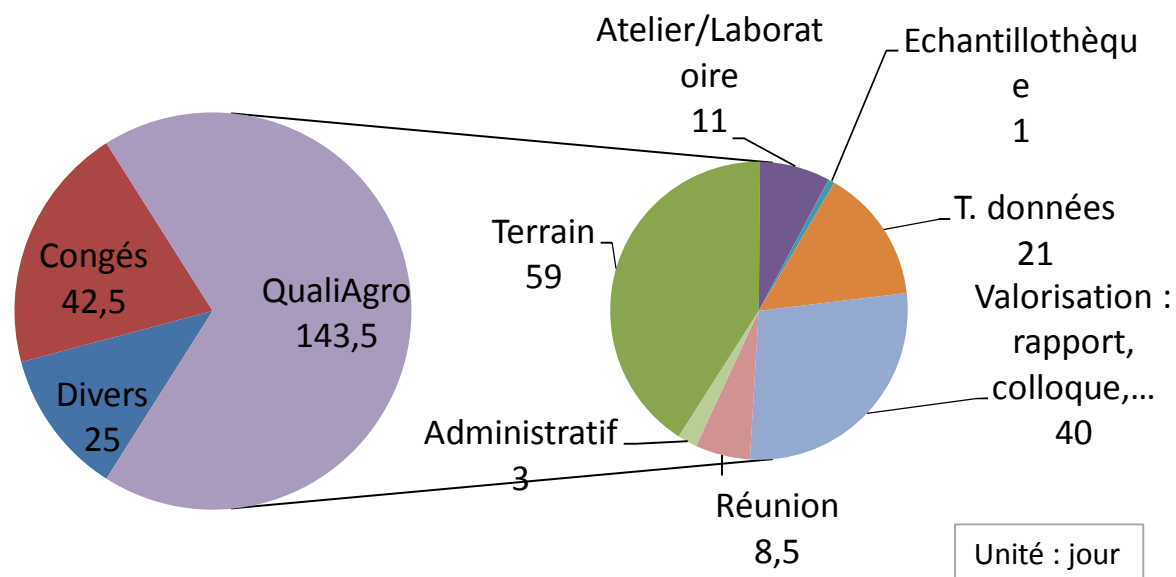
Exemple d'essais « observatoire »

Exemple de moyens humains

QualiAgro

JN
V

25 % QualiAgro
90% QualiAgro



A
S

10-15 % synthèse et exploitation des données, qualité
Responsable scientifique

* Pas à chaque échantillonnage

Exemple d'essais « observatoire »

Exemple de moyens humains

Colmar

D	90 % Plateforme Colmar , dont : 35 % terrain 10 % coordination gestion dispositif 30 % enregistrement mesures et résultats analyses 15 % communication résultats
Personnel UE	30% interventions culturelles, prélèvements, instrumentation
M	20 % Suivi du site, prélèvements, instrumentation
N	5 % Suivi du site, interprétation des données, protocoles
A	10 % Suivi du site, analyse interprétation données, protocoles

Unité : jour

* Pas à chaque échantillonnage

Exemple d'essais « observatoire »

Finalités de ces essais « observatoire »

Exploitation des résultats par site et de façon croisée

- ➔ conduite harmonisée, fiable, traçabilité des interventions, conservation échantillons, données, qualité des résultats analytiques
- ➔ contextes d'acquisition en adéquation avec contexte local et contextes étudiés complémentaires

Finalités

- ➔ traitements statistiques (intra/inter-essais)
- ➔ bilan à l'échelle de parcelle des entrées/sorties des éléments (majeurs, contaminants)
- ➔ distribution des éléments entre les compartiments de l'agrosystème
- ➔ modèles prévisionnels
- ➔ hiérarchisation des risques

* Pas à chaque échantillonnage

Exemple, un site de longue durée ayant dérivé

Ambarès – essai de longue durée, Gironde

Mis en place en 1974

5 blocs, 4 parcelles de chaque traitement

Objectif : évaluer apport dynamique ETM apportés par des boues contaminées (dose représentative et en forte quantité)

Thématique étudiée à l'époque car des cas de contamination

Contexte pédoclimatique :

sol sableux ; pH 5,3

Traitements :

B10 ou B100 : boue péri-urbaines à 10t/an ou 100t/2ans

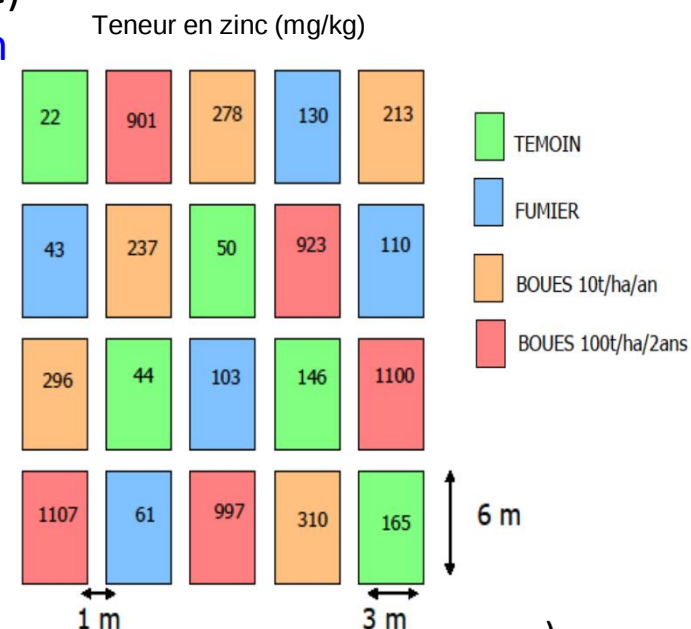
FUM : fumier (10t/an)

T : Témoin (fertilisation minérale uniquement)

Boue contaminée essentiellement en Zn et Mn

Cultures : maïs (1974-1996, 1998-2000), pomme de terre (1997, 1999, 2001, 2002, 2003), jachère (depuis 2003)

Arrêt des épandages : 1992 pour B100 et 1993 pour B10 et FUM



Exemple, un site de longue durée ayant dérivé

Ambarès, Gironde

Parcelle de 18 m², espace inter-parcelle de 1m

Contamination des boues en Zn et Mn

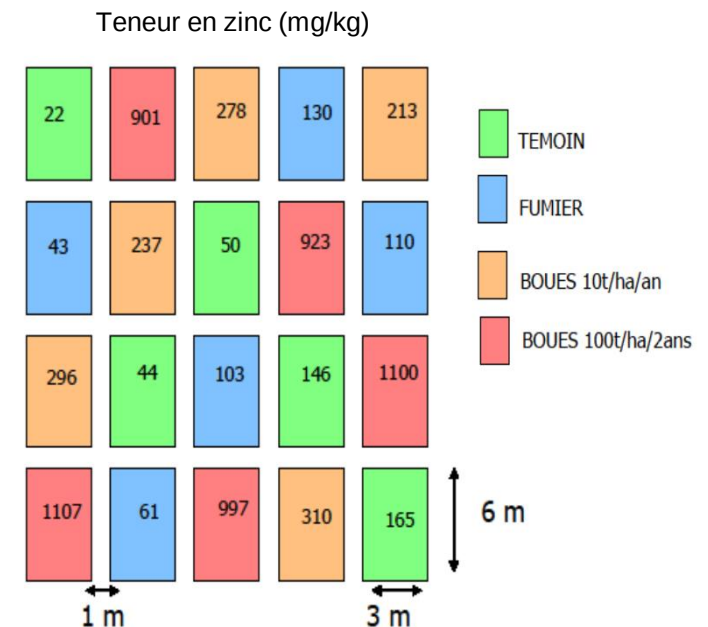
Zn : de 22 à 1100 mg/kg sol

Cd : de 0.33 à 7.5 mg/kg sol

Contamination modérément, supérieure à la réglementation actuelle

Actuellement,

- Pas de répétition entre parcelles, plus de parcelle témoin
- Etude spéciation de Zn et Mn dans les sols (gradient)

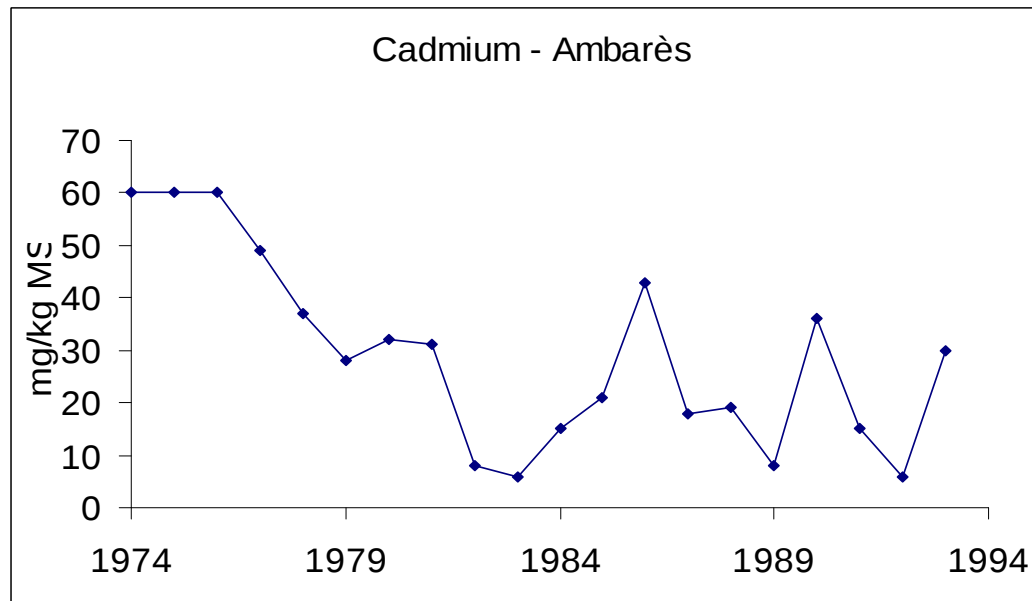


Exemple, un site de longue durée ayant dérivé

Ambarès, Gironde

Limite du protocole de conduite du dispositif

Utilisation de boues péri-urbaines « réelles » : apport de contaminant variable au cours du temps



Utilisation d'organes végétaux peu accumulateurs :
maïs grain et tubercule de pomme de terre

Exemple, un site de longue durée ayant dérivé

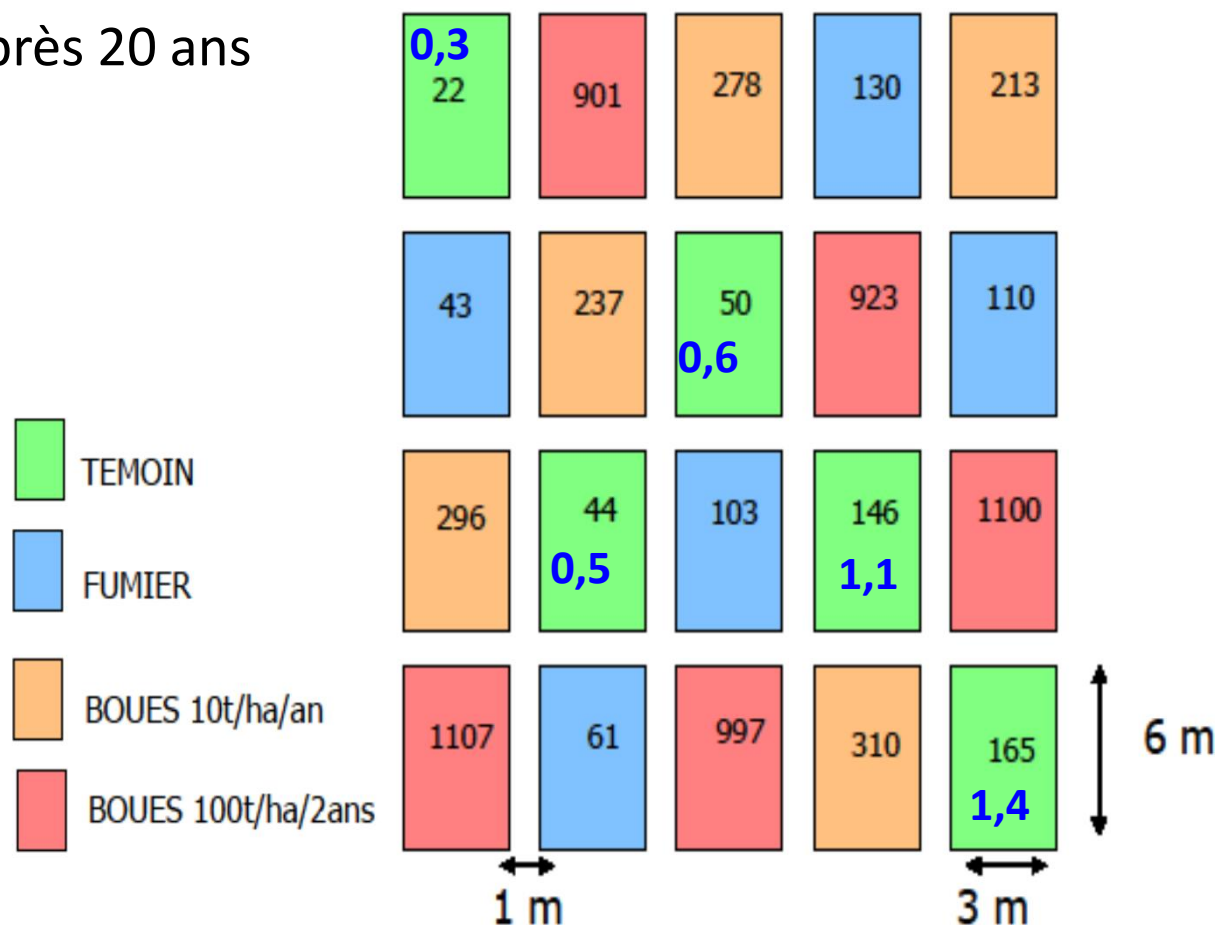
Ambarès, Gironde

Limite du protocole de conduite du dispositif

Distribution des teneurs après 20 ans

Teneurs en Cd (mg/kg)
dans les témoins en 1997

- Hétérogénéité et contamination du témoin
- Transfert sol entre parcelle ?
- Espace inter-parcelle trop étroit ?
- Problème labour ?



Exemple, un site de longue durée ayant dérivé

Ambarès, Gironde

Limites et intérêts

Après 20 ans, le dispositif n'est plus un dispositif en bloc :

- ñ il n'y a plus de répétitions,
- ñ il n'y a plus qu'un seul vrai témoin.

Grande diversité de situations sur une superficie réduite

Echantillons de sols disponibles mais en petite quantité (1 kg)

Echantillons de boues stockés (pas toutes les années)

Stockage des échantillons dans des conditions non optimales

→ **Essai long terme peut dériver et perdre de l'intérêt / but initial**

→ **Nécessité d'un suivi de l'information et d'une collecte des protocoles et d'un archivage des données**

→ Source d'échantillons « réels », contamination historique

→ Pédothèque bien gérée (traçabilité, stockage des échantillons)
peut permettre de nouvelles investigations

Exemple d'essais de plein champ

2. Exemple d'un essai au champ conduit par un institut technique

Finalités appliquées

Exemple d'essai de plein champ à finalité appliquée

Essai de Saint-Etienne, Institut Français de la Vigne et du Vin

Contexte de mise en place de l'essai, finalités, objectifs

Saint-Etienne est un essai viticole, mené par l'IFV de 2009 à 2016 dans le cadre du réseau MO

L'essai a pour objectifs de permettre :

- d'améliorer le conseil relatif à la gestion de la MO du sol auprès des viticulteurs,
- de connaître les produits organiques qui influent sur la MO,
- de connaître les effets de ces produits sur la vigne et le sol.

Finalités : acquisition de référence

Variables suivies : **Propriétés physico-chimiques du sol** (teneur C, N, pH)
Vigne raisin et bois de taille (rendements, biomasse, qualité récolte, teneurs C, N)

Exemple d'essai de plein champ à finalité appliquée

Essai de Saint-Etienne, Institut Français de la Vigne et du Vin

Facteurs étudiés : nature de PRO croisé à la fréquence d'apport

Modalités :

Nature du PRO : Orgaveg (produit commercialisé)
Compost végétal

Fréquence apport : tous les 2 ans
tous les 4 ans

Traitements (combinaison des modalités des facteurs étudiés)

TEM ⇒ traitement témoin sans apport

ORG2 ⇒ apport d'Orgaveg (produit commercialisé) tous les 2 ans

ORG4 ⇒ apport d'Orgaveg (produit commercialisé) tous les 4 ans

VEG2 ⇒ apport de compost végétal tous les 2 ans

VEG4 ⇒ apport de compost végétal tous les 4 ans

Exemple d'essai de plein champ à finalité appliquée

Essai de Saint-Etienne, Institut Français de la Vigne et du Vin

Dispositif expérimental : dispositif en blocs aléatoires complets

Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4	
	102 2-ORG2 b1	205 5-VEG4 b2	202 2-ORG2 b2		304 4-VEG2 b3	405 5-VEG4 b4	401 1-TEM b4
103 3-ORG4 b1	104 4-VEG2 b1	204 4-VEG2 b2	201 1-TEM b2	302 2-ORG2 b3	305 5-VEG4 b3	402 2-ORG2 b4	404 4-VEG2 b4
105 5-VEG4 b1	101 1-TEM b1		203 3-ORG4 b2	301 1-TEM b3	303 3-ORG4 b3	403 3-ORG4 b4	...

	ORG2
	TEM
	VEG4
	VEG2
	ORG4

4 répétitions du
traitement
ORG4

une parcelle
élémentaire

Etudes de cas

3. Pour le sujet du cas d'étude 2, proposer un protocole de conduite d'un essai de plein champ et l'exploitation et valorisation des résultats

3. a. Pour le sujet pris comme cas d'étude au point 2, proposer un protocole de conduite de l'essai agronomique pouvant répondre à la question posée par des Tiers (1h)

Gestion des données

Gestion données : assurer qualité et traçabilité des données

Lien avec la gestion des échantillons (traçabilité, conservation)

→ Finalités : permettre l'exploitation des résultats

Gestion des échantillons

La démarche qualité de gestion des échantillons intègre les documents de référence (procédures, instructions) ainsi que les outils papiers et informatiques (fiche de suivi, cahier de laboratoire, base de données, fichiers XLS...) utilisés depuis le prélèvement d'un échantillon jusqu'à son analyse et à sa conservation à plus ou moins long terme. Cette gestion doit intégrer les spécificités propres au dispositif expérimental d'acquisition des échantillons et les caractéristiques physico-chimiques des échantillons et des paramètres suivis sur ceux-ci.

La démarche qualité de gestion des échantillons pourra donc différer en fonction du dispositif expérimental d'acquisition de données, de la matrice considérée (PRO, sol, plante, eau) et des paramètres suivis ou pouvant être analysés à l'avenir (ex. polluants organiques émergents).

Globalement, la démarche qualité de gestion des échantillons intègre les étapes suivantes :

- Prélèvement des échantillons
- Préparation des échantillons
- Conditionnement des échantillons pour analyses / conservation (court-long terme)
- Identification des échantillons
- Archivage des informations relatives aux échantillons
- Stockage des échantillons dans une « échantillothèque »
- Envoi pour analyses et retours d'analyses, modalités d'élimination des échantillons.

(Michaud et al. 2010 – Démarche de gestion des échantillons du SOERE PRO)

Gestion des échantillons

Après le **prélèvement** (mode opératoire de prélèvement par compartiment, voir guide méthodologique Réseau PRO), les **échantillons sont transférés** rapidement dans des contenants respectant l'intégrité des matrices échantillonnées (papier, plastique, verre), à une température adaptée aux analyses ultérieures à réaliser.

La **préparation de l'échantillon** consiste à homogénéiser, sécher (température ambiante, étuve), quarter, voire tamiser et broyer les échantillons selon un mode opératoire établi, pouvant ou non être issu d'une norme ISO appropriée (ex. AFNOR Qualité des sols, AFNOR Qualité des eaux).

Afin d'assurer la traçabilité des échantillons, les informations relatives au prélèvement et à la préparation des échantillons sont indiquées dans un cahier de laboratoire ou sur des fiches de suivi (site, parcelle, date de prélèvement, broyage, tamisage...). Elles peuvent par la suite être archivées dans une base de données.

(Michaud et al. 2010 – Démarche de gestion des échantillons du SOERE PRO)

Gestion des échantillons

L'**identification** permet d'assurer le suivi et la traçabilité des échantillons (envoyés et stockés), tout en évitant les erreurs de manipulation. Elle consiste à apporter les informations de base concernant l'échantillon sur le contenant pour identifier les échantillons envoyés en analyses et stockés dans l'échantillothèque

- Eviter perte et/ou inversion échantillons
- Eviter perte et/ou inversion données

Afin d'assurer la **sauvegarde des informations sur les échantillons et leur traçabilité**, il est par ailleurs essentiel d'archiver les informations relatives au dispositif d'acquisition d'échantillons, aux prélèvements, à la préparation, au conditionnement et à toutes interventions sur les échantillons sur des supports :

- papier : fiche de suivi, cahier de laboratoire
- informatique : fichier XLS, base de données
- Explication des jeux de données, contexte d'acquisition
- Ceci est également valable pour tout ce qui concerne les événements intervenus sur le dispositif (ex. accident culturels, sécheresse, dates et interventions ITR...

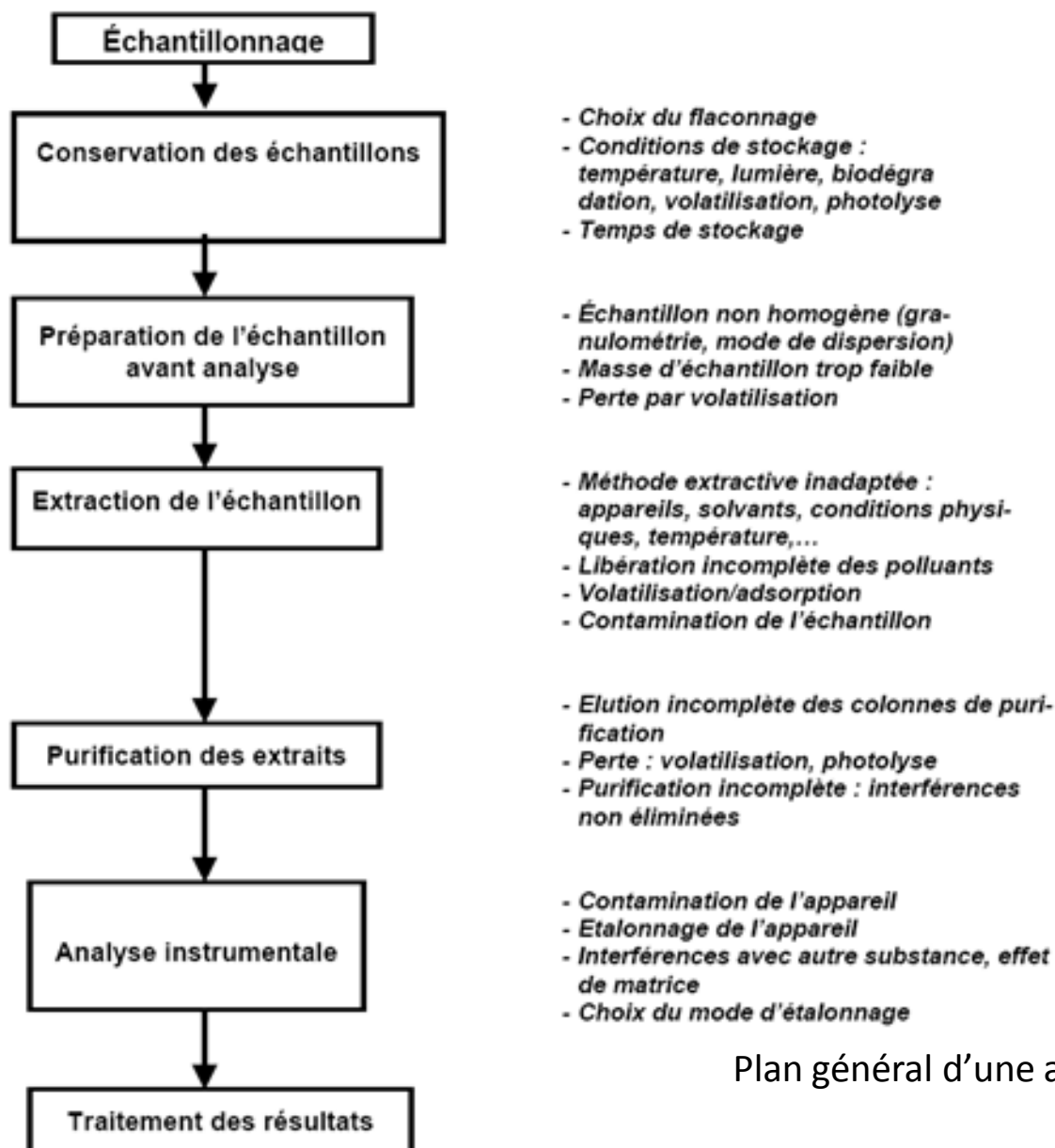
(Michaud et al. 2010 – Démarche de gestion des échantillons du SOERE PRO)

Les **méthodes de conditionnement des échantillons pour analyses et conservation à long terme** sont établies pour assurer l'intégrité et la pérennité des échantillons en vue d'analyses à court et/ou long termes. Lors de la mise en place de la démarche qualité de gestion des échantillons, il est nécessaire de connaître et de définir précisément les conditions de conservation et de stockage des matrices en fonction des paramètres suivis (conditionnement et durée de conservation, conditions environnementales et mesures de sécurité de la salle de stockage).

Le **stockage d'échantillons à long terme** implique le conditionnement évoqué précédemment mais aussi les conditions environnementales du lieu de stockage et les mesures de sécurité requises. Pour assurer la conservation à long terme des échantillons (durée supérieure à 10-20 ans), les paramètres environnementaux de la salle de stockage sont à considérer. Parmi ceux-ci la température, l'humidité, la luminosité et la présence éventuelle de parasites/ravageurs peuvent interférer avec la conservation des échantillons.

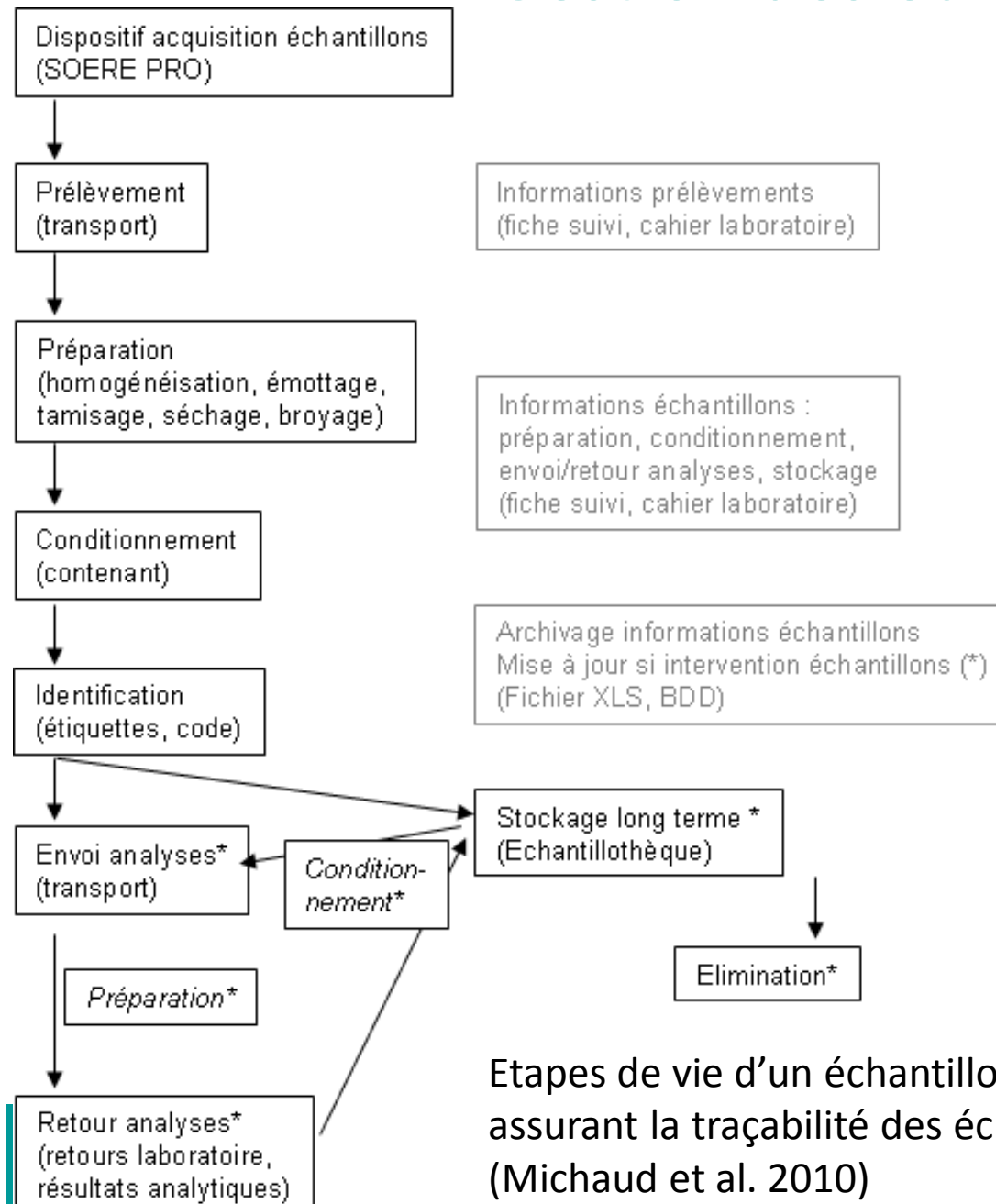
(Michaud et al. 2010 – Démarche de gestion des échantillons du SOERE PRO)

Gestion des échantillons



Plan général d'une analyse de sol – sources d'erreurs au cours du processus analytique (Jeannot et al. 2001)

Gestion des échantillons



Etapes de vie d'un échantillon (SOERE PRO), avec les informations assurant la traçabilité des échantillons indiquées en gris (Michaud et al. 2010)

Gestion des données

Gestion des données

Informations générales sur les essais

Informations générales

Localisation

Mode de conduite (bio, conventionnel)

Objectifs

Personnes ressources

Historique parcellaire

Hétérogénéité connues

Environnement

Sol, couche travaillée

Surface totale du dispositif (m ²)	
Type de culture	
Date de début de l'essai	
Date d'arrêt des épandages de PRO	
Date d'arrêt de l'essai (effective ou prévue)	
Programme(s) associé(s)	
Maître d'œuvre	
Maître d'ouvrage	
Partenaire(s) technique(s)	
Partenaire(s) scientifique(s)	
Partenaire(s) financier(s)	
*Bordure et espaces inter-parcelle compris	
OBJECTIF(S) / THEMES ETUDIES	
Thématique(s) d'étude de l'essai (Plusieurs choix possibles)	Objectif(s) de l'essais

LOCALISATION	
Pays	France
Région	
Département	
Commune	
Coordonnées géographiques (GPS)	
Système de projection	
Coordonnée X	
Coordonnée Y	
MODE DE CONDUITE	
Raisonnement de la dose d'apport de PRO	
Raisonnement de la fréquence d'apport de PRO	
Raisonnement de la fertilisation minérale N	
Raisonnement de la fertilisation minérale P	
Raisonnement de la fertilisation minérale K	
Système de conduite de l'essai	
Changement de mode conduite en cours d'essai	

Gestion des données

Informations de conduite des essais

Descriptif dispositif :

Facteurs étudiés (adaptés à thématique PRO et diversité essais inventoriés)

Traitements

Parcelles

	A	B	C	D	E	F	G	H	AB	AC
1	DISPOSITIF									
2	! 3 tableaux à remplir : <i>Facteurs étudiés concernant les apports fertilisants, Description des traitements et Parcelles élémentaires</i>									
3	Nom dispositif	0		Présence de bordures autour des parcelles élémentaires ?						
4	Type de rotation			Présence de bordures autour du dispositif ?						
5	Y a-t-il eu des modifications d'une modalité d'un des facteurs étudiés au cours de l'essai ?			Espace interparcelle élémentaires (m)						
6										
7	1. Facteurs étudiés concernant les apports fertilisants/amendants									
8	Type de facteurs	Facteur étudié ?								
9	Type d'apport fertilisant ¹									
10	Nature du PRO									
11	Période d'apport du PRO									
12	Valeur de raisonnement de la dose d'apport du PRO ³									
13	Fractionnement de l'apport organique ²									
14	Mode d'enfouissement du PRO (manuel, machine, etc.) :									
15	Profondeur d'enfouissement du PRO :									
16	Fréquence d'apport du PRO									
17	Fertilisation minérale :									
18	¹ Comparaison des effets entre différents types de fertilisants apportés (minéral, organique, minéral et organique, etc.)									
19	² Apport(s) d'un ou de plusieurs PRO à des périodes et/ou des doses différentes d'un traitement à l'autre, sur une même campagne culturale									
20	³ Dose théorique d'apport du PRO établie par rapport à un raisonnement d'apport (ex : raisonnement azote : X kg N/ha.)									
21	2. DESCRIPTION DES TRAITEMENTS					Facteurs principaux			Facteurs additionnels	
22	N°/Dénomination utilisateur du traitement	Nb de répétitions du traitement	Type de traitement			Nom du PRO apporté	Fréquence d'apport du PRO *	Type d'apport fertilisant sur le traitement*	Type de facteur additionnel étudié	Caractéristiques/modalité du traitement (nom, dose, u etc.)

DESCRIPTION DES TRAITEMENTS
Une ligne par traitement. Dans le cas d'un changement de modalité pour un traitement donné en cours d'essai, définir un nouveau nom de traitement et le décrire sur une nouvelle ligne.

Navigation : A Lire | Infos essai | Contexte | Météorologie | PRO étudiés | **Dispositif** | ITR | PRO | Sol | Reliquats | Plante | Plante (2) | Intrants | Eau

Gestion des données

Informations de conduite des essais

Itinéraire technique :

Apports PRO étudiés, fertilisation org. complémentaire (PRO non étudiés)
Fertilisation minérale, phytosanitaires, autres amendements
Travail du sol, irrigation ; Succession culturale

1	Itinéraire technique : à décrire pour chaque année d'expérimentation							
35	TRAVAIL SOL							
	Echelle de l'intervention	Nom échelle d'intervention	Type de travail du sol	Profondeur maximale (cm)	Matériel	Date		
36								
37								
38								
39								
40								
41	IRRIGATION							
	Echelle de l'intervention	Nom échelle d'intervention	Type irrigation	Date de début	Dose cumulée sur la campagne (mm)			
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48	Succession culturale : renseigner toutes les cultures de la succession pour toute la durée de l'essai							
49								
	Echelle de description	Nom de l'échelle décrite	"Objet" de la culture	Culture	Variété	Date de semis	Intervention sur la culture : récolte, coupe (prairie), destruction (CIPAN), retournement (prairie)	Date de l'intervention
50								
51								
52								
53								
54								
55								
56								
57								

[illegible]

Gestion des données

Données acquises sur les essais

PRO	Données PRO (composition chimique/biochimique, caractéristiques agro.)
Sol	Données sol (propriétés physico-chimiques)
Reliquats	Données reliquats
Plantes	Données plantes (rendements, majeurs, traces, qualité des récoltes)
Intrant	Données intrants (propriétés physico-chimiques, traces)

Propriétés physico-chimiques (pH, conductivité)
 Éléments majeurs (C, N, P), contaminants (minéraux, organiques, biologiques)
 Rendements, qualité technique des cultures

Infos PRO / sol incubés	Informations sur les PRO et le sol incubé avec les propriétés et la préparation
Incub sol + PRO C	Résultats d'incubation C du sol seul, sol + PRO, PRO seul
Incub sol + PRO N	Résultats d'incubation N du sol seul, sol + PRO, PRO seul
Incub sol	Résultats d'incubation du sol seul pour les minéralisations C et N
Observations	Observations réalisées sur le dispositif
Evènements cultureux	Evènements intervenus pendant la conduite du dispositif

Gestion des données

Saisie et validation scientifique des données

Qualiagro_Sol_CompilationDonnees_Stocks_ETM_VerifVMAM_20140123 - Microsoft Excel

Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage Compléments

Coller Presse-papiers Police Alignement Nombre Style Cellules Édition

Commentaire 16

1 Observatoire SOERE PRO
2 Plateforme Grignon
3 Dispositif QualiAgro
4
5 Compartiment Sol
6 Type de prélèvement Sol
7
8 Date de prélèvement 29/08/2007
9
10 Laboratoire d'analyse LAS
11
12 Type de données Données brutes
13
14
15
16
17

Cellules à remplir
Cellules bloquées
Cellules vides
Contre-analyse
Valeur aberrante co
Suivi analytique (sol composite)
Valeur aberrante co
Valeurs < LQ

Vincent
Mercier:
contre analyse
Valeur initiale 3,49

Bloc	Parcelle	Type de produit	Apport d'azote	Sodium échangeable Cobaltihexammine cmol+/kg MS 105°C	Potassium échangeable Cobaltihexammine cmol+/kg MS 105°C	Fer échangeable Cobaltihexammine cmol+/kg MS 105°C	Manganèse échangeable Cobaltihexammine cmol+/kg MS 105°C	Aluminium échangeable Cobaltihexammine cmol+/kg MS 105°C	Aluminium Total HF g/kg MS 105°C	Bore Soluble eau bouillante mg/kg MS 105°C	Cadmium Total HF mg/kg MS 105°C	Chrom Total HF mg/kg MS 105°C
1	104	DVB	N optimal / avec N	0,05	0,45	0,0025	0,02	0,03		0,449	0,22	41,97
2	201	DVB	N optimal / avec N	0,05	0,46	0,0025	0,02	0,04		0,403	0,22	42,66
3	305	DVB	N optimal / avec N	0,04	0,53	0,0025	0,02	0,03		0,396	0,22	46,25
4	401	DVB	N optimal / avec N	0,05	0,48	0,0025	0,02	0,03		0,402	0,24	45,06
25	105	BIODECHET	N optimal / avec N	0,04	0,56	0,0025	0,01	0,04		0,263	0,22	43,35
26	204	BIODECHET	N optimal / avec N	0,03	0,72	0,0025	0,0025	0,03		0,330	0,24	44,16
27	302	BIODECHET	N optimal / avec N	0,03	0,61	0,0025	0,01	0,03		0,280	0,22	54,04
28	403	BIODECHET	N optimal / avec N	0,04	0,71	0,0025	0,01	0,04		0,310	0,24	42,18
29	103	OMR	N optimal / avec N	0,06	0,41	0,0025	0,01	0,04		0,278	0,23	43,02
30	202	OMR	N optimal / avec N	0,05	0,41	0,0025	0,01	0,04		0,259	0,24	46,55
31	301	OMR	N optimal / avec N	0,05	0,41	0,0025	0,01	0,01	Idc: LQ=0,02	0,260	0,22	49,37
32	405	OMR	N optimal / avec N	0,05	0,43	0,0025	0,01	0,01		0,272	0,22	44,82
33	101	FUMIER B	N optimal / avec N	0,06	0,83	0,0025	0,02	0,03		0,315	0,22	44,56
34	203	FUMIER B	N optimal / avec N	0,06	1,00	0,0025	0,02	0,03		0,350	0,24	44,04
35	304	FUMIER B	N optimal / avec N	0,05	0,94	0,0025	0,01	0,03		0,265	0,23	41,68
36	402	FUMIER B	N optimal / avec N	0,04	0,92	0,0025	0,02	0,03		0,339	0,24	43,21
37	102	TEMOIN	N optimal / avec N	0,03	0,28	0,0025	0,03	0,04		0,299	0,21	43,96
38	205	TEMOIN	N optimal / avec N	0,02	0,36	0,0025	0,02	0,03		0,265	0,21	42,25
39	303	TEMOIN	N optimal / avec N	0,03	0,33	0,0025	0,02	0,03		0,231	0,21	44,11
40	404	TEMOIN	N optimal / avec N	0,02	0,33	0,0025	0,02	0,03		0,265	0,21	42,54
41	108	DVB	N minimal / sans N	0,04	0,45	0,0025	0,02	0,04		0,396	0,23	43,36
42	206	DVB	N minimal / sans N	0,04	0,44	0,0025	0,02	0,03		0,435	0,23	41,67
43	310	DVB	N minimal / sans N	0,04	0,59	0,0025	0,02	0,03		0,427	0,23	45,78
44	406	DVB	N minimal / sans N	0,04	0,45	0,0025	0,02	0,01		0,396	0,22	42,50

Gestion des données

Saisie et validation scientifique des données

Qualiagro_PRO_CompilationDonnees_Flux_ETM_VerifVMAM_20140122 - Microsoft Excel

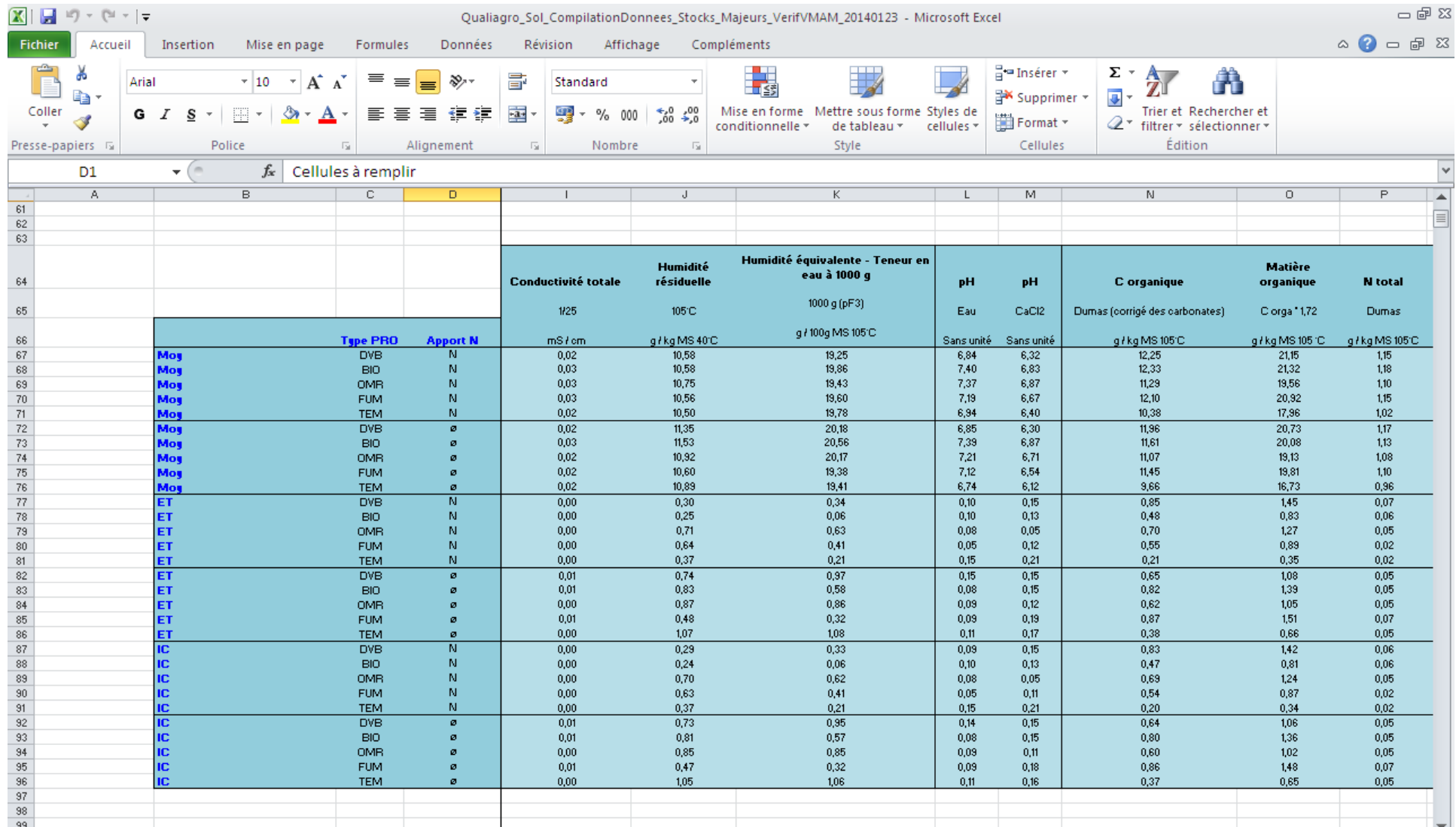
Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage Compléments

Coller Presse-papiers Police Alignement Nombre Mise en forme conditionnelle Mettre sous forme de tableau Styles de cellules Insérer Supprimer Format Trier et Rechercher et filtrer Édition

	A	B	C	D	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	Observatoire	SOERE PRO		Cellules à rempl											
2	Plateforme	Grignon		Cellules bloqué											
3	Dispositif	QualiAgro		Cellules vides											
4				Contre-analyse											
5	Compartiment	Soi		Valeur aberran											
6	Type de prélèvement	PRO		Valeur aberran											
7				Valeurs < LQ											
8	Date de prélèvement	05/09/2004													
9															
10	Laboratoire d'analys	LAS													
11															
12	Type de données	Données brutes													
13															
14															
15															
16															
17															
	Type de produit	Numéro de répétition	Date de prélèvement	Molibdène	Nickel	Plomb	Thallium	Zinc	Argent	Arsenic	Sélénium		Cadmium	Chrome	Cuiv
				Total HF	Total HF	Total HF	Total HF	Total HF	Total HF	Total (HG-AAS)	Total (HG-AAS)		changeable CaCl2 (0.01 m	changeable CaCl2 (0.01 m	changeable CaCl2 (0.01 m
				mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C	mg / kg MS 105°C		µg / kg MS 105°C	µg / kg MS 105°C	µg / kg MS 105°C
21	DVB	1	05/09/2004		31,60	52,80		380,00		3,46	0,21		5,37	100,00	
22	DVB	2	05/09/2004		32,70	47,00		401,00		4,31	0,21		5,21	98,60	
23	DVB	3	05/09/2004		36,90	55,00		464,00		4,62	0,21		5,08	111,00	
24	BIO	1	05/09/2004		28,60	81,20		233,00		15,30	0,2065		2,44	63,40	
25	BIO	2	05/09/2004		28,80	77,10		230,00		16,00	0,2065		2,39	78,00	
26	BIO	3	05/09/2004		22,00	236,00		205,00		17,40	0,206		2,52	67,80	
27	OMR	1	05/09/2004		21,50	223,00		352,00		10,35	0,207		26,30	963,00	
28	OMR	2	05/09/2004		29,50	202,00		333,00		10,35	0,2075		26,60	919,00	
29	OMR	3	05/09/2004		24,50	180,00		353,00		2,17	0,2065		59,70	898,00	
30	FUM	1	05/09/2004		15,50	87,20		351,00		1,06	0,212		45,60	182,00	
31	FUM	2	05/09/2004		13,80	137,00		389,00		1,065	0,2125		41,70	179,00	
32	FUM	3	05/09/2004		12,10	110,00		375,00		1,065	0,213		38,90	205,00	

Michaud Aurélie:
10/01/14 : valeur vérifiée dans le bulletin LAS.
Valeur jugée aberrante

Ide:
LQ=2,07



Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Avant toute exploitation statistique des résultats, 2 étapes de validation des données acquises sont nécessaires :

Etape 1 : validation agronomique (validation annuelle) :

- Mise en évidence d'un éventuel **problème sur l'essai** (accident de culture, etc.) ?
- **Respect du protocole** ?
- L'essai répond-il bien aux **objectifs fixés** dans le protocole ?

C'est à l'**expérimentateur** lui-même de valider l'essai d'un point de vue agronomique. Toute variable jugée non interprétable pour une année donnée doit être signalée.

Eventuellement, une validation des observations faites pour des objectifs autres que ceux fixés dans le protocole est possible.

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Avant tout exploitation statistique des résultats, 2 étapes de validation des données acquises sont nécessaires :

Etape 1 : validation agronomique (validation annuelle) :

Etape 2 : validation statistique

2 niveaux de validation :

Validation des données : précision des données (calcul de l'ETR). La validation des données est effectuée par variable année/année

Validation des hypothèses du protocole (interprétation possible des données)

ex : ANOVA pour la vérification des hypothèses du modèle d'analyse.

Cette méthode permet de revenir à l'aspect agronomique et de « corriger » le cas échéant l'expérimentation

! Le nombre de répétitions ne permet pas de présumer de la validité de l'essai !

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Validation statistique des données :

- Indispensable avant l'insertion des données dans une base de données
- S'effectue pour chaque paramètre mesuré et chaque année de mesure
- Etape laborieuse et chronophage
- Le **plan d'expérimentation** est une condition sine qua non de l'analyse d'un essai

Notions préliminaires :

Pour les traitements statistiques, on utilise le modèle de l'analyse de variance (ANOVA). Pour un essai en **blocs aléatoires complets**, il est défini ainsi :

Valeur théorique (ANOVA) = effet moyen + effet traitement + effet bloc

Ecart (ou résidus) = Valeur théorique – Valeur mesurée

Ecart (ou résidus) = effet dû au terrain et au contexte pédoclimatique non expliqué et non pris en compte par les blocs.

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Modèle ANOVA :

Valeur théorique (ANOVA) = effet moyen + effet traitement + effet bloc

Ecart (ou résidus) = Valeur théorique – Valeur mesurée

Ecart (ou résidus) = effet dû au terrain et au contexte pédoclimatique non expliqué et non pris en compte par les blocs.

Conditions d'application d'une ANOVA :

- Absence d'interaction traitements x blocs,
- Absence de résidus suspects
- Normalité et indépendance des résidus,
- Egalité des écarts-types intra-traitement et intra-bloc,

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Etapes de validation statistique – Modèle de validation = ANOVA (Analyse de variance)

Etape 1 : validation préliminaires

Calcul d'indicateurs statistique
moyenne, médiane, écart-type

Représentations graphiques
Histogramme et boxplot : distribution des données,
repère de valeurs extrêmes



Etape 2 : Vérification des hypothèses des tests paramétriques

**Interaction
traitement x bloc ?**
Test de Tuckey

**Résidus suspects
?**
test de Grubbs

**Indépendance des
résidus, gradient**
cartographie des
résidus

**Normalité des
résidus**
histogramme,
coefficients

**Egalité des
variances ?**
test de Bartlett



Etape 3 : ANOVA et tests paramétriques

Précision (ETR) et puissance

Effet traitement ?
table d'ANOVA

Groupes de traitement
test de Newman Keuls - Dunett

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Essai de Saint-Etienne, Institut Français de la Vigne et du Vin

L'essai a pour objectifs de permettre :

- d'améliorer le conseil relatif à la gestion de la MO du sol auprès des viticulteurs,
- de connaître les produits organiques qui influent sur la MO,
- de connaître les effets de ces produits sur la vigne et le sol.

Variables suivies :

Propriétés physico-chimiques du sol (teneur C, N, pH)

Vigne raisin et bois de taille (rendements, biomasse, qualité récolte, teneurs C, N)

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Essai de Saint-Etienne, Institut Français de la Vigne et du Vin

Facteurs étudiés : « **Stratégie de fertilisation** » nature de PRO croisé à la fréquence d'apport

Modalités :

Nature du PRO : Orgaveg (produit commercialisé)
Compost végétal

Fréquence apport : tous les 2 ans
tous les 4 ans

Traitements (combinaison des modalités des facteurs étudiés)

TEM ⇒ traitement témoin sans apport

ORG2 ⇒ apport d'Orgaveg (produit commercialisé) tous les 2 ans

ORG4 ⇒ apport d'Orgaveg (produit commercialisé) tous les 4 ans

VEG2 ⇒ apport de compost végétal tous les 2 ans

VEG4 ⇒ apport de compost végétal tous les 4 ans

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Essai de Saint-Etienne, Institut Français de la Vigne et du Vin

Dispositif expérimental : dispositif en blocs aléatoires complets

Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4	
	102 2-ORG2 b1	205 5-VEG4 b2	202 2-ORG2 b2		304 4-VEG2 b3	405 5-VEG4 b4	401 1-TEM b4
103 3-ORG4 b1	104 4-VEG2 b1	204 4-VEG2 b2	201 1-TEM b2	302 2-ORG2 b3	305 5-VEG4 b3	402 2-ORG2 b4	404 4-VEG2 b4
105 5-VEG4 b1	101 1-TEM b1		203 3-ORG4 b2	301 1-TEM b3	303 3-ORG4 b3	403 3-ORG4 b4	

	ORG2
	TEM
	VEG4
	VEG2
	ORG4

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Etape 1 : validation préliminaires

Rendement moyen en raisin :

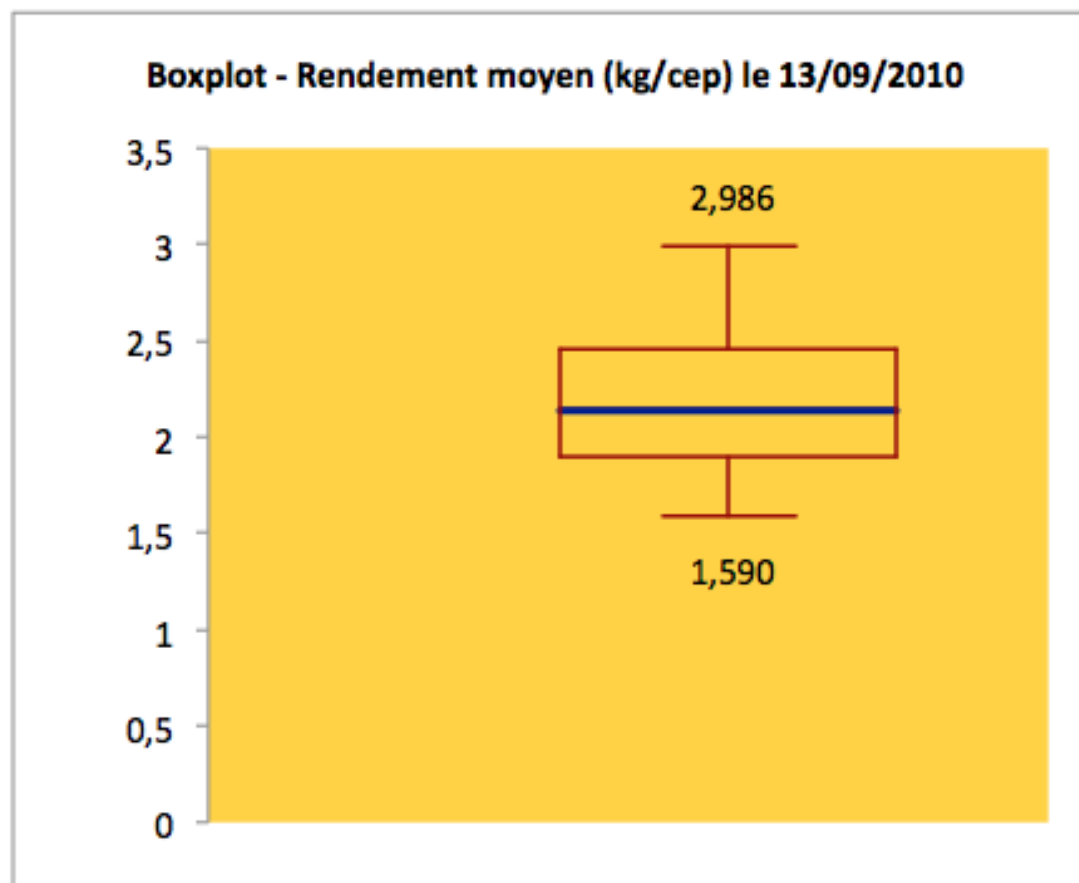
2,138 kg par cep

L'écart-type : 0,363 kg par cep

Rendement total de la récolte de
septembre 2010 : 42,751 kg

Graphiquement :

- pas de valeur aberrante,
- dispersion du paramètre faible,
- distribution symétrique et aplatie.



→ Etape 1 validée : on peut poursuivre l'analyse statistique

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Etape 2 : Vérification des hypothèses des tests paramétriques

Test de Grubbs : pas de résidu suspect pour le rendement moyen en raisin par cep au 13 septembre 2010.

Cartographie des résidus : les résidus sont indépendants, pas de gradient.

	1	2	3	4	5
Bloc 1					
Bloc 2					
Bloc 3					
Bloc 4					

Légende

	Donnée manquante
	< - 0,106
	< 0,000
	< 0,106
	< 999999,000

Test de Bartlett : égalité des variances du rendement moyen en raisin en kg/cep dans les blocs et dans les traitements.

Test de Tuckey : pas d'interaction traitement x bloc

Histogramme des résidus : les résidus sont à peu près distribués normalement.

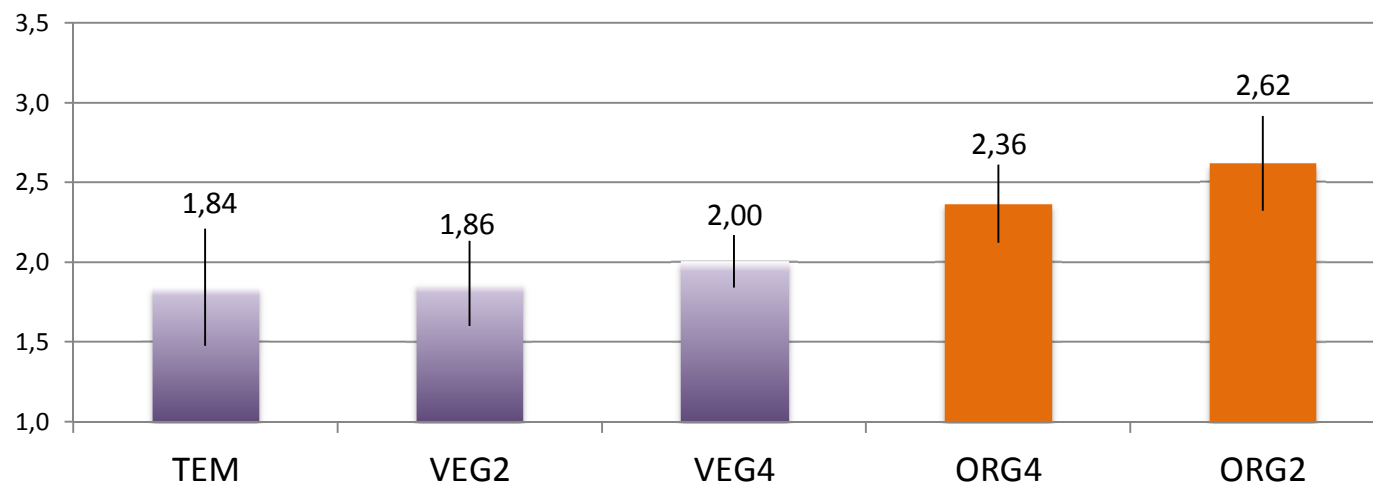
9				105
8				304
7				204
6				403
5	405	303	305	
4	104	103	205	
3	202	302	404	
2	401	102	203	
1	201	301	402	101
Effectifs	5	9	5	1

→ Etape 2 validée : on peut poursuivre l'analyse statistique

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Etape 3 : ANOVA et tests paramétriques

Histogramme du rendement moyen en raisin (2010)
selon le traitement



Attention ! La seule conclusion que l'on peut tirer de l'analyse est la suivante :
Pour ce **paramètre et cette date**, l'essai est **précis et puissant**, c'est-à-dire qu'il a
permis de mettre en évidence des **différences significatives** entre les traitements
étudiés et de faire des **regroupements de traitements** ayant les mêmes effets sur
le paramètre mesuré **DANS LES CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION !**

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Malgré les précautions expérimentales prises, certains problèmes statistiques peuvent être rencontrés :

1) Présence de résidus suspects

→ Détectée(s) par le test de Grubbs et les boîtes à moustaches.

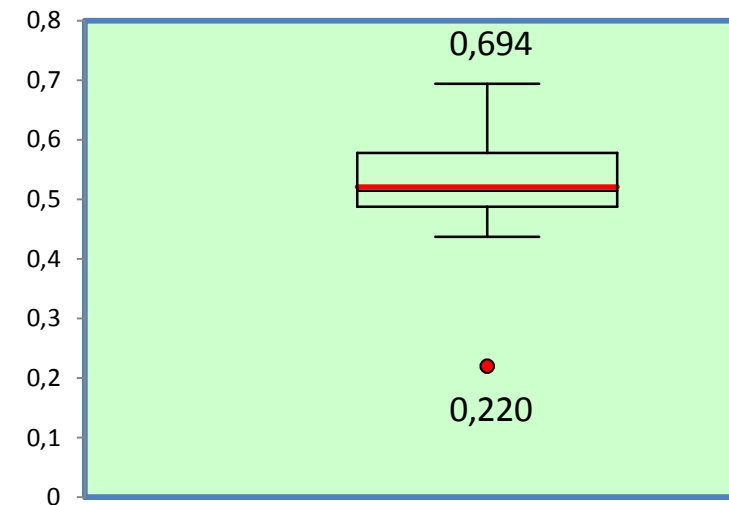
Si justification agronomique :

- ① on élimine la valeur
- ② on la remplace par son estimation (formule de Yates)
- ③ on refait l'analyse avec la valeur estimée

Rappel pour un dispositif en bloc, on a

Valeur mesurée = Effet moyen + Effet traitement + Effet bloc + Effet résiduel

Distribution du P2O5 Dyer le
22/01/2013



Si trop de valeurs sont aberrantes, invalidation de l'essai pour la date et le paramètre considérés.

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Malgré les précautions expérimentales prises, certains problèmes statistiques peuvent être rencontrés :

2) Anormalité des résidus

→ Détectée sur l'histogramme des résidus et par le test des coefficients K Pearson

Distribution des résidus du rendement moyen en raisin en kg par cep pour septembre 2010

9	105
8	304
7	204
6	403
5	405 303 305
4	104 103 205
3	202 302 404
2	401 102 203
1	201 301 402 101
Effectifs	5 9 5 1



Distribution des résidus du poids moyen en bois de taille en kg par cep pour mars 2009

8	107
7	103
6	306
5	304 208
4	104 106 206
3	102 203 301 201
2	108 202 307 207
1	302 305 205 204
Effectifs	8 5 4 3
Bornes	0 0 0 0



Solutions statistiques :

Transformation de variable (logarithmique, racine carrée, arcsinus...), puis tests paramétriques si les conditions sont vérifiées.

Test non paramétrique (Kruskal et Wallis) : moins puissant et moins précis

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Malgré les précautions expérimentales prises, certains problèmes statistiques peuvent être rencontrés :

3) Interactions traitement x bloc (test de Tuckey)

Gradient intra-bloc (cartographie des résidus)

Résidus suspects > 2

Si cela se **justifie d'un point de vue agronomique** (erreur d'apport, dégât accidentel, passage d'animaux...), il est possible d'effectuer l'analyse en retirant

- le bloc (si le nombre de répétitions le permet i.e. >3)

- le traitement

agronomique à l'hétérogénéité :

generato:

Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4	
		205 5-VEG4 b2			304 4-VEG2 b3	405 5-VEG4 b4	401 1-TEM b4
103 3-ORG4 b1	104 4-VEG2 b1	204 4-VEG2 b2	201 1-TEM b2		305 5-VEG4 b3		404 4-VEG2 b4
105 5-VEG4 b1	101 1-TEM b1		203 3-ORG4 b2	301 1-TEM b3	303 3-ORG4 b3	403 3-ORG4 b4	

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Analyses et interprétations statistiques : CE QU'IL FAUT RETENIR

1) Ne jamais se lancer dans l'analyse des résultats de l'ANOVA sans :

- Valider l'essai d'un point de vue agronomique
- Valider statistiquement les données acquises et vérifier les conditions d'application des tests paramétriques

2) Toujours faire prévaloir l'avis d'un agronome à un test statistique

3) En cas d'anomalie statistique, il est possible d'appliquer des tests non paramétriques cependant moins puissants

4) Pour aller plus loin dans l'exploitation des résultats d'un essai :

- **Tests multivariés et régressions** (ACP, AFD, régressions simples voire multiples) : corrélérer certains paramètres entre eux
- **Analyses statistiques temporelles** : mettre en évidence des tendances, des évolutions dans le temps
- **Analyses en réseau d'essais** : permet de généraliser et comparer les résultats à des situations pédoclimatiques différentes.

Conditions : essais présentant les mêmes protocoles de conduite, au moins un traitement en commun (contrôle des conditions expérimentales), une précision équivalente (ETR)

Partie 3 - Gestion des données et exploitation des résultats (traitements statistiques)

Analyses et interprétations statistiques : RESSOURCES

Exemples de logiciels

XLStat

STATBOX Agri : développé par ARVALIS. Très opérationnel et « convivial », facile d'utilisation

R : gratuit – demande de savoir manipuler des scripts

Ressources bibliographiques – formations

Documents du Réseau PRO : méthodes de calculs et d'interprétation des résultats

« Expérimentation agronomique planifiée », P Letourmy, 1999 :

« Méthodes expérimentales en agronomie, Pratique et analyse », M Vilain, 1999.

« Principe d'expérimentation, planification des expériences et analyse de leurs résultats », P Dagnelie, 2003.

« Notions fondamentales en statistiques », Anastats, 2008

Etudes de cas

3. b. Présentation de Statbox Agri, logiciel de traitement statistique des données, présentation de jeux de données (1h)

Etudes de cas (3 c), construction de séquences pédagogiques

3. c. Pour l'essai agronomique proposé, identifier la démarche à mettre en place pour exploiter les résultats acquis sur le dispositif et assurer leur valorisation auprès des acteurs et des Tiers ayant fait la demande (1h)