STA106 - Plans d'expériences

Présentation

Prérequis

Des connaissances générales en statistique et algèbre linéaire sont souhaitables : loi de Fisher, Student, rang et inversion de matrices (sans nécessairement connaître de méthodes spécifiques d'inversion), degrés de liberté.

Objectifs pédagogiques

Les plans d'expériences couvrent des phénomènes de type "boîte noire" que l'on cherche à "éclaircir" pour mieux en comprendre le fonctionnement et en optimiser les performances. La démarche est expérimentale : l'information sur le phénomène observé est acquise à partir d'essais préalablement planifiés. Les plans d'expériences ont pour objectif de minimiser le nombre d'essais afin d'obtenir les meilleures estimations possibles des effets de facteurs sur une ou plusieurs réponses. Leur domaine d'application concerne outre l'expérimentation proprement dite l'amélioration de la conception des produits en qualité. La construction et l'interprétation des dispositifs expérimentaux s'appuiera essentiellement sur le logiciel R

Compétences

A. Cadrage et méthodologie

Qualifier la situation expérimentale (scientifique/technique/numérique) et **identifier les conditions de mise en œuvre** (contraintes, ressources, risques, qualité des mesures).
Formuler le problème (question, hypothèses, variables d'entrée/sortie) et **définir un objectif opérationnel**(criblage, compréhension, optimisation, robustesse, multi-réponses).
Choisir une stratégie d'expérimentation (séquentielle, criblage → modélisation → optimisation) et **justifier le plan retenu**.

B. Construction des plans

Construire et coder des plans factoriels (2^k, 3^k, etc.) et **définir les modalités** (niveaux, facteurs quantitatifs/qualitatifs, contraintes).
Concevoir des plans fractionnaires orthogonaux (Box/Taguchi), **comprendre la résolution** et **gérer l'aliasing**(confusions).
Mettre en œuvre randomisation, répétition, blocking ; **concevoir des plans en blocs** (complets/incomplets équilibrés), **carrés latins** et dérivés.
Construire des plans de surface de réponse (CCD, Box-Behnken, 3^k) et **préparer l'optimisation** (mono-/multi-réponses).
Construire des plans de mélanges (types I à IV), **poser un modèle adapté** et **interpréter**.
Concevoir des plans pour expériences numériques : **space-filling**, **hypercube latin**, **suites à faible discrépance**, et relier aux **analyses d'incertitude/sensibilité**.

C. Planification et conduite des essais

Planifier l'exécution (ordre des essais, disponibilité matériel, intervenants), **dimensionner les répétitions** et **documenter** le protocole (traçabilité).
Définir et sécuriser la mesure : choix de la caractéristique, gestion de la variabilité/dispersion, données manquantes et anomalies.

D. Analyse statistique et interprétation

Estimer et interpréter les effets (facteurs, interactions) et **tester l'influence** avec une démarche d'inférence cohérente.
Ajuster un modèle linéaire et **valider les hypothèses** (résidus, normalité/variance, indépendance), puis **produire une analyse complète** (ANOVA/GLM, incertitudes).
Mettre en œuvre l'ANCOVA (lignes parallèles, pentes hétérogènes) et **interpréter l'effet des covariables**.
Analyser des plans hiérarchiques (effets aléatoires), **estimer des composantes de variance** et interpréter les sources de variabilité.
Analyser des mesures répétées via **modèles mixtes** (structure de covariance, baseline) et, si

Mis à jour le 23-03-2026

Code : STA106

Unité d'enseignement de type cours

6 crédits

Volume horaire de référence (+/- 10%) : **50 heures**

Responsabilité nationale :
EPN06 - Mathématique et statistique / Frédéric BERTRAND

Contact national :

EPN06 Mathématiques et statistiques

2 rue conté
Accès 35 3 ème étage porte 19
75003 Paris

Anne - Solenne Maroulle
anne-solenne.marroulle@lecnam.net

nécessaire, **modèles mixtes généralisés**.
Conclure et décider : interpréter dans le contexte métier, **proposer un essai de confirmation**, vérifier la reproductibilité, **formuler des recommandations**.

E. Optimisation et communication

Restituer une analyse de plan d'expériences de manière **rigoureuse et intellectuellement maîtrisée** (hypothèses, limites, décisions, actions).
Utiliser R ou **Python** pour **construire les plans**, **analyser** (modèles, tests, diagnostics) et **visualiser** les résultats.

Programme

Contenu

Plans d'expériences : Les notions ci-dessous peuvent être abordées soit en cours, soit en exercice.

Les principes généraux de la méthode des plans d'expériences
Les principales étapes d'un plan d'expériences.
Techniques de base :Randomisation, répétition, blocking.

Plans factoriels complets : Plans 2k, 3k, ...

Plans fractionnaires orthogonaux
Principales méthodes de construction : Box, Taguchi.
Analyse des résultats des plans orthogonaux.
Interprétation des résultats.

Plans d'expériences utilisant le principe du blocking
Plans en blocs complets équilibrés.
Plans en carrés latins et dérivés.
Plans en blocs incomplets équilibrés.

Plans pour expériences numériques :
Space-filling designs
Suites à discrépance faible
Hypercube latin
Vers l'analyse d'incertitudes et de sensibilité

Analyse de la covariance
Modèle en lignes parallèles.
Modèle à pentes hétérogènes.
Modèle linéaire général.
Présentation d'exemples.

Plans hiérarchiques :
Modèle à effets aléatoires.
Composantes de la variance.

Plans à mesures répétées :
Modèle mixte pour l'analyse des mesures répétées
La sélection de la structure de covariance
Modèle mixte avec baseline
Modèle mixte généralisé

Plans pour l'étude des surfaces de réponse :
Plans centraux composites,
Plans de Box-Behnken,
Plans 3k
Modélisation Optimisation Multi-réponses

Plans de mélanges : Types I - IV. Modélisation. Interprétation des résultats.
Présentation d'exemples concrets.

Applications avec le logiciel R ou langage Python.

Modalités de validation

- Examen final

Description des modalités de validation

Un examen écrit sanctionnera la fin des cours. Il portera sur la mise en oeuvre pratique des techniques étudiées ainsi que sur des éléments théoriques.

Bibliographie

Titre	Auteur(s)
Contrôle de la qualité : MSP, analyse des performances, contrôle de réception , (Dunod)	JAUPI L
Plans d'expériences : les mélanges, (Dunod, 2000).	GOUPY J
Pratique des plans d'expériences, (Tec-Doc, 1998).	SCHIMMERLING P., SISSON J.C., ZAÏDI A.
Plans d'expériences, Construction, Analyse, (Tec-Doc, 1994).	BENOIST D., TOURBIER S. et Y.
Experiments with Mixtures, (Wiley 2004).	CORNELL J.
Design and Analysis of Experiments, (Wiley, 2004).	MONTGOMERY D.
Pratiquer les plans d'expériences, (Dunod, 2005).	GOUPY J.