

Les plans d'expériences, sur une idée du XXème siècle: tendances actuelles...

Les plans d'expériences en ce XXIème siècle : des nonagénaires alertes...

En 1997, à Lyon, le premier congrès français de Chimiométrie s'ouvrait par une conférence intitulée :

Chimiométrie : outils du XXème siècle, méthode du XXIème siècle ?

Ce XXIème siècle étant déjà avancé, il est possible de répondre par l'affirmative.

Mais quelles sont les tendances de ces deux dernières décennies ?

Un peu de Généalogie

Sir Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), biologiste, agronome et statisticien, « le plus grand des successeurs de Darwin » et l'homme qui a - « d'une seule main - fondé les statistiques modernes » : **les outils statistiques** correspondant à des échantillons infiniment grands **ne sont pas adaptés aux données de laboratoire** qui correspondent à de petits échantillons



« Non seulement ils utilisent un canon pour tirer un moineau, mais ils manquent le moineau ! » dit-il.

Un peu de Généalogie

Pour lui **la qualité de l'information expérimentale dépendait du choix des expériences**, d'où les **principes fondamentaux** tiré de sa réflexion :

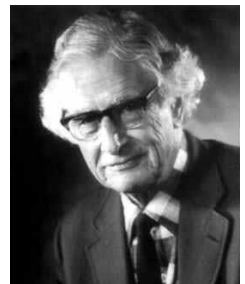
⇒ randomisation,
⇒ réplication,
⇒ blocking.



Dès **1925**, il publie **le premier ouvrage de référence** pour les expérimentateurs : **Statistical Methods for Research Workers**, Edinburgh, Oliver and Boyd, 1925, 1^{re} éd.

Un peu de Généalogie

En 1931 Frank Yates (1902 – 1994) devient assistant de Fisher. Il participe aux développements sur les plans **d'expériences factoriels, les plans fractionnaires ...**



Un peu de Généalogie

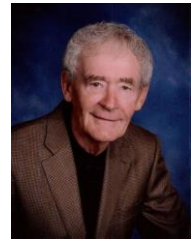
Pour prolonger et enrichir l'œuvre de Fisher, son disciple le plus connu fut son gendre **George Edward Pelham Box** (1919-2013).



G. E. P. Box a **popularisé les plans d'expériences en développant une Méthodologie Expérimentale** d'utilisation classique aujourd'hui, en particulier la **Méthodologie des Surfaces de Réponses**.

Un peu de Généalogie

Box G.E.P. and Wilson K.B., (1951). On the experimental attainment of optimum conditions. Journal of Royal Statistical Society XIII 1, pp. 1-45. (plans composites)



Box, G.E.P. and Behnken, D.W. (1960) Some **New Three Level Designs** for the Study of Quantitative Variables . Technometrics, 2, 455-475.

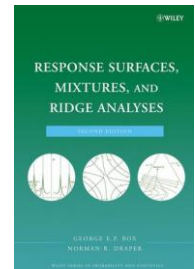
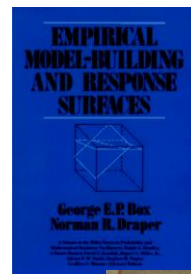
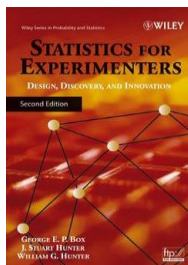
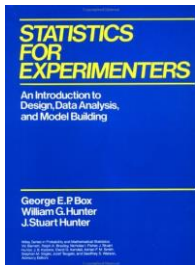
Box G.E.P. and Cox D.R. (1964), " An analysis of transformations ". Journal of Royal Statistical Society, B. 26,



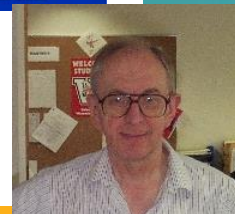
Un peu de Généalogie

Deux ouvrages vont devenir des bibles pour les expérimentateurs :

- Box, G. E. P.; Hunter, J. S.; Hunter, W. G. (1978), Statistics for Experimenters (2nd ed.), [John Wiley & Sons](#), (2^{ème} édition en 2005)
- Box, G. E. P.; Draper, N. R. , (1987) Empirical Model-Building and Response Surfaces, [John Wiley & Sons](#),. (2^{ème} édition en 2007)



WILLIAM G. HUNTER
1917 - 1986



Un peu de Généalogie

R.L. Plackett and J.P. Burman, "The Design of Optimum Multifactorial Experiments" (matrices d'Hadamard), *Biometrika* 33 (4), pp. 305-25, June 1946



Génichi Taguchi (1924-2002) - " **Linear Graphs for Orthogonal Arrays** and their Applications to Experimental Designs with the Aid of Various Techniques". *Rep. Stat. Appl. Res.*, 6(1),1-43. (1959).



Henry Scheffe : **The Simplex-Centroid Design for Experiments with Mixtures**. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Vol. 25, No. 2 (1963), pp. 235-263

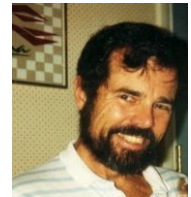


Un peu de Généalogie

Valeri Vadimovich Fedorov ; Theory of Optimal Experiments (**Algorithme d'échange- D optimalité ...**, publication Russe en **1969**) et *Biometrika*, Vol. 59, No. 3 (1972)



Doehlert David H. " Uniform Shell Design" (**réseaux de Doehlert**), Applied Statistics n° 19, p. 231. (**1970**)



John A. Cornell, Experiments with mixtures (**plans de mélanges**) : Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data 1st edition, (**1981**), John Wiley & Sons (1990 & 2002)



« Review » sur les plans d'expériences

David M. Steinberg and William G. **Hunter**
Experimental Design: Review and Comment
 TECHNOMETRICS , VOL. 26, NO. 2, MAY 1984 26 pp.



Specific topics covered are optimal design, computer-aided design, robust design, response surface design, mixture design, factorial design, block design, and designs for nonlinear models.

En 1981, le 2 février, Thèse de **Didier Mathieu**
 (Directeur Roger Phan Tan Luu)
 sur « **La contribution de la Méthodologie de la
 Recherche à l'étude
 des relations structures activités** »



Méthodologie de la Recherche expérimentale

Pour **un objectif donné**, un **plan d'expériences** est un **ensemble d'essais judicieusement choisis** permettant de **déterminer avec précision une relation de cause à effet** entre :

- des **variables d'entrée contrôlées** (les facteurs expérimentaux) et des **variables de sortie mesurées** (les réponses).

L'efficacité que l'on en attend est :

- une **meilleure compréhension** du phénomène,
- la garantie de la **qualité de l'information** obtenue,
- et, pour une qualité donnée, la **minimisation du nombre d'essais**.

Méthodologie de la Recherche expérimentale

On peut constater aujourd'hui que *l'enseignement* de cette *méthodologie* est *largement diffusé* dans les *Universités* et les *Ecoles d'ingénieurs*.

L'examen de la littérature montre qu'*elle est particulièrement utilisée* dans la plupart des *services R&D* des domaines industriels tels que :

- Industries chimiques, pétrochimiques et pharmaceutiques,
- Industries mécaniques et Automobiles,
- Industries métallurgiques...

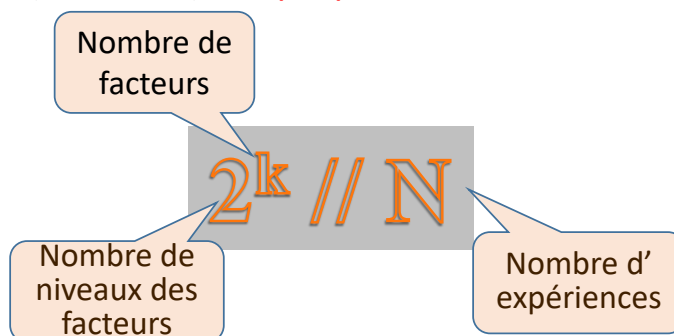
	OBJECTIFS Rechercher les facteurs influents parmi un ensemble de facteurs expérimentaux	TYPE de PROBLEME Classification des paramètres	OUTILS Variables indépendantes Matrice d'Hadamard Variables de mélanges
Tous ces plans d'expériences reposent sur des modèles polynomiaux dont la résolution fait appel à la régression linéaire, avec un nombre d'expériences (d'équations) qui est supérieur au nombre d'inconnues que sont les coefficient du modèle.			
METHODOLOGIE		Gestion de contraintes -domaine -niveaux des facteurs - nombre d'essais	- Surfaces de réponses Variables indépendantes Variables de mélanges Critères d'optimalité Algorithmes d'échange

Méthodologie de la Recherche expérimentale

Mais il existe aussi un certain nombre de problèmes pour lesquels le **nombre de facteurs potentiellement influent** est en général **très grand** : étude globale d'un procédé, simulation numérique ...

On appelle **Matrice sursaturée** SSD (SuperSaturated Design) une matrice d'expériences comportant **moins d'essais que d'effets à estimer** avec souvent $N \ll k$.

Booth & Cox (dès 1962) ont **proposé la notation** suivante :



Méthodologie de la Recherche expérimentale

Criblage d'un très grand nombre de facteurs : matrices sursaturées (SSD)

- On se trouve en présence d'un très grand nombre de facteurs potentiellement influents.
- Parmi eux, seul un très petit nombre de facteurs est réellement influent = principe de **Parcimonie** (Parsimony Principle or Effect Sparsity) .
- Les interactions entre les facteurs réellement influents sont négligeables.

Différents types de stratégie que nous verrons plus loin, ont été proposés dans la littérature pour structurer l'expérimentation répondant à ces objectifs : Les matrices sursaturées, Le Criblage par groupes , La bifurcation séquentielle .



**Plans d'expériences :
Nouveaux outils
Et/ou
Nouveaux champs d'applications ?**

Nouveaux outils Et/ou Nouveaux champs

La nouveauté réside aussi bien dans l'apparition de nouveaux outils comme dans l'utilisation dans de nouveaux champs d'application d'outils déjà affirmés.

MENU du JOUR

- Les Plans de ***Criblage définitifs***.
- Les ***Plans*** d'expériences « ***Flexibles*** » (ou Adaptatifs).
- Les ***Quasi-Plans d'expériences***.
- Les Plans de ***Criblage d'un très grand nombre*** de facteurs.
- L'***exploration complète*** du domaine expérimental. (***Space Filling Design***)



Plans de criblage **définitifs**

Plans de criblage définitifs

Les plans de criblage **classiques** (matrices d'Hadamard, matrices 2^{k-r} , matrices de Taguchi...) destinés à identifier les poids relatifs d'un grand nombre de facteurs sur la réponse d'intérêt **ne comportent que deux niveaux par** facteurs. Ils sont **très efficaces et économiques** en nombre d'essais (de $k+1$ à $k+4$ pour k facteurs).

Inconvénients :

- 1 - L'**estimation des** effets principaux **des** X_i **est aliasée avec** un plus ou moins grand **nombre d'**effets d'interactions, d'autant plus grand que la matrice est saturée.
- 2 – Comme les facteurs ne prennent que **deux** niveaux, il n'est **pas possible de quantifier une** courbure éventuelle de la surface de réponse .

Plans de criblage définitifs

Dans ce contexte, en 2011, B. Jones & J.C. Nachtsheim proposent un algorithme de construction d'une nouvelle classe de plans de criblage à 3 niveaux, non biaisés, pour estimer les effets X_i et X_i^2 .

De plus, dans le cas où l'on a 6 facteurs ou plus à cribler, ces plans sont efficaces comme modèles de surface de réponse pour 3 d'entre eux. Dans un grand nombre de problème, on dispose d'une information suffisante dispensant d'expériences supplémentaires.

Plans de criblage définitifs

Outre le fait qu'un plan de criblage définitif possède 3 niveaux par facteurs, sa principale caractéristique provient de ce que ses essais se présentent par paires de signes inversés :

Par exemple si, en variables codées [-1,1], un essai est défini par :



1	0	-1	1	-1	1
---	---	----	---	----	---

Son essai apparié est défini par :



-1	0	1	-1	1	-1
----	---	---	----	---	----

Enfin, la matrice comprend un dernier essai au centre :



0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---

Plans de criblage définitifs

Pour k facteurs, le nombre d'essais est égal à $2k+1$ avec la structure suivante :

N° des paires	N° des essais	Niveaux des facteurs					
		x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}		x_{ik}	
1	1	0	± 1	± 1		± 1	
	2	0	± 1	± 1		± 1	
2	3	± 1	0	± 1		± 1	
	4	± 1	0	± 1		± 1	
3	5	± 1	± 1	0		± 1	
	6	± 1	± 1	0		± 1	
:	:						
k	2k-1	± 1	± 1	± 1		0	
	2k	± 1	± 1	± 1		0	
Pt centre	2k+1	0	0	0		0	

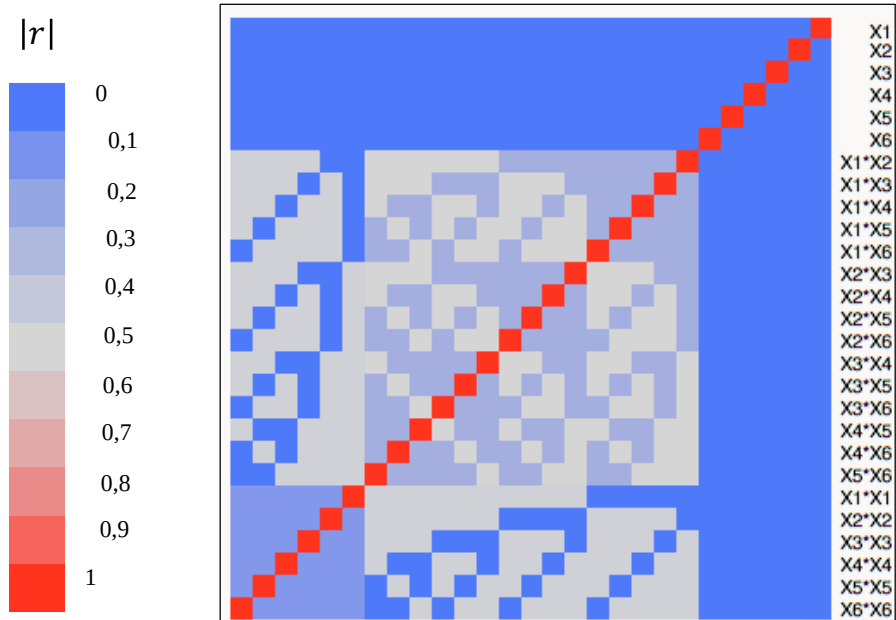
Plans de criblage définitifs

A titre d'exemple, voici un plan de criblage définitif **pour** 6 facteurs :

N°	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	0	1	1	1	1	1
2	0	-1	-1	-1	-1	-1
3	1	0	-1	1	1	-1
4	-1	0	1	-1	-1	1
5	1	-1	0	-1	1	1
6	-1	1	0	1	-1	-1
7	1	1	-1	0	-1	1
8	-1	-1	1	0	1	-1
9	1	1	1	-1	0	-1
10	-1	-1	-1	1	0	1
11	1	-1	1	1	-1	0
12	-1	1	-1	-1	1	0
13	0	0	0	0	0	0

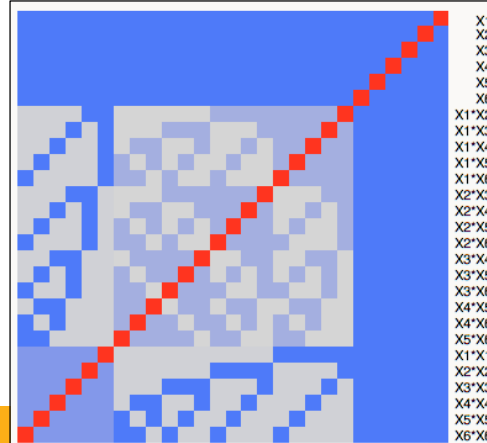
Plans de criblage définitifs

Pour un modèle quadratique à 6 facteurs, la matrice de corrélation de tous les effets sous forme d'un code couleur des facteurs de corrélation allant de 0 (bleu) à 1 (rouge) :



Plans de criblage définitifs

- 1 - **Aucun des effets principaux X_i ne sont corrélés entre eux ($|r| < 10^{-4}$) :**
- 2 - Les effets carrés X_i^2 ne sont **pas corrélés avec les X_i ($|r| < 10^{-4}$).**
- 3 - Les effets carrés X_i^2 ne sont **que faiblement corrélés entre eux ($|r|=0,133$) :**
- 4 - Un effet carré X_i^2 **n'est pas corrélé avec une interaction du 2^{ème} degré impliquant X_i ($|r| < 10^{-4}$) :**
- 5 – Par contre, un effet carré X_i^2 **est corrélé avec les autres interactions du 2^{ème} degré ($|r|=0,46$) :**



Plans de criblage définitifs

Conclusion:

1 – Les 6 **effets** principaux X_i et les 6 **effets** quadratiques X_i^2 peuvent être estimés **sans** aliases et ce, **en** 13 essais.

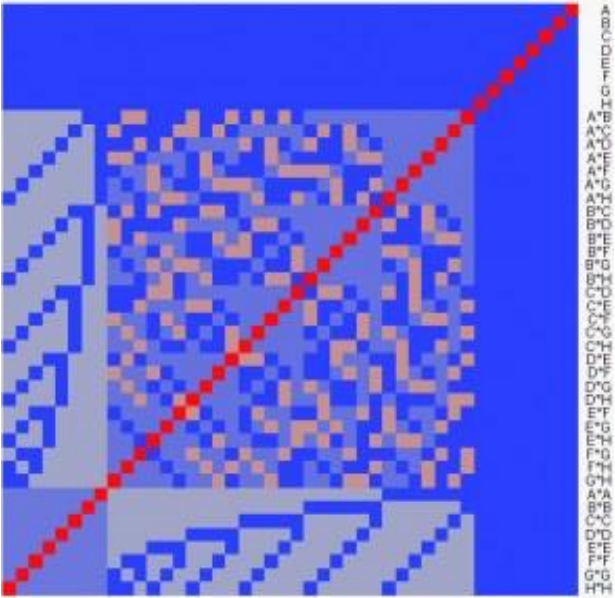
2 – Avec 13 **essais**, si l'on ne retient que 3 facteurs **influentes** sur les 6 **en négligeant les 3 autres**, on peut **estimer les** modèles **complets** du second degré.

Phase de criblage et accès aux surfaces de réponses **sont alors confondus**.

Plans de criblage définitifs

Criblage de 8 facteurs

L'efficacité de ce type de plan peut être encore illustrée si on considère la **matrice de 17 essais** nécessaire au **criblage de 8 facteurs**



	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	0	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	0	-1	1	-1	1	1	-1
4	1	0	1	-1	1	-1	-1	1
5	-1	1	0	1	-1	-1	-1	1
6	1	-1	0	-1	1	1	1	-1
7	-1	-1	-1	0	1	-1	1	1
8	1	1	1	0	-1	1	-1	-1
9	-1	1	1	-1	0	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	0	1	-1	1
11	-1	-1	1	1	1	0	-1	-1
12	1	1	-1	-1	-1	0	1	1
13	-1	-1	1	-1	-1	1	0	1
14	1	1	-1	1	1	-1	0	-1
15	-1	1	-1	-1	1	1	-1	0
16	1	-1	1	1	-1	-1	1	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0

Plans de criblage définitifs : bibliographie

- A Class of Three-Level Designs for Definitive Screening in the Presence of Second-Order Effects, Jones Bradley, Nachtsheim Christopher J., JOURNAL OF QUALITY TECHNOLOGY , Volume: 43 , Issue: 1 Pages: 1-15 Published: JAN 2011

- [Constructing 3-level foldover screening designs using cyclic generators](#)

Nam-Ky Nguyen; Tung-Dinh Pham; Mai Phuong Vuong,
CHEMOMETRICS AND INTELLIGENT LABORATORY SYSTEMS Volume: 179
Pages: 92-98 Published: AUG 2018



Plans d'expériences **flexibles (adaptatifs)**

Plans d'expériences flexibles

En 2000, lors d'une conférence à Baltimore, **C. Roser et D. O Kazmer** donnent une description exhaustive d'une méthodologie intitulée **"Flexible Design Methodology."** : *In Proceedings of the 5th Design for Manufacturing Conference Design Engineering Technical Conferences*, 3:139–48. Baltimore, Maryland, USA: ASME, 2000.

https://www.allaboutlean.com/wp-content/uploads/2014/05/2000_Roser_DETC-Flexible-Design-Methodology_preprint.pdf

Les plans flexibles ont été imaginés pour **réduire au maximum l'effet des** variables incontrôlées **en apportant**, en cours d'étude (en cours de développement du process), **des modifications du** plan d'expériences initial.

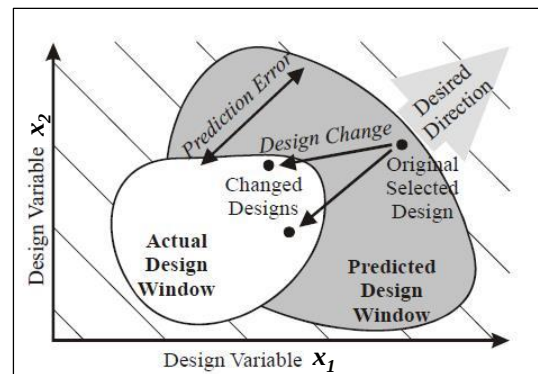
Cette **flexibilité dans le** plan d'expérience est importante parce qu'elle **permet théoriquement au** chercheur **de répondre aux** questions **d'intérêt en utilisant le** plan d'expérience **le plus approprié** plutôt que d'essayer d'y répondre à l'aide d'un plan prédéfini.

Plans d'expériences flexibles

C. Roser et D. O Kazmer décrivent **graphiquement l'évolution des plans flexibles** dans le domaine expérimental envisagé (pour un problème à 2 facteurs) :

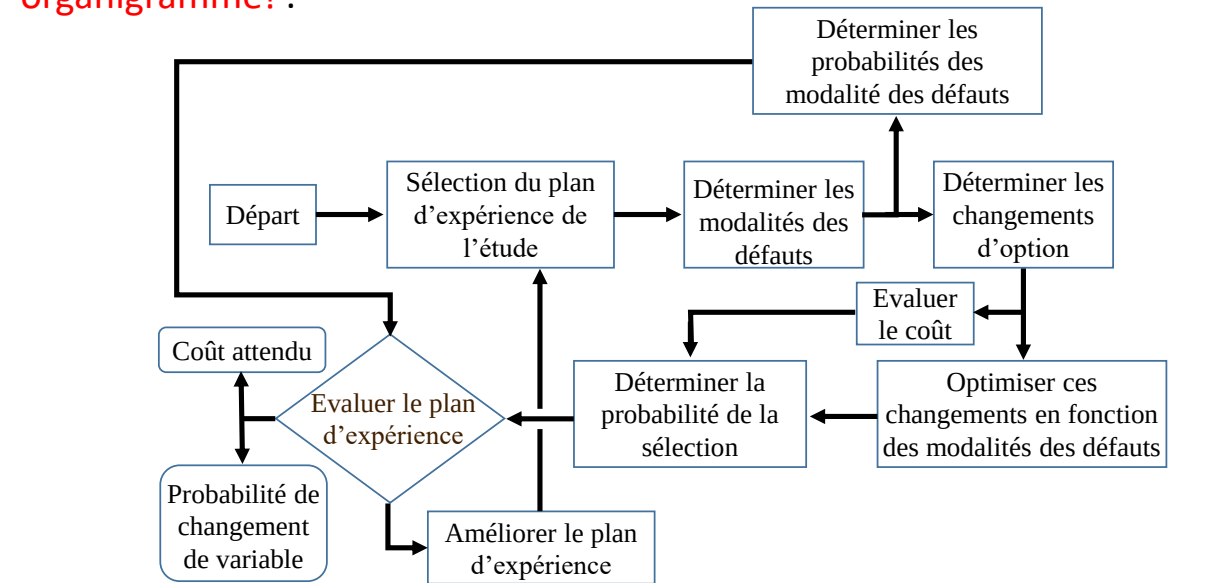
La **zone grisée** délimite le **plan d'expériences** envisagé **au départ**.

La **zone blanche** délimite le **plan d'expériences réel** retenu **après les modifications validées** en tenant compte des estimations des **erreurs prédites** et des **coûts**.



Plans d'expériences flexibles

C. Roser et D. O Kazmer décrivent l'ensemble de la **méthodologie des plans d'expériences flexibles sous forme d'un « simple » organigramme!** :



Plans d'expériences flexibles

Cette stratégie a été utilisée par une équipe de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne dans le **domaine de la** modélisation numérique *:

* **Adaptive Designs of Experiments** for Accurate Approximation of a Target Region
 Journal of Mechanical Design, July 2010, Vol. 132 / 071008-3
 Victor Picheny, David Ginsbourger, Olivier Roustant, (Ecole des Mines de Saint-Etienne)
 Raphael Haftka, Nam-Ho Kim (University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA)

Les Auteurs traitent de la **conception d'un** plan d'expériences **pour établir un** métamodèle nécessitant d'être précis **pour une valeur donnée de la** réponse (valeur cible).

Pour ce faire, ils proposent une stratégie adaptative basée sur un **compromis explicite** **entre réduction de** l'incertitude globale **et exploration des** zones d'intérêt.

Plans d'expériences flexibles

L'examen de la littérature montre que les plans d'expériences flexibles n'apparaissent vraiment que dans la deuxième décennie de ce XXIème siècle, essentiellement dans deux domaines d'application : la modélisation numérique et la Recherche médicale.

En modélisation numérique citons :

<https://pdfs.semanticscholar.org/2a0d/8d62856b76d978dff392595b04d730a91e4c.pdf>

Flexibility in Research Designs in Empirical Software Engineering

Vigdis By Kampenes, Bente Anda, Tore Dybå, 21 juin 2014

https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/34701/13Jun_MacCalman_Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Thèse de A.D. MacCalman (juin 2013)

Flexible space-filling designs for complex system simulations

Plans d'expériences flexibles

En Recherche Médicale citons :

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4369921/pdf/nihms670097.pdf>

Adaptive Trial Designs to Advance Oncology Research

Yong Zang and J. Jack Lee

Chin Clin Oncol. **2014** December ; 3(4):

<https://www.omicsonline.org/open-access/flexible-adaptive-or-attractive-clinical-trial-design-ddo.1000e104.php?aid=7347>

Flexible, Adaptive or Attractive Clinical Trial Design (12 mai 2012)

Shein-Chung Chow



Quasi-Plans d'expériences

Quasi-Plans d'expériences

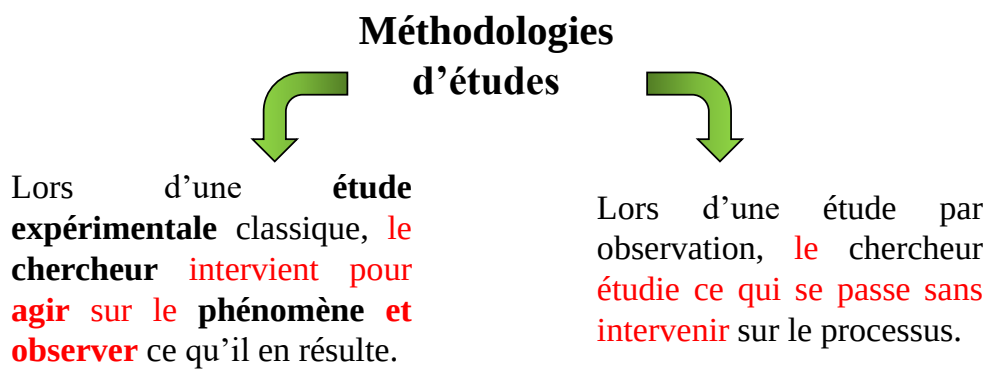
Dans les domaines scientifiques classiques (physique, chimie, biochimie, biologie, sciences de l'ingénieur) **il est toujours possible d'effectuer un véritable** plan d'expériences dans la mesure où l'expérimentateur peut choisir la nature et les valeurs des facteurs expérimentaux.

Il existe néanmoins des **domaines où l'essentiel des études est limité à une analyse de données** (observations, résultats d'enquêtes, etc.).

Le **modèle dit quasi-expérimental est une forme de recherche expérimentale largement utilisée** par exemple **dans les Sciences Humaines** (sciences sociales, psychologie, éducation) **ou la Recherche médicale**.

Quasi-Plans d'expériences

On distingue les études expérimentales et les études par observation



Quasi-Plans d'expériences

Exemple : Une **étude des habitudes de consommation d'alcool chez les étudiants en droit** est issue des **résultats d'une enquête** : c'est une **étude typique par observation**.

Mais « manipuler » un étudiant en droit avec de la bière pour **déterminer si les étudiants dans cette discipline argumentent mieux lorsqu'ils sont ivres**, ressort de l'étude expérimentale. ...

Les **plans quasi-expérimentaux** concernent une **large gamme d'études** de relations « causes à effets » **non randomisées** :

- le **chercheur n'a pas le contrôle des conditions expérimentales** et/ou **n'agit pas sur la variable** causale d'intérêt.
- bien que la **variable expérimentale** soit **choisie par le chercheur**, il **ne contrôle pas sa valeur** qui ne dépend que du contexte observé.

Quasi-Plans d'expériences

▪ Quasi-Experimental Designs

<https://quizlet.com/78406949/chapter-13-quasi-experimental-designs-flash-cards/>
<http://howardsei.org/uploads/QuasiExperimental.pdf>

- Les approches **quasi expérimentales** d'une nouvelle génération d'études pour évaluer les effets des politiques de lutte contre la pollution atmosphérique.
T. Benmarhnia (Univ. San Diego). *Pollution atmosphérique*. N°235 juillet - septembre **2017**
- The Use and Interpretation of **Quasi-Experimental Studies** in Medical Informatics
A.D. Harris, J.C. McGregor, E.N. Perencevich, J. P. Furuno, Jingkun Zhu, D. E. Peterson, and J. Finkelstein,
Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA
Am Med Inform Assoc. **2006** Jan-Feb; **13**(1): 16–23.
- Impact of matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometric evaluation on the clinical outcomes of patients with bacteremia and fungemia in clinical settings lacking an antimicrobial stewardship program: **a pre-post quasi experimental study** By: Jeon, Yong Duk; Seong, Hye; Kim, Dokyun; et al.
BMC INFECTIOUS DISEASES Volume: 18 Article Number: 385 Published: AUG 2018

Matrices sursaturées (SSD)

Différents *types de stratégie* ont été proposés dans la littérature pour structurer l'expérimentation lorsque la matrice d'expériences comporte *moins d'essais que d'effets* à estimer.

Les *matrices sursaturées* (Supersaturated Design/SSD).

Le *Criblage par groupes* (Group screening).

La *bifurcation séquentielle* (Sequential bifurcation).

Criblage par Groupes

Criblage par Groupes

Le principe est de **rassembler** un grand nombre de facteurs en quelques « **groupes** » qui sont **testés** comme s'il s'agissait de **facteurs individuels**.

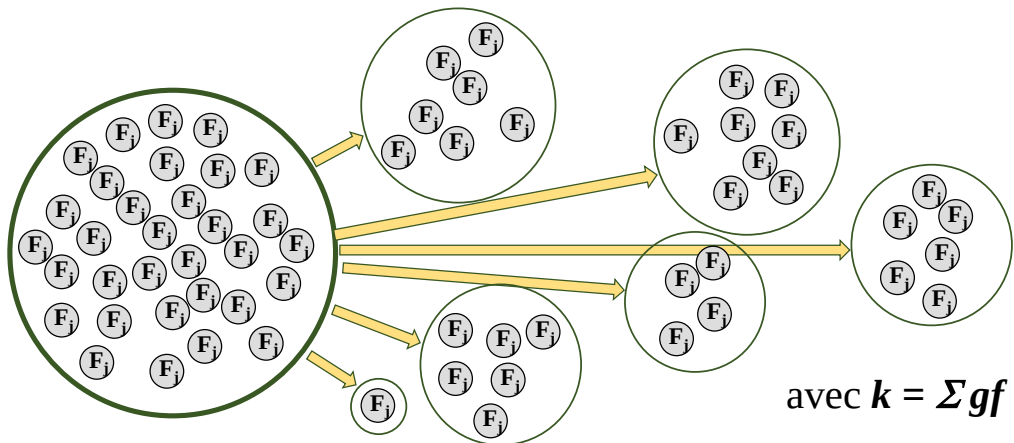
Le principe a été **imaginé** par **Dorfman** en 1943 mais c'est en 1962 que **Watson** en a **développé et précisé** tous les aspects : **postulats et limites**.

(Watson G.S, *Technometrics*, 1962, vol.3, 371-388)

Criblage par Groupes

Principe de la Méthode

Travail préparatoire - Les k **facteurs** sont répartis en g **groupes de f facteurs** :



Première étape : les groupes sont **traités comme des facteurs** puis les groupes « **inactifs** » sont **éliminés**.

Deuxième étape : les facteurs des **groupes actifs** sont étudiés via une **expérimentation complémentaire**

Criblage par Groupes

Exemple de mise en œuvre

Empruntons à R. Phan Tan Luu l'exemple d'une **étude de Robustesse** d'un **procédé de synthèse** d'une matière active pharmaceutique.

Les auteurs ont identifié **35 facteurs** susceptibles d'**affecter la robustesse** du procédé.

Facteurs	Domaine
Charge acétone	$\pm 5 \%$
Addition H ₂ O	120 to 140 min
Durée de réaction	90 to 120 min
Température de Réaction	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
Température d'addition	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
Charge de pyridine	$\pm 5 \%$
.....	
Séchage	$45 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Fluctuations
autour des
points de
consigne du
procédé.

Criblage par Groupes

Les **35 facteurs** ont été rassemblés en **7 groupes** de **5 facteurs**.

1 seul groupe
s'est révélé actif

Ces 7 groupes sont **criblés à l'aide d'une matrice** de Plackett et Burman H_8 .

Les **5 facteurs** du groupe **actif** sont à leur tour étudiés à l'aide d'une matrice de Plackett et Burman H_8 .

2 facteurs
se révèlent
alors actifs.

En récapitulant : **8 expériences** ont servi au **criblage des 7 groupes**, **8 l'ont été** pour le **criblage des facteurs du groupe actif** = **16 expériences au total**.

Criblage par Groupes : bibliographies

REVIEW OF RANDOM AND GROUP-SCREENING DESIGNS

KLEIJNEN, JPC,

COMMUNICATIONS IN STATISTICS-THEORY AND METHODS

Volume: 16 Issue: 10 Pages: 2885-2900 Published: 1987

SIMULATION ANALYSIS WITH GROUP SCREENING

[MURUGABASKAR, S](#) (MURUGABASKAR, S); [HUANG, WV](#) (HUANG, WV)

COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING

Volume: 25 , Issue: 1-4 , Pages: 25-28, Published:SEP 1993

Group screening method for the statistical analysis of E(fNOD)-optimal mixed-level supersaturated designs, [C.Koukouvinos](#), [K.Mylon](#), [Statistical Methodology](#), [Volume 6, Issue 4](#), July 2009, Pages 380-388



Bifurcation séquentielle



Bifurcation séquentielle : origine .

Cette méthode qui a fait l'objet des travaux de thèse de B.Bettonvil (1990), a été **formalisée et décrite** par **Bettonvil** et **Kleijnen** en 1996. Elle a enfin été **actualisée** en 2000 par **Campolongo** et col.

Cette méthode relève d'une **recherche binaire** destinée au criblage des facteurs influents **par partitionnement séquentiel** des facteurs de départ. Elle repose sur une **approche dichotomique**.

Principe de la Méthode

L'**ensemble** des facteurs est **subdivisé** en 2 **sous-groupes** qui vont être testés à leur tour.

Ce processus est répété, avec à chaque étape **l'élimination** du groupe **sans effet** significatif et le **fractionnement** du groupe de facteurs **se révélant actif**

Normalement, ce processus doit **converger** vers l'isolement des facteurs se révélant importants.



Bifurcation séquentielle : bibliographie

[Searching for important factors in simulation models with many factors: Sequential bifurcation](#), Bettonvil, B; Kleijnen, JPC
EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Volume: 96 Issue: 1 Pp: 180-194 Published: 1997

[A user's guide to the brave new world of designing simulation experiments](#)
Kleijnen, JPC; Sanchez, SM; Lucas, TW; et al.
INFORMS JOURNAL ON COMPUTING Volume: 17 Issue: 3 Pages: 263-289 Published: 2005

[Sequential designs for sensitivity analysis of functional inputs in computer experiments](#), Fruth, J.; Roustant, O.; Kuhnt, S.
RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY Volume: 134 Pages: 260-267 Published: FEB 2015

[Testing the assumptions of sequential bifurcation for factor screening](#)
Shi, Wen; Kleijnen, Jack P. C., SIMULATION MODELLING PRACTICE AND THEORY Volume: 81 Pages: 85-99 Published: FEB 2018

Matrices **sursaturées**

$$2^k // N$$

Matrices sursaturées

$$\text{SSD} = \frac{1}{2} \text{ matrice } H_N.$$

OU COMMENT PARTAGER
UNE MATRICE D'HADAMARD



EN DEUX PARTIES ÉGALES

Matrices sursaturées

Partage d'une matrice H_{12} en deux matrices $2^{10}/6$

Partage d'une matrice d'Hadamard (Plackett & Burman)

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Matrices sursaturées

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Par ex. la colonne X₁₁ est choisie comme colonne de *branchement* :



Sélectionnons les *lignes* pour lesquelles $X_{11} = -1$

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

En partageant la matrice H_{12} selon cet algorithme, nous obtenons une matrice $2^{10}/6$:

Exp.	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Même chose en sélectionnant les *lignes* pour lesquelles $X_{11} = 1$

On obtient *l'autre moitié* de la matrice H_{12} qui est également une matrice $2^{10}/6$:

Exp.	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1

Matrices k -permutées ou k -Circulant Design



Matrices k-permutées ou k-Circulant Design

On sait que les matrices d'**Hadamard** sont de taille $N = 0 \text{ modulo } 4$.

L'apport de **Plackett & Burman** a été de les **générer** par **permutation circulaire** à partir de **vecteurs ligne** de taille $N-1$ qu'ils ont identifiés.

En 2004, **Liu** et **Dean**, ont proposé une **nouvelle méthode de construction** de matrices sursaturées, simplement en **généralisant** l'**algorithme de permutation** circulaire de **Plackett et Burman** aux matrices modulo 4 de **Dean & Draper** :

Ils ont appelé ces nouvelles matrices sursaturées :
 « **k-Circulant Supersaturated Design** »
 (**Technometrics**, février 2004, vol.46, N°1)

Leur principe est très simple : en partant d'un des vecteurs ligne *générateurs* de *Dean & Draper*, ils proposent de *permuter plus d'un* élément à la fois.

Par exemple, un « *3-Circulant* design » est obtenu en *permutant les* signes *3 par 3*, on obtient une matrice dont la *taille* est *voisine du 1/3* de la matrice *classique* obtenue par permutation d'un seul signe.

Par exemple, construction d’une matrice sursaturée $2^{21}/8$ à partir du vecteur ligne suivant :

1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	---	----	---	---	---	----

On obtient la matrice **3-permutée** (décalage vers la droite) suivante :

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
2	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
3	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1
4	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
5	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Exploitation des Résultats.

Avec $N \ll k+1$, nous savons que l'estimation des coefficients par la méthode des moindres carrés n'a pas de sens. Dans cette situation, **deux méthodes** d'analyse de données **sont utilisables** :

La **Stepwise Regression** (régression « pas à pas »).

La **Ridge Regression** (Hoerl et Kennard/1970).

Matrices saturées à plus de deux niveaux par facteurs



En 2000, *Kai-Tai Fanga*, *Dennis K.J. Linb*, *Chang-Xing Mac* ont décrit la construction de matrices *sursaturées à plus de deux niveaux*.

3 niveaux par facteur
Matrice $L_9(3^4)$

0	0	0	0
0	1	1	1
0	2	2	2
1	0	1	2
1	1	2	0
1	2	0	1
2	0	2	1
2	1	0	2
2	2	1	0

Matrice $L_{18}(3^7)$

0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1
0	2	2	2	2	2	2
1	0	0	1	1	2	2
1	1	1	2	2	0	0
1	2	2	0	0	1	1
2	0	1	0	2	1	2
2	1	2	1	0	2	0
2	2	0	2	1	0	1
0	0	2	2	1	1	0
0	1	0	0	2	2	1
0	2	1	1	0	0	2
1	0	1	2	0	2	1
1	1	2	0	1	0	2
1	2	0	1	2	1	0
2	0	2	1	2	0	1
2	1	0	2	0	1	2
2	2	1	0	1	2	0

4 niveaux par facteur
Matrice $L_{16}(4^5)$

0	0	0	0	0
0	1	1	1	1
0	2	2	2	2
0	3	3	3	3
1	0	1	2	3
1	1	0	3	2
1	2	3	0	1
1	3	2	1	0
2	0	2	3	1
2	1	3	2	0
2	2	0	1	3
2	3	1	0	2
3	0	3	1	2
3	1	2	0	3
3	2	1	3	0
3	3	0	2	1

Matrices sursaturées: bibliographie

- **Supersaturated designs:**
A review of their construction and analysis
[Georgiou, SD](#) (Georgiou, Stelios D.)
JOURNAL OF STATISTICAL PLANNING AND INFERENCE
Volume: 144, Pages: 92-109 , (2014)
109 références



- **Magali Claeys-Bruno** : «Développement de nouveaux plans d'expériences pour les études de sensibilité - de l'expérimentation à la simulation numérique». HDR (2014)

- **A NEW CLASS OF SUPERSATURATED DESIGNS**
[LIN, DKJ](#) (LIN, DKJ), **TECHNOMETRICS** ,**Volume: 35 , Issue: 1 Pages: 28-31 , FEB 1993**

- **SOME SYSTEMATIC SUPERSATURATED DESIGNS** , BOOTH, KHV; COX, DR
TECHNOMETRICS Volume: 4 Issue: 4 Pages: 489-& (1962)

Cas des matrices à plus de deux niveaux par facteur

- **On the construction of multi-level supersaturated designs**

Kai-Tai Fanga, Dennis K.J. Linb; , Chang-Xing Mac, Journal of Statistical Planning and Inference 86 (2000) 239{252

- A systematical procedure in the construction of multi-level supersaturated design, [Xuan Lu, Wenbiao Hu, Yan Zheng](#)

[Journal of Statistical Planning and Inference](#)

[Volume 115, Issue 1](#), 1 July (2003), Pages 287-310

- **Construction of Optimal Multi-Level Supersaturated Designs**, Hongquan Xu and C. F. J. Wu, The Annals of Statistics, Vol. 33, No. 6 (Dec., 2005), pp. 2811-2836

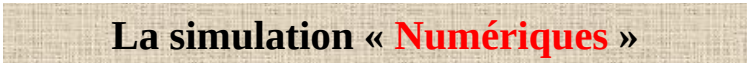
- **Multi-level and mixed-level k-circulant supersaturated designs** Chatterjee, K., Drosou, K., Georgiou, S. D., Koukouvinos, C. **METRIKA** , **Volume: 81, Issue: 3 , Pages: 337-355** , April 2018

- **Plans à Remplissage Uniforme de l'Espace Expérimental**
- **« Space Filling Design »**

Plans d'Expériences pour Simulateurs Numériques



La simulation « Numériques »



La progression constante des performances des ordinateurs autorise le développement de *codes de calcul* permettant de *simuler* ou même de *modéliser* des phénomènes de plus en plus complexes.

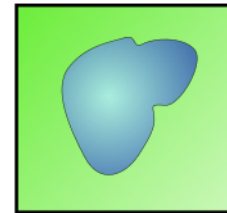
Néanmoins, les *temps de calcul* qui en découlent restent *toujours importants*, ce qui limite parfois le recours à des méthodes du type Monte Carlo.



Le terme **méthode de Monte-Carlo** désigne une famille de **méthodes algorithmiques** visant à **calculer une valeur numérique approchée** en utilisant des **procédés aléatoires**.

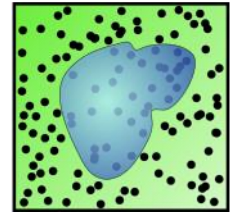
Un **exemple classique** illustrant le principe de la méthode consiste à **calculer la surface d'un lac** :

Soit **une zone** carrée (ou rectangulaire) dont les dimensions, donc la **surface**, sont **connues**. Au sein de cette zone, il existe un **lac** dont la **surface est inconnue**.



Pour trouver l'aire du lac, on demande à une armée de **tirer X coups de canon de manière aléatoire** sur cette zone.

On compte ensuite le **nombre N de boulets** qui sont **restés sur le terrain** ; on peut ainsi déterminer le nombre de boulets qui sont tombés dans le lac, c'est à dire $X-N$



En postulant que les **tirs** sont **dirigés au hasard en couvrant le terrain de manière uniforme**, on peut écrire :

$$\frac{\text{superficie}_{\text{terrain}}}{\text{superficie}_{\text{lac}}} = \frac{X}{X-N} \quad \text{d'où} \quad \text{superficie}_{\text{lac}} = \frac{X-N}{X} \times \text{superficie}_{\text{terrain}}$$



La **qualité de l'estimation** ne s'améliore que lentement en augmentant le nombre de tirs

Le fait de s'assurer que les tirs couvrent bien la zone, de manière uniforme signifie que **la qualité du générateur aléatoire est primordiale** pour avoir de bons résultats dans la **méthode de Monte-Carlo** :

Un **générateur biaisé** est comme un canon qui tire toujours au même endroit, **les informations qu'il apporte sont réduites**.

La simulation « Numériques »

En simulation numérique, en plus des variables physiques traitées par le modèle, il faut considérer **une nouvelle classe** de variables : les **variables de simulation** qui permettent de **paramétrer**, et éventuellement d'**ajuster**, le simulateur.

L'approche privilégiée consiste à définir **un nombre réduit de simulations organisées** selon un **plan d'expériences numériques** et d'ajuster, à partir de celui-ci, une surface de réponse pour approcher le simulateur.

Remplissage uniforme
de l'espace expérimental
(Space filling design)

1 – L'erreur expérimentale :

- pour l'approche classique, l'erreur dépend de *l'erreur expérimentale* ;
- tandis qu'en numérique, l'erreur est *liée au modèle* et non à l'expérimentation.

2 – La nature du modèle

Du fait des caractéristiques *non linéaires* et/ou *non paramétriques* des codes de modélisation ou de simulation, pour *capter au mieux le comportement* du simulateur,



il est nécessaire de *répartir les points* informatifs *le plus uniformément* possible dans l'espace expérimental (à la différence des plans classiques qui privilégient les bornes du domaine).

C'est cette *répartition* des points *le plus uniformément* possible dans l'espace expérimental qui fait l'objet des techniques du :



« **Space Filling Design** »

Dans un espace multidimensionnel, la **caractérisation** d'un « **remplissage** » est **complexe**. Elle implique de pouvoir répondre à deux questions :

- 1 – la **distribution** des points est-elle **uniforme** ou non ?
- 2 – l'**espace** expérimental est-il **correctement rempli** ?

Pour qualifier l'**uniformité** de la distribution, on examine l'écart entre une distribution de points donnée et une distribution de points uniforme : cet écart est quantifié par un **critère** appelé **discrépance**.

La **discrépance** mesure l'**écart** entre une **distribution** de points **uniforme** et une distribution de points donnée **dans un cube unité** multidimensionnel. Ce critère rapporte **le nombre de points** contenus dans des pavés **au volume** de ces pavés.

pour **deux ensembles** d'un **même nombre** de points choisis dans un domaine expérimental, **le meilleur** sera celui dont la **discrépance** est la **plus faible**

Pour qualifier la *qualité du remplissage* (la régularité des espacements) on examine la proximité d'une distribution de points donnée à celle d'une grille régulière. Cela fait appel à des *critères utilisant les notions de « distances »*.

Les *critères les plus utilisés* sont la distance euclidienne, le « recouvrement », le rapport des distances et les distances dites « *Maximin* » et « *Minimax* ».

Maximin : plan D qui *maximise la plus petite distance* de n'importe quel couple de points de D dans le domaine expérimental.

Minimax : plan qui *minimise la plus grande distance* entre tout point du domaine expérimental et D .

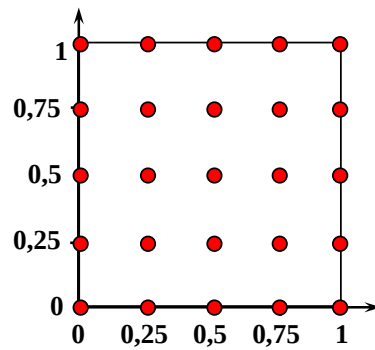
Les techniques de remplissage

On peut répertorier 6 **méthodes** principales de **remplissage régulier** d'un espace expérimental :

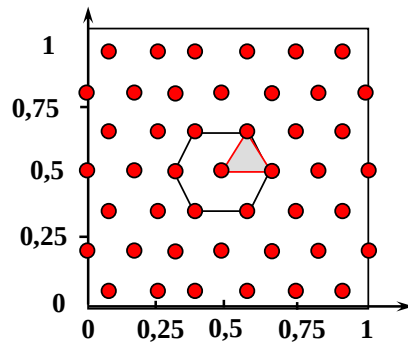
- Le **maillage** régulier (à partir de plans factoriels, Box-Behnken, Doehlert)
- L'échantillonnage **aléatoire**
- Les **hypercubes latins**
- La répartition basée sur la **notion de distances**
- La répartition basée sur la **notion de discrédance**
- La méthode de **Monte Carlo (avec chaînes de Markov)**

Maillage régulier

Maillage **factoriel** 5^2
25 points

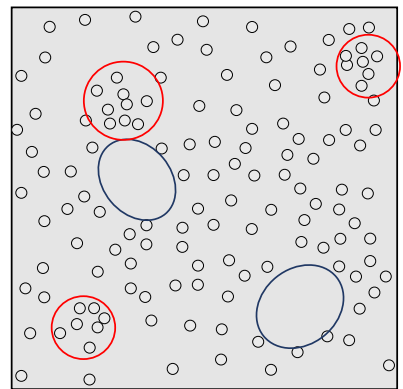


Maillage **Doehlert**
45 points



Echantillonnage aléatoire

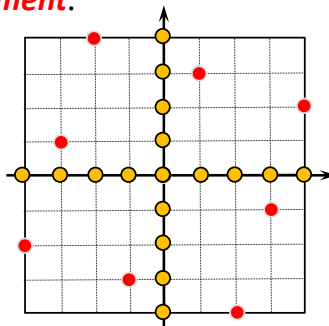
En général, la sélection obtenue présente à la fois des *zones peu représentées* et des *agrégats de points* :



Hypercubes latins

Les **hypercubes latins** sont des **tableaux orthogonaux**, qui appartiennent à la famille des **plans à « marges uniformes »** : cela signifie qu'une **projection des points** sur un axe ou sur un plan conduit à une **répartition uniforme**

Les **projections** des points sur les axes **sont** réparties **uniformément**.



Hypercube latin

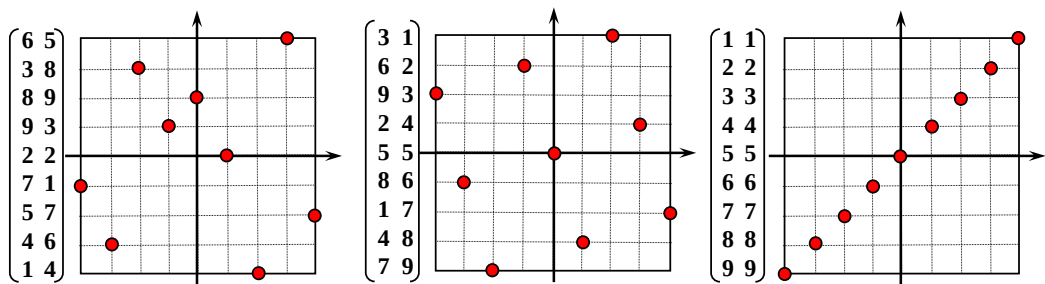
Un hypercube latin *sélectionne* alors **n** points parmi les **n^d** points d'une grille de façon à ce que les **n niveaux** des variables d'entrée soient *testés une fois* par les simulations

Ex. pour 3 facteurs et 10 niveaux

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

Space filling design

Exemple : 3 hypercubes latins de même taille.



3 critères de comparaison :
 remplissage, indépendance, uniformité.

Selon la notion de distance

Il est possible d'*utiliser les distances* pour calculer un critère de remplissage de l'espace permettant de *choisir un sous ensemble* de points à partir d'un grand ensemble de candidats.

Le principe de base de ces algorithmes consiste à déterminer ce sous-ensemble *en améliorant un critère géométrique* de remplissage de l'espace.

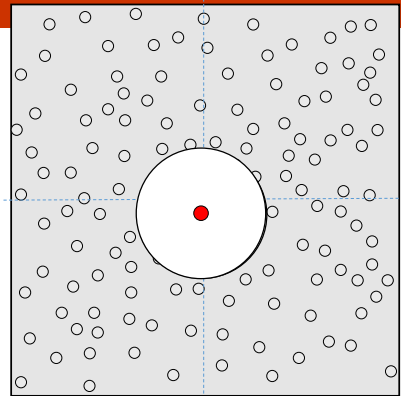
L'uniformité de la répartition des points peut être aussi assurée, en choisissant les points *pour qu'ils soient simultanément à une distance minimale (D_{min})* de chaque point déjà inclus dans le plan et *aussi près que possible* du centre de l'hypercube unité.

A titre d'illustration, nous avons choisi *l'algorithme WSP (Wooton, Sergeant, Phan-Tan-Luu)* qui repose sur celui de *Kennard et Stone* (1969) et de *Wooton* (1975).

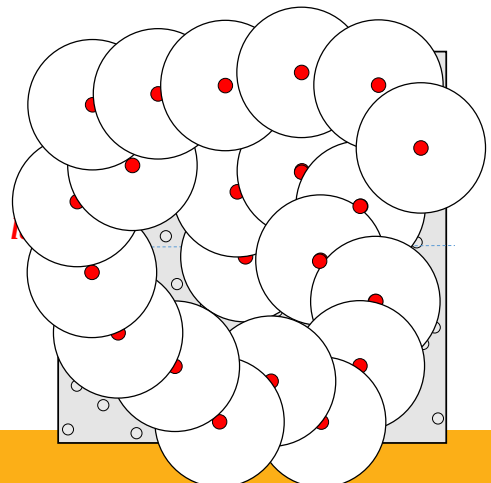
1 – **Partir** d'un ensemble de **points candidats** (générés ici aléatoirement) ;

2 – **Choisir le point le plus près du centre** du domaine comme **point de départ** ;

3 – **Choisir le diamètre $D_{\min}$ du cercle** (de la sphère) à l'**intérieur** duquel (de laquelle) tous les **points** seront **éliminés** ;

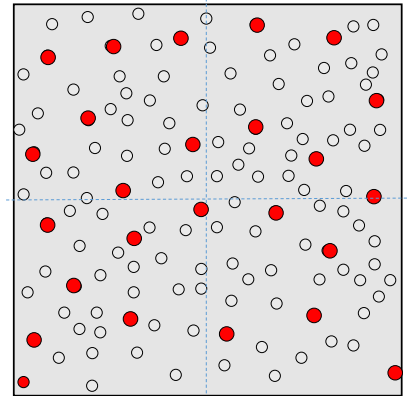


4 – **réitérer le processus** à partir du **point le plus proche** de ce cercle :



Sur cette simulation en deux dimensions, on constate qu'une fois le *processus terminé* on obtient une distribution de *n points répartis uniformément* dans l'hypercube,

où *n est* $\leq$ au nombre de points de la *distribution initiale*.



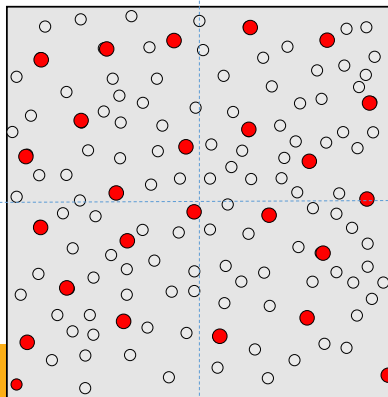
Space filling design

Il est évident que *plus* la distance *Dmin est faible* et plus le *nombre de points* sélectionnés est *important*.

Une *extension* possible est de *rechercher* toutes les solutions *en faisant varier* la distance minimale.

Cela permet de choisir celle présentant un *bon compromis entre* la *qualité* du critère *et* le *nombre de points*.

Le *critère* de choix généralement *utilisé* est le *rapport entre la distance minimale et* la *distance maximale* des plus proches voisins.

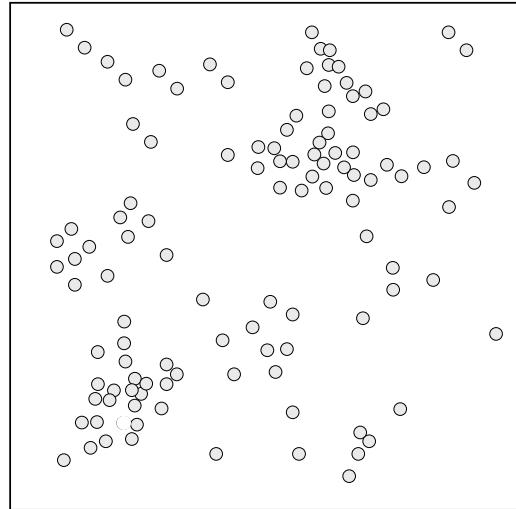


Discrépance

Selon la notion de discrépance

- 1 – **Partir** d'un ensemble de **points candidats** (générés ici aléatoirement) ;
- 2 – **Choisir** le point **dont la suppression** permet de **réduire** « au mieux » **la discrépance** de l'ensemble ;
- 3 – **Supprimer** ce point ;

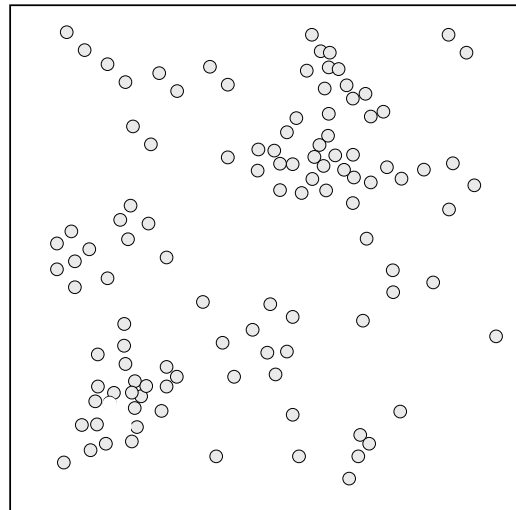
Méthode I



Discrépance

Méthode I

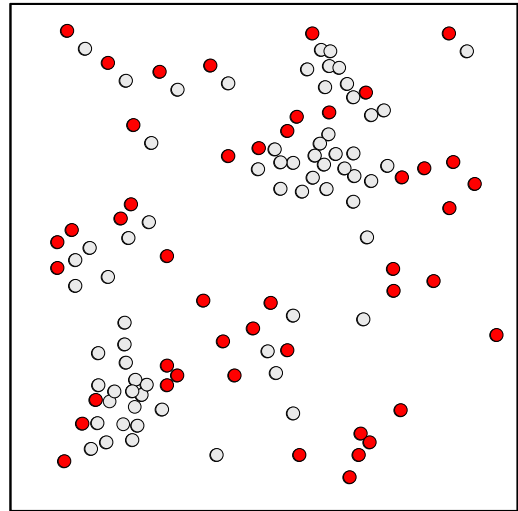
4 – **Réitérer** le processus
sur les ponts restants ;



Discrépance

Méthode I

5 – Suite de *points obtenus*
une fois le processus
terminé :

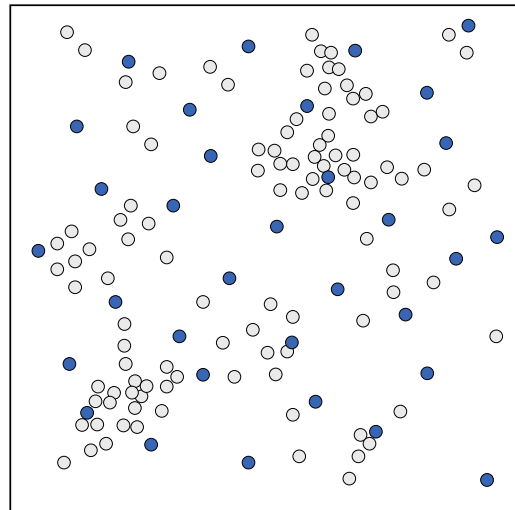


Discrépance

Méthode II

1 – **Partir** d'un ensemble de **points candidats** (générés ici aléatoirement) ;

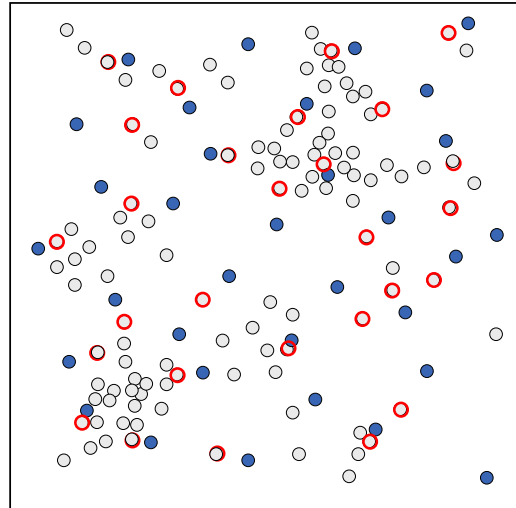
2 – **Associer** à cet ensemble une **suite à discrépance faible** de « taille » (de cardinalité) inférieure ;



Discrépance

Méthode II

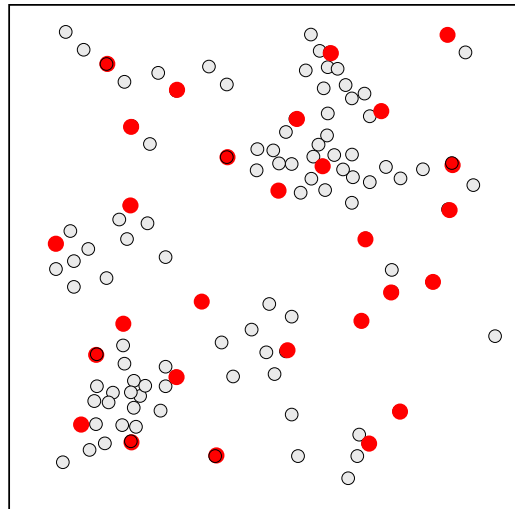
3 – *Sélectionner* les points *proches* de ceux de la suite à discrépance faible ;



Discrépance

4 – *Suite* des points
obtenus une fois le
processus terminé :

Méthode II



Space filling design : bibliographie

- An overview of the design and analysis of simulation experiments for sensitivity analysis, Jack P.C. Kleijnen , European Journal of Operational Research 164 (2005) 287–300
- [Design of computer experiments: space filling and beyond](#)
By: Pronzato, Luc; Mueller, Werner G.
STATISTICS AND COMPUTING Volume: 22 Issue: 3 Special Issue: SI Pages: 681-701 Published: MAY 2012
- **Space-filling designs for computer experiments: A review**
Joseph, V. Roshan, **QUALITY ENGINEERING** ,Volume: 28 , Issue: 1
Pages: 28-35 Published:JAN 2 2016
- Design of **computer experiments**: A review
S.Garud, I.Karimi, M. Kraft, **COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING**
Volume: 106 , Pages: 71-95 , Published:NOV 2 2017

Space filling design : bibliographie

- Dans le cadre des travaux de M. Sergent, la thèse de Jessica Franco : ***Planification d'expériences numériques en phase exploratoire pour la simulation des phénomènes complexes***, (St Etienne, 2008), constitue l'une des études exhaustives des plans d'expériences numériques. Elle est disponible :

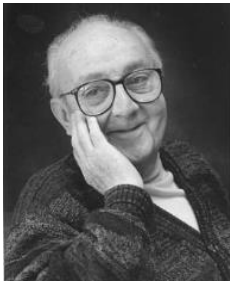
http://dice.emse.fr/system/files/These_Jessica_FRANCO.pdf

- ***Constructing space-filling designs using an adaptive WSP algorithm for spaces with constraints***, Beal M., Claeys-Bruno M., Sergent M. : *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **133**, 15 April 2014, Pages 84-91)

Conclusions

Plans d'expériences :
Nouveaux outils
Et/ou
Nouveaux champs d'applications ?

Les plans d'expériences en ce XXIème siècle :
des nonagénaires alertes,
mais restons modestes avec G.E.P. Box :



*"Essentially, all models are...wrong,
but some are...useful..."*

G.E.P. BOX :

Merci d'avoir supporté cet exposé !

Design of Experiments (DoE) and Process Optimization ; **A review** of recent publications, Weissman, Steven A.; Anderson, Neal G.,ORGANIC PROCESS RESEARCH & DEVELOPMENT Volume: 19 Issue: 11 Pages: 1605-1633 **2015**

Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis : **a review** , Yu, Peigen; Low, Mei Yin; Zhou, Weibiao, TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY Volume: 71 Pages: 202-215 **2018**

Design of experiments for microencapsulation applications : **a review**
 Paulo, Filipa; Santos, Lucia, MATERIALS SCIENCE & ENGINEERING C-
 MATERIALS FOR BIOLOGICAL APPLICATIONS Volume: 77 Pages: 1327-
 1340 **2017**

[A review on experimental design for pollutants removal in water treatment with the aid of artificial intelligence](#)

Fan, Mingyi; Hu, Jiwei; Cao, Rensheng; et al., **CHEMOSPHERE**
 Volume: 200 Pages: 330-343 **2018**

[Understanding and mitigating hydrogen embrittlement of steels: a review of experimental, modelling and design progress from atomistic to continuum](#) , Barrera, O.; Bombac, D.; Chen, Y.; et al., [JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE](#) , Volume: 53 Issue: 9 Pages: 6251-6290 **2018**

[Analytical Options for Single-Case Experimental Designs: **Review** and Application to Brain Impairment](#), Manolov, Rumen; Solanas, Antonio, **BRAIN IMPAIRMENT 2018**

[Stimulated Brillouin scattering materials, experimental design and applications: **A review**](#), Bai, Zhenxu; Yuan, Hang; Liu, Zhaohong; et al. **OPTICAL MATERIALS**, Volume: 75 Pages: 626-645 **2018**

[Invited **review**: Experimental design, data reporting, and sharing in support of animal systems modeling research](#), McNamara, J. P.; Hanigan, M. D.; White, R. R., **JOURNAL OF DAIRY SCIENCE** Volume: 99 Issue: 12 Pages: 9355-9371 **2016**

Design review and controllability assessment of the SMART-ITL secondary system for the SMART design with experimental investigation, Yun, Eunkoo; Bae, Hwang; Ryu, Sung-Uk; et al., **ANNALS OF NUCLEAR ENERGY** , Volume: 109 Pages: 538-547 **2017**

Experimental design and response surface methodology in energy applications: A tutorial **review** , Makela, Mikko, , **ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT** Volume: 151 Pages: 630-640 **2017**

Forensic decomposition odour profiling: A review of experimental designs and analytical techniques , Iqbal, Mohammad A.; Nizio, Katie D.; Ueland, Maiken; et al. , **TRAC-TRENDS IN ANALYTICAL CHEMISTRY** Volume: 91 Pages: 112-124 **2017**