



**Département de mathématiques et de génie industriel**  
**MTH8301 Planification et analyse statistique d'expériences**  
**Plan du cours - automne 2023**

**Professeur Bernard CLÉMENT, PhD**  
**bureau A-520.30**  
**tel. 514.340.4711 x 4944**  
**mobile 514.677.7896**  
**bureau A-520.30**  
**courriel [bernard.clement@polymtl.ca](mailto:bernard.clement@polymtl.ca)**  
**[genistat@sympatico.ca](mailto:genistat@sympatico.ca)**



2900, boul. Édouard-Montpetit  
 2500, chemin de Polytechnique  
 Montréal (Québec) Canada H3T 1J4  
**Adresse postale**  
 C.P. 6079, succ. Centre-ville  
 Montréal (Québec) Canada H3C 3A7

**BERNARD CLÉMENT, PhD**  
 Professeur titulaire  
 Département de mathématiques et de génie industriel  
 Pavillon principal, bureau A-520.30  
 bernard.clement@polymtl.ca ■ www.polymtl.ca  
 Tél. : 514 340-4711 poste 4944 ■ Cell. : 514-677-7896

## INTRODUCTION

La technologie employée pour déterminer le meilleur ensemble de données à prélever s'appelle la planification d'expériences. La maîtrise de la planification statistique d'expériences apporte une contribution essentielle et absolument nécessaire pour celui qui entreprend un programme d'essais: en laboratoire, sur des procédés industriels, sur ordinateur.

Les bénéfices sont:

- l'utilisation de stratégies efficaces pour concevoir le plan avec le **MINIMUM d'essais** et le **MAXIMUM de facteurs** (variables de contrôle, paramètres d'entrée);
- utilisation d'une méthode systématique pour l'analyse statistique des données d'essais;
- l'interprétation claire des résultats.

L'utilité de la conception et de l'analyse des plans statistiques d'expériences est essentielle dans tous les champs d'activités: sciences physiques, ingénierie, sciences santé, sciences humaines, recherche et développement (R&D), conception de produits, optimisation de procédés industriels etc.

## OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE : maîtriser les concepts et les applications

- plans factoriels, plans fractionnaires, plans en blocs, plans de surface de réponse, plans de mélanges, plans en parcelles divisées (split-plot), plans en mesures répétées, plans optimaux;
- plans fractionnaires pour traiter de nombreux facteurs avec minimum d'essais;
- méthodes de l'analyse statistique des résultats : analyse de la variance, régression multiple;
- l'optimisation simultanée de plusieurs réponses;
- conception robuste de Taguchi;
- l'utilisation de **STATISTICA / JMP Pro / R / Python** (votre choix) pour concevoir une expérience et analyser les données. Je vais utiliser **STATISTICA / JMP Pro** en classe. Les devoirs peuvent être faits avec le logiciel de votre choix.

## APPLICATIONS

- Planifier une étude expérimentale en laboratoire ou sur le terrain.
- Analyser les résultats d'une étude expérimentale de tests (essais).
- Design et optimisation procédés (ou produits) existants ou nouveaux.
- Planifier un programme de recherche et développement (R&D)

**PRÉALABLES** connaissances de base en statistiques

- statistique descriptive : moyenne, variance, écart-type, histogramme, ...
- distributions : gaussienne, Student, Fisher F
- tests d'hypothèses : moyenne(s) et variance(s) avec un ou deux échantillons.
- le lien suivant contient des notes de cours complètes sur les méthodes statistiques de base.
  - Elles ne sont pas vues en classe. Consulter <https://www.cours.polymtl.ca/mth6301/MTH2302.htm>

**remarque** : il n'y a pas d'examen final en salle. Le devoir 5 tient lieu de l'examen final

**RÉFÉRENCE** notes de cours *Planification et analyse d'expériences avec STATISTICA*  
Bernard Clément, PhD, Génistat Conseils Inc., Montréal.

**SITE WEB du cours (pas sur Moodle)** <https://cours.polymtl.ca/mth6301/MTH8301.htm>

**Calendrier officiel Polytechnique : session automne 2023**

AOÛT 2023	SEPTEMBRE 2023	OCTOBRE 2023	NOVEMBRE 2023	DÉCEMBRE 2023
Dim Lun Mar Mer Jeu Ven Sam 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	Dim Lun Mar Mer Jeu Ven Sam 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	Dim Lun Mar Mer Jeu Ven Sam 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	Dim Lun Mar Mer Jeu Ven Sam 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	Dim Lun Mar Mer Jeu Ven Sam 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Calendrier officiel MTH8301: 30 août / 6-13-20-27 septembre / 4-11 -18-25 octobre / 1-8-15-22-29 novembre

**Modification proposée par Bernard Clément**

9 COURS de 3 heures en présentiel mercredi 16h00 à 19h00 local A-552

Dates = 30 août / 6-13-20-27 septembre / 4-11 (oui)-18-25 octobre

Possibilité de session ZOOM au besoin

27 heures

9 COURS de 2 heures en session ZOOM et vidéo - samedi 11h00 à 13h00

Dates = 2-9-16-23-30 septembre / 7-14-21-28 octobre

18 heures

**DEVOIRS** : 5 devoirs distribués et à remettre durant toute la durée du calendrier officiel

**PROGRAMME**

NOTES COURS h:mm:ss h=heure m=minute s=seconde				
CHAPITRE	THÈME	page	video	durée
chapitre 1	<a href="#">Introduction</a>	51	<a href="#">mp4-2</a>	1:19:40
chapitre 2	<a href="#">1 facteur avec STATISTICA</a> <a href="#">1 facteur avec JMP</a>	62 25	<a href="#">mp4-3</a> <a href="#">mp4-4</a>	2:44:09 3:17:28
chapitre 3	<a href="#">Multi Facteurs</a>	48	<a href="#">mp-5</a>	3:15:42
chapitre 4	<a href="#">Analyse</a>	38	<a href="#">mp4-6</a>	2:59:42
chapitre 5	<a href="#">Complets</a>	60	<a href="#">mp4-7</a> <a href="#">mp4-8</a> <a href="#">mp4-9</a>	2:48:50 1:16:19 1:17:37
chapitre 6	<a href="#">Fractionnaires</a>	64	<a href="#">mp4-10</a>	3:10:19
chapitre 7	<a href="#">Blocs-covariance</a>	51	<a href="#">mp4-11</a>	2:46:09
chapitre 8	<a href="#">Surface de réponse</a>	39	<a href="#">mp4-12</a>	2:58:35
chapitre 9	<a href="#">Taguchi</a>	48	-----	-----
chapitre 16	<a href="#">Facteurs aléatoires</a>	28	<a href="#">mp4-16</a>	3:10:58
chapitre 11	<a href="#">SplitPlot</a>	61	<a href="#">mp4-18</a>	1:08:02
chapitre 12	<a href="#">Expériences sur ordinateur</a>	51	<a href="#">mp4-19</a>	-----
chapitre 13	<a href="#">Mélanges</a>	23	<a href="#">mp4-13</a>	2:48:34
chapitre 14	<a href="#">Multiniveaux</a>	20	<a href="#">mp4-14</a>	2:45:22
chapitre 15	<a href="#">Algorithmique</a>	9	<a href="#">mp4-14</a>	3:16:49
chapitre 16	<a href="#">Répétées / longitudinales</a>	42	<a href="#">mp4-17</a>	0:39:20
chapitre 17	<a href="#">Emboités</a>	8	<a href="#">mp4-15</a>	0:39:20
chapitre 18	<a href="#">Modèles mixtes</a>		<a href="#">mp4-20</a>	-----

## DESCRIPTION OFFICIELLE

Étude et optimisation des processus, principes de base en expérimentation, terminologie, expériences comparatives, principales méthodes d'assignation des traitements, analyse de la variance d'expériences avec un seul facteur, analyse diagnostique des résidus, expériences avec plusieurs facteurs, conception de plans fractionnaires, niveau de résolution d'un plan, autres types de plans, analyse de la variance de plans complets et des plans fractionnaires, calcul des effets, tests d'hypothèses, modèles de prédiction, méthodes graphiques de présentation des résultats, conception et analyse de plans en blocs, analyse de covariance, méthodologie des surfaces de réponse, fonctions de désirabilité, conception robuste de Taguchi, plans optimaux, plans avec contraintes, plans pour les mélanges, expériences en unités divisées, plans en mesures répétées, plans avec facteurs aléatoires, plans sur ordinateur pour les codes numériques et la simulation.

**SITE WEB** notes cours et devoirs <https://cours.polymtl.ca/mth6301/MTH8301.htm>

### MTH8301 - Planification et d'analyse d'expériences accueil

**PLAN cours** ([pdf](#)) **note finale pour le cours** ([pdf](#))

#### DEVOIRS

devoir1 ([pdf](#)) page1 ([docx](#)) **notes devoir 1** ([pdf](#))

devoir2 ([pdf](#)) page1 ([docx](#))

devoir3 ([pdf](#)) page1 ([docx](#)) **notes devoirs 1-2-3** ([pdf](#))

**devoir4** ([pdf](#)) **page1** ([docx](#)) **notes devoir4** ([pdf](#))

devoir5 ([pdf](#)) page1 ([docx](#))

**DATA devoirs:** format Statistica ([stw](#)) format Excel ([xlsx](#))

**NOTES COURS** [h:mm:ss](#) h=heure m=minute s=seconde


CHAPITRE	THÈME	page	video	durée
chapitre 1	<a href="#">Introduction</a>	51	<a href="#">mp4-2</a>	1:19:40
chapitre 2	<a href="#">1 facteur avec STATISTICA</a>	62	<a href="#">mp4-3</a>	2:44:09
	<a href="#">1 facteur avec JMP</a>	25	<a href="#">mp4-4</a>	3:17:28
chapitre 3	<a href="#">Multi Facteurs</a>	48	<a href="#">mp-5</a>	3:15:42
chapitre 4	<a href="#">Analyse</a>	38		
chapitre 5	<a href="#">Complets</a>	60		
chapitre 6	<a href="#">Fractionnaires</a>	64		
chapitre 7	<a href="#">Blocs-covariance</a>	51		
chapitre 8	<a href="#">Surface de réponse</a>	39		
chapitre 9	<a href="#">Taguchi</a>	48		
chapitre 16	<a href="#">Facteurs aléatoires</a>	28		
chapitre 11	<a href="#">SplitPlot</a>	61		
chapitre 12	<a href="#">Expériences sur ordinateur</a>	51		
chapitre 13	<a href="#">Mélanges</a>	23		
chapitre 14	<a href="#">Multiniveaux</a>	20		
chapitre 15	<a href="#">Algorithmique</a>	9		
chapitre 16	<a href="#">Répétées / longitudinales</a>	42		
chapitre 17	<a href="#">Emboités</a>	8		
chapitre 18	Modèles mixtes			

*certains vidéos chevauchent 2 thèn*

**DATA exemples du cours :** Statistica ([stw](#)) Excel ch1-9 ([xlsx](#)) ch10-17 ([xlsx](#))

**ANALYSES exemples du cours :** Statistica ([stw](#)) Excel ([xlsx](#)) JMP ([jmp](#))

**EXERCICES théoriques** ([pdf](#)) **EXERCICES numériques** ([pdf](#)) ([data stw](#))

**SIMULATEUR SimPro**  : envoyez courriel à [bernard.clement@polymtl.ca](mailto:bernard.clement@polymtl.ca)

**LOGICIELS STATISTIQUES :** [STATISTICA](#) [JMP](#)

**VIDÉOS (Viviane Lalande)**

pas de math pas de chocolat ! [ici](#) questions ? [ici](#)


**COMPLÈMENTS D'INFORMATION**

- [Planification d'une étude statistique](#)
- [Entreprendre un projet d'expérimental](#)
- [Réflexions avant d'entreprendre un projet expérimental](#)
- [Études statistiques: expérimentales vs observationnelles](#)
- [Processus modélisation statistique](#)
- [Modèles statistiques](#)
- [Programme Statistica pour générer un plan complet](#)
- [Plans de Jones & Nachtshiem](#)
- [Utilisation de General Regression Model \(GRM\)](#)
- [SPC - Contrôle statistique des processus](#)
- [Rôle de la statistique dans l'industrie et les affaires](#)
- [Étude Répétabilité & Reproductibilité \(R&R\)](#)



**STATISTICA** : téléchargement / documents/ exercices d'apprentissage du logiciel

<https://cours.polymtl.ca/mth6301/STATISTICA.htm>






**Logiciel STATISTICA**


retour [page d'accueil](#)

La version 13 de *STATISTICA* est accessible dans les laboratoires informatiques de l'École Polytechnique de Montréal et dans les salles de cours.

Vous pouvez en faire l'installation sur votre ordinateur si vous êtes professeur, étudiant, employé à Polytechnique Montréal.


Consulter la procédure: 

Introduction au logiciel *STATISTICA* : version 9 anglaise  version 6 française 

Exercices d'apprentissage 

Données des exercices d'apprentissage : [Data-Apprentissage.stw](#) (Statistica) / [Data-Apprentissage.xlsx](#) (Excel)

**JMP Pro** <https://cours.polymtl.ca/mth6301/JMP.htm>



**Logiciel Statistique JMP Pro** [retour page d'accueil](#)

La compagnie SAS offre gratuitement aux professeurs, étudiants et le personnel de Polytechnique, le logiciel statistique *JMP Pro*. Le logiciel est disponible pour les systèmes d'exploitation **WINDOWS** et **MAC**. Il est réservé uniquement à des fins éducatives dans le cadre d'un établissement d'enseignement et de recherche universitaire. *JMP Pro* ne doit pas être utilisé à des fins commerciales. La licence autorise l'utilisation jusqu'à une date d'expiration annuelle. Un délai de tolérance de 90 jours est prévu après la date d'expiration pour faire le renouvellement. Le logiciel est aussi accessible dans les laboratoires informatiques de Polytechnique.

Le site de JMP [https://www.jmp.com/en\\_us/home.html](https://www.jmp.com/en_us/home.html) est riche d'information : études de cas, vidéos, formations, blogues, etc. Il existe plusieurs versions selon plusieurs pays et une dizaine de langues: français, anglais, allemand, espagnol, italien, chinois, etc. Le site français de JMP est : [https://www.jmp.com/fr\\_fr/home.html](https://www.jmp.com/fr_fr/home.html)

Information générale sur JMP: [pdf](#)

Pour installer JMP sur votre ordinateur, il faudra vous identifier comme professeur, étudiant ou personnel de Polytechnique en remplissant le formulaire ci-après: [demande](#)

Suite à la réception de votre demande, vous recevrez un courriel et un fichier décrivant les étapes d'installation.

## RÉFÉRENCES

---

### Principale

Montgomery, D. C (2017). *Design and Analysis of Experiments*, 9th ed., John Wiley & Sons.

Rushing, H., Andrews K. Wisnowski, J. (2013). *Design and Analysis of Experiments by Douglas*

Montgomery: *A Supplement for Using JMP*, SAS Institute Inc, SAS Campus Drive, North Carolina.

### AUTRES

---

Box, G. E. P. Draper, N.R. (2007). *Response Surfaces, mixtures, and Ridge Analysis*. John Wiley & Sons. 2<sup>nd</sup> ed

Box, G. E. P. Hunter, W. G., Hunter, J. S. (2005). *Statistics for Experimenters*, 2nd ed. John Wiley & Sons.

Clément, Bernard (2011). *Planification et analyse d'expériences avec Statistica*, Génistat Conseils Inc.

Clément, Bernard. (1998). *Statistical Design and Analysis of Multivariate Experiments*.

*Handbook of Bolts and Bolted Joints*, Chapter 41, pp. 825-870, Marcel Dekker.

Clément, Bernard. (2000). *Conception robuste: méthodologie de Taguchi dans le design des produits*.

Cornell, J.A (1990). *Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*, Wiley

Dean, A., Voss, D. (1999). *Design and Analysis of Experiments*, Springer-Verlag.

Fang, K.T., Li, R., Sudjianto, A. (2006). *Design and Modeling for Computer Experiments*, Chapman & Hall.

Federer, W. T., King, F. (2007) *Variations on Split Plot and Split Block Experiment Design*, Wiley

Forrester, A., Sobester A., Keane, A. (2008) *Engineering Design via Surrogate Modelling*, Wiley

Haaland, P. D. (1989). *Experimental Design in Biotechnology*, Marcel Dekker.

Mason, R. L., Gunst, R. F., Hess, J. L. (2004). *Statistical Design and Analysis of Experiments*, Wiley

Myers, R.H., Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology*, John Wiley & Sons Inc.

Santner, T. J., Williams, B. J., Notz W.I. (2003). *The Design and Analysis of Computer Experiments*, Springer

Schmidt, S.R., Launsby, R.G. (1992). *Understanding Industrial Designed Experiments*, 4th Ed. Air Academy.

#### (31 études de cas)

Taguchi, G. (1987). *System of Experimental Design, vol.1, vol. II*, UNIPUB, Krauss International Pub.

Van Belle, G., Kerr, K. F. (2012). *Design and Analysis of Experiments in the Health Sciences*, Wiley

Wheeler, D. J (1988). *Understanding Industrial Experimentation*, 2nd ed., SPC Press, Knoxville, TE.

Wu, C. F. J., Hamada, M. (2009). *Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons.

### EN FRANÇAIS

Dagnelie, Pierre (2003). *Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse*

*de leurs résultats*. Presses agronomiques de Gembloux, <http://www.dagnelie.be/expres.html>

Goupy, J. (2005). *Pratiquer les plans d'expériences*, Dunod.

Goupy J., Creighton L. (2009) *Introduction aux plans d'expériences*, 4<sup>ième</sup> édition, Dunod

Saporta, G., Drosbeke J. J., Fine J. (éditeurs) (1997). *Plans d'expériences*, Editions Technip.

Vigier, M. G. (1988). *Pratique des plans d'expériences, méthodes Taguchi*, Editions d'organisation





## **EXIGENCES CONCERNANT LES RAPPORTS DE DEVOIRS**

---

Le but de ces exigences est de limiter le nombre de pages et d'en faciliter la lecture.

- 1) Le rapport doit être réalisé avec un logiciel de traitement de texte.
- 2) **Utiliser la police de caractères Arial 10 ou Arial 9 avec des caractères gras.**
- 3) Numéroté les pages.
- 4) **Commencer chaque numéro sur une nouvelle page.**
- 5) La première page du rapport à remettre doit être une copie de celle de l'énoncé du devoir. Une copie sera disponible sur le site du cours
- 6) **Ne pas répéter l'énoncé des questions dans le rapport.**
- 7) Insérer vos graphiques dans des zones de texte dont la taille  
vertical X horizontal ne dépasse pas 6,5 X 7,5 (cm) ou 2,5 X 3,0 (po).
- 8) **Viser à contenir le rapport principal à l'intérieur d'un maximum de 20 pages.**  
**Utiliser des pages annexes au besoin pour ne pas briser le fil conducteur de la solution de chaque question.**
- 9) 10 points sur 100 seront attribués à la qualité générale du rapport.
- 10) **Le rapport n'est pas seulement un assemblage (copier-coller) des sorties (tableaux et graphiques) du logiciel STATISTICA ou autre.**
- 11) Chaque question doit se terminer avec une conclusion sommaire sur l'interprétation des données. Soyez bref et aller droit au but.
- 12) **S'il y a lieu, ajouter des commentaires que vous jugez pertinents.**
- 13) Si vous utiliser R, Python, Julia, Perl, Weka, ou un autre logiciel pour faire les analyses mettez en annexe, une copie de votre code.
- 14) **Nom obligatoire pour transmettre votre rapport**

**FFFF\_mmm\_2023\_MTH8301\_devoirN.pdf**

**FFFF** = nom de famille

**mmm** = matricule

**N** = numéro du devoir (1, 2, 3, 4, 5)