

**Heure et salle :**

- Heure : Mercredi 8h30-11h30
- Salle : 9.02

**Enseignants :**

Nicolas Verzelen, [nicolas.verzelen@inra.fr](mailto:nicolas.verzelen@inra.fr)  
Joseph Salmon, [joseph.salmon@umontpellier.fr](mailto:joseph.salmon@umontpellier.fr)

**Horaires de consultation (*office hours*) :**

- Mercredi 17h-19h, sur rendez-vous par mail uniquement.

**Prérequis**

Les étudiants sont supposés connaître les bases de la théorie des probabilités, du calcul différentiel, d'optimisation convexe et d'algèbre linéaire.

**Probabilités :** Pour le démarrage en probabilité les ouvrages suivant sont en français [CGDM01], [Ouv08], [Ouv07], [GS01]. Une introduction aux martingales et aux espérances conditionnelles est bien détaillée dans [Wil91] (avec une preuve de la loi des grands nombres suffisamment rigoureuse). Pour aller plus loin, en particulier sur la concentration de la mesure on pourra consulter [BLM13]

**Algèbre Linéaire :** Il faut être suffisamment à l'aise avec le calcul matriciel pour bien commencer avec les modèles linéaires et aller jusqu'aux modèles économétriques : [Sch05], [Gv13] et [GQ18]<sup>1</sup> peuvent être un bon début.

Les classiques du genre sont [Gv13, HJ94] et [TB97] est aussi un bon point d'entrée. Pour aborder les chaînes de Markov il est bon de connaître le théorème de Perron-Frobenius et ses nombreuses conséquences [Sen06, LN12]. Pour des questions plus avancées, par exemple de majorization [MOA11] (utile pour les notions de répartitions de richesses, etc.) et les matrice bistochastiques [Bha97].

**Calcul différentiel, optimisation et convexité :** Pour un bon départ en calcul de gradient et autre outils de calcul différentiel [Rou09]. Pour l'optimisation et la convexité un bon départ est [BV04], et pour les concepts plus avancés [HUL93a, HUL93b], pour les bornes inférieurs et supérieurs pour les algorithmes de premier ordre [Nes04], et enfin des classiques [RW98, Roc97, BL06]. Pour la partie algorithmique de l'optimisation on consultera plutôt [NW06].

**Algorithmique :** Les étudiants doivent aussi être capables d'implémenter des méthodes numériques basiques en utilisant un langage de haut niveau (e.g. Python, Matlab, R/S-Plus). Pour commencer en Python, un fichier d'introduction est disponible : <http://josephsalmon.eu/enseignement/Montpellier/HLMA310/IntroPython.pdf>. Enfin une référence contenant la plupart algorithmes usuels en informatique est le livre [CLRS01].

---

1. <https://www.seas.upenn.edu/~cis515/linalg.pdf>

### Description du cours

Ce cours traite du cadre de l'apprentissage automatique sous un angle statistique. Nous nous intéresserons principalement au cadre supervisé (régression et classification) et introduiront quelques éléments du cadre non-supervisé à travers les méthodes de clustering. Au delà des aspects de modélisations et de théorie, le cours couvrira aussi quelques éléments d'optimisation et d'implémentation des méthodes introduites.

### Notation

**TP Noté :** Ces TPs seront à charger sur le Moodle du cours.

- 10% de la note finale pour le TP1 (2/10/18) et à rendre pour le 4/10/2019, 23h59.
- 10% de la note finale pour le TP2 (16/10/19) et à rendre pour le 18/10/19, 23h59.

**Projet :** 30% de la note finale, énoncé donné à la fin de la séance du 16/10/19, et dont le rendu est prévu pour le dimanche 03/11/19, 23h59.

**Examen :** 50% de la note finale, 6/11/2019.

### Thèmes des séances :

Séance 1 : Introduction à l'apprentissage supervisé ; modèles linéaires.

Séance 2 : Validation croisée, régression logistique, analyse discriminante.

Séance 3 : Sélection de modèle et méthodes de régularisation.

Séance 4 : Perceptron et (descente) de gradient stochastique.

Séance 5 : SVM.

Séance 6 : Arbres de décision, Forêts aléatoires et Boosting.

Séance 7 : Apprentissage non-supervisé.

Séance 8 : Examen

Pour la partie numérique, il est demandé de suivre les vidéos de Jake VanderPlas : <http://jakevdp.github.io/blog/2017/03/03/reproducible-data-analysis-in-jupyter/>, au rythme d'une part semaine. Les vidéos 1 ; 2 ; 7 ; 8 ; 9 et 10 sont obligatoires, les autres pouvant être consulter par curiosité.

### Livres pour l'apprentissage statistique

- **An introduction to statistical learning (With applications in R)**, G. James and D. Witten and T. J. Hastie and R. Tibshirani Springer, New York, 2013 ; [JWHT13]
- **Understanding machine learning : From theory to algorithms**, S. Shalev-Shwartz and S. Ben-David, Cambridge University Press, 2014 ; [SB14]
- **A probabilistic theory of pattern recognition**, L. Devroye and L. Györfi and G. Lugosi, Springer-Verlag, New York, 1996 ; [DGL96]

### Page du cours :

<http://josephsalmon.eu/HMMA308.html>

## Références

- [Bha97] R. Bhatia. *Matrix analysis*, volume 169 of *Graduate Texts in Mathematics*. Springer-Verlag, New York, 1997.
- [BL06] J. M. Borwein and A. S. Lewis. *Convex analysis and nonlinear optimization. Theory and examples*. Springer, New York, 2nd ed. edition, 2006. Theory and examples.
- [BLM13] S. Boucheron, G. Lugosi, and P. Massart. *Concentration Inequalities : A Non-asymptotic Theory of Independence*. Oxford University Press, second edition, 2013.
- [BV04] S. Boyd and L. Vandenberghe. *Convex optimization*. Cambridge University Press, 2004.
- [CGDM01] M. Cottrell, V. Genon-Catalot, C. Duhamel, and T. Meyre. *Exercices de probabilités, Licence - Master - Écoles d'ingénieur*. Cassini, 3<sup>e</sup> edition, 2001.
- [CLRS01] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein. *Introduction to algorithms*. MIT press, 2001.
- [DGL96] L. Devroye, L. Györfi, and G. Lugosi. *A probabilistic theory of pattern recognition*, volume 31 of *Applications of Mathematics (New York)*. Springer-Verlag, New York, 1996.
- [GQ18] J. Gallier and J. Quaintance. *Fundamentals of linear algebra and optimization*, 2018.
- [GS01] G. R. Grimmett and D. R. Stirzaker. *Probability and random processes*. Oxford University Press, New York, third edition, 2001.
- [Gv13] G. H. Golub and C. F. van Loan. *Matrix computations*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, fourth edition, 2013.
- [HJ94] R. A. Horn and C. R. Johnson. *Topics in matrix analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, 1994. Corrected reprint of the 1991 original.
- [HUL93a] J.-B. Hiriart-Urruty and C. Lemaréchal. *Convex analysis and minimization algorithms. I*, volume 305. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [HUL93b] J.-B. Hiriart-Urruty and C. Lemaréchal. *Convex analysis and minimization algorithms. II*, volume 306. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [JWHT13] G. James, D. Witten, T. J. Hastie, and R. Tibshirani. *An introduction to statistical learning*, volume 103 of *Springer Texts in Statistics*. Springer, New York, 2013. With applications in R.
- [LN12] B. Lemmens and R. Nussbaum. *Nonlinear Perron-Frobenius theory*, volume 189 of *Cambridge Tracts in Mathematics*. Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
- [MOA11] A. W. Marshall, I. Olkin, and B. C. Arnold. *Inequalities : theory of majorization and its applications*. Springer Series in Statistics. Springer, second edition, 2011.
- [Nes04] Y. Nesterov. *Introductory lectures on convex optimization*, volume 87 of *Applied Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2004.

- [NW06] J. Nocedal and S. J. Wright. *Numerical optimization*. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer, New York, second edition, 2006.
- [Ouv07] J-Y. Ouvrard. *Probabilités : Tome 2, Licence - CAPES*. Enseignement des mathématiques. Cassini, 2 edition, 2007.
- [Ouv08] J-Y. Ouvrard. *Probabilités : Tome 1, Licence - CAPES*. Enseignement des mathématiques. Cassini, 2 edition, 2008.
- [Roc97] R. T. Rockafellar. *Convex analysis*. Princeton Landmarks in Mathematics. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1997.
- [Rou09] F. Rouvière. *Petit guide de calcul différentiel : à l'usage de la licence et de l'agrégation*. Enseignement des mathématiques. Cassini, 2009.
- [RW98] R. T. Rockafellar and R. J.-B. Wets. *Variational analysis*, volume 317 of *Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften [Fundamental Principles of Mathematical Sciences]*. Springer-Verlag, Berlin, 1998.
- [SB14] S. Shalev-Shwartz and S. Ben-David. *Understanding machine learning : From theory to algorithms*. Cambridge University Press, 2014.
- [Sch05] J. R. Schott. *Matrix analysis for statistics*. Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley-Interscience [John Wiley & Sons], second edition, 2005.
- [Sen06] E. Seneta. *Non-negative matrices and Markov chains*. Springer Series in Statistics. Springer, New York, 2006.
- [TB97] L. N. Trefethen and D. III Bau. *Numerical linear algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA, 1997.
- [Wil91] D. Williams. *Probability with martingales*. Cambridge Mathematical Textbooks. Cambridge University Press, Cambridge, 1991.