

# STEWIA : Spatio Temporal Experimental design With application in Agronomy

September 2025

## 1 Contexte

Le suivi des cultures et de leur environnement à une échelle très fine est particulièrement important lorsqu'on souhaite mettre en place une agriculture de précision [1]. En effet, alors qu'un ensemble de parcelles est souvent géré de manière homogène, certains facteurs environnementaux tels que l'hétérogénéité de la structure du sol, des conditions micro-climatiques différentes, ou l'installation locale de bioagresseurs, induisent des fortes hétérogénéités spatiales et temporelles [2]. Mieux comprendre et prédire ces dynamiques spatio-temporelles est un enjeu pour raisonner les pratiques agricoles à une échelle parcellaire voire subparcellaire. Cela est particulièrement intéressant pour gérer efficacement le développement de différents bioagresseurs qui impactent les cultures pour cibler les interventions au bon moment et bon endroit tout en réduisant l'usage de produits phytosanitaires (pesticides ou produit de biocontrôle) [3]. L'essor récent des capteurs fixes à transmission sans fil facilite grandement le suivi en temps réel de l'environnement et de la végétation. Néanmoins, ces capteurs restent coûteux et ne peuvent être déployés avec une forte densité spatiale [4].

De nombreux modèles spatio-temporels ont été proposés dans la littérature pour prédire des champs d'intérêt, c'est-à-dire la valeur d'une grandeur d'intérêt en n'importe quel point de l'espace et du temps à partir de mesures de capteurs fixes [5]. A contrario, quand il s'agit de déterminer l'ensemble des positions optimales des capteurs, c'est-à-dire de construire un plan d'échantillonnage (optimal en un certain sens), les travaux sont beaucoup plus parcellaires [6]. Or, c'est une problématique désormais cruciale étant donné l'accès aux capteurs récents, qui moins chers que leurs prédécesseurs permettent d'envisager un suivi fin sans toutefois permettre une couverture exhaustive. Par ailleurs, la transmission sans fil des capteurs permet éventuellement d'envisager de bouger certains capteurs, et certaines technologies embarquées sur les capteurs les rend activables dynamiquement [7]. Alors que ces technologies permettent globalement de massifier la donnée, elles peuvent avoir une empreinte environnementale indéniable et il est important de réfléchir à une utilisation frugale. Ce contexte récent de la démocratisation des capteurs en agriculture rend essentiel le développement de

plan d'expériences spatio-temporel adaptés à ces spécificités, notamment pour optimiser leur déploiement.

Le stage STEWIA s'insère dans cette thématique, avec comme objectif principal d'identifier une méthodologie efficace pour sélectionner un plan d'expériences pertinent pour des données spatio-temporelles. En particulier, pour différents types de données (suivi dynamique des cultures, polluants, meso/microclimat, ...), on s'intéressera à des placements optimaux selon différents critères (prédire au mieux à un temps donné, ou sur une période intégrée, dans certaines zones spécifiques de l'espace, ...). Ces questions de plans d'expériences optimaux ont initialement été abordées à partir de modèles spatiaux uniquement [8], puis étendues à certaines structures de covariance séparables en temps et en espace [6]. Par ailleurs, les modèles spatio-temporels se sont développés, et aujourd'hui des structures de covariance plus complexes sont utilisées en pratique dans plusieurs domaines (climat, ...) [9, 10]. Ce stage sera l'occasion d'étudier comment les méthodes proposées sur des modèles simples se comportent sur les méthodes spatio-temporelles à l'état de l'art actuel.

## 2 Déroulé du stage

**L'équipe encadrante** se compose de deux statisticiens, Sébastien Da Veiga (ENSAI) et Marie-Pierre Etienne (ENSAI), et d'un chercheur en épidémiologie, Melen Leclerc (INRAE). Cet encadrement pluridisciplinaire permettra d'assurer la cohérence entre les aspects méthodologiques abordés et les questions soulevées par le domaine d'application. De plus, la personne recrutée aura l'occasion d'assister à des déploiements de capteurs sans fil sur des expérimentations menées à INRAE.

Le déroulé prévu pour le stage est le suivant :

- Selon le profil, le stage démarrera par une revue des méthodes récentes de géostatistique
- Sur des modèles de covariance simple, expérimentation et comparaison des différents types de plans d'expériences existants pour des données spatio-temporelles. On s'intéressera également à l'implémentation (algorithmes pour optimiser le plan d'expériences, coût computationnel, ...)
- Tester ces mêmes méthodes avec des structures de covariance plus complexes et modernes, typiquement non-séparables, ou des modèles non Gaussiens

Le stage donnera lieu à à l'indemnité forfaitaire de stage 4.35 €de l'heure, soit environ 600€ par mois.

Lieu du stage : ENSAI, Campus de Ker Lann à Bruz, à coté de Rennes. Des déplacements sont à prévoir à INRAE sur le site du Rheu, à côté de Rennes.

### 3 Pour candidater

Envoyer un CV et une lettre qui explique vos motivations et en quoi votre profil est pertinent pour le stage à :  
Sébastien Da Veiga : sebastien.da-veiga@ensai.fr  
Marie-Pierre Etienne : marie-pierre.etienne@ensai.fr  
Melen Leclerc : melen.leclerc@inrae.fr.

### Références

- [1] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuvanshi, “Wireless sensor networks for agriculture : The state-of-the-art in practice and future challenges,” *Computers and electronics in agriculture*, vol. 118, pp. 66–84, 2015.
- [2] F. Fuentes-Peñailillo, C. Acevedo-Opazo, S. Ortega-Farías, M. Rivera, and N. Verdugo-Vásquez, “Spatialized system to monitor vine flowering : Towards a methodology based on a low-cost wireless sensor network,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 187, p. 106233, 2021.
- [3] X. Reboud, L. Bedoussac, V. Cellier, S. Cordeau, S. Delzon, M. Leclerc, and J. Jouan, “Mobiliser les agroéquipements et le numérique pour des systèmes de culture sans pesticides,” *Zéro pesticide : un nouveau paradigme de recherche pour une agriculture durable*, 2022.
- [4] M. Zanchi, S. Zapperi, and C. A. La Porta, “Optimized placement of sensor networks by machine learning for microclimate evaluation,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 225, p. 109305, 2024.
- [5] N. D. Le, J. V. Zidek, *et al.*, *Statistical analysis of environmental space-time processes*. Springer, 2006.
- [6] J. Mateu and W. G. Müller, *Spatio-temporal design : Advances in efficient data acquisition*. John Wiley & Sons, 2012.
- [7] H. Hammoud, F. Weis, C. Langrume, M. Leclerc, and J.-M. Bonnin, “Monitoring of in-field risk of infection events by foliar pathogens using smart iot nodes,” in *2024 IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing & Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical & Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics*, pp. 324–330, IEEE, 2024.
- [8] W. G. Müller, *Collecting spatial data : optimum design of experiments for random fields*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [9] W. Chen, M. G. Genton, and Y. Sun, “Space-time covariance structures and models,” *Annual Review of Statistics and Its Application*, vol. 8, no. 1, pp. 191–215, 2021.
- [10] D. Allard, L. Clarotto, and X. Emery, “Fully nonseparable gneiting covariance functions for multivariate space-time data,” *Spatial Statistics*, vol. 52, p. 100706, 2022.