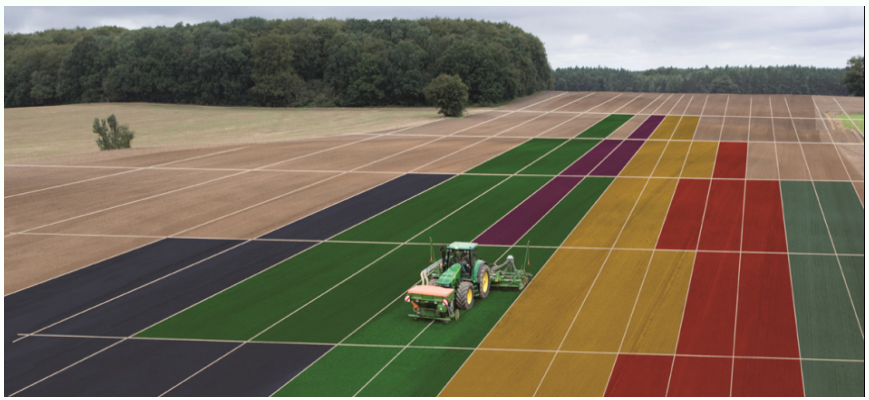
# *Génération automatique de cartes interprétables en agriculture de précision : une approche par Optimisation*

Patrice LOISEL, Brigitte CHARNOMORDIC, Hazaël JONES, Bruno TISSEYRE
INRA, UMR-MISTEA Montpellier, SupAgro, UMR ITAB



# *Contexte : Agriculture de précision*

De plus en plus de variables d'intérêt agronomique sont mesurées :

**Gestion modulée des cultures**

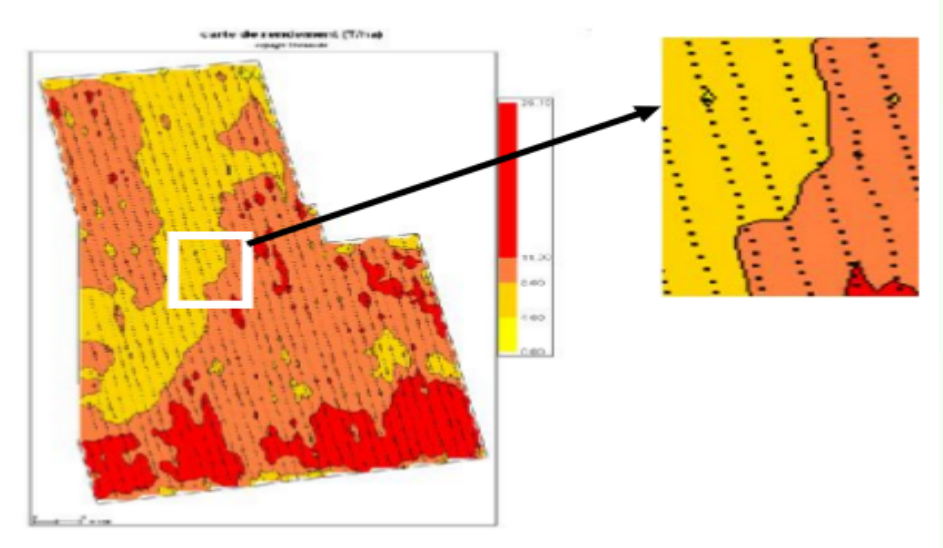
i.e. un traitement agronomique différencié en intra-parcellaire : par exemple apport d'intrants.

→ **Génération de partitions de l'espace** basée sur :

- Données numériques (distance euclidienne)
- Information experte (distance "linguistique") (Information Science 2013)

# *Génération automatique de cartes interprétables*

Machine à vendanger munie de capteurs



Découpage d'une carte en classes

Méthodes de génération :

- Approche usuelle : heuristique (algorithme), pas d'évaluation objective
- Approche choisie : optimisation d'un critère de qualité basé sur des indicateurs

# *Objectif*

A partir de données géoréférencées $(x, y, z_1, z_2, \ldots z_p)$, procédure de création automatique d'un zonage optimal (cas 2D et attribut $z$ monovariable dans la présentation)

Zonage = partition de l'espace 2D constituée de zones

Critère d'évaluation d'un zonage basé sur des indicateurs :

- hétérogénéité entre zones voisines $M_{IJ}$
- hétérogénéité intra zone $M_{II}$

Zonage souhaité : $M_{IJ}$ grands et $M_{II}$ petits
Zonage admissible : satisfaisant des contraintes de forme et de nombre de zones

# *Indicateurs*

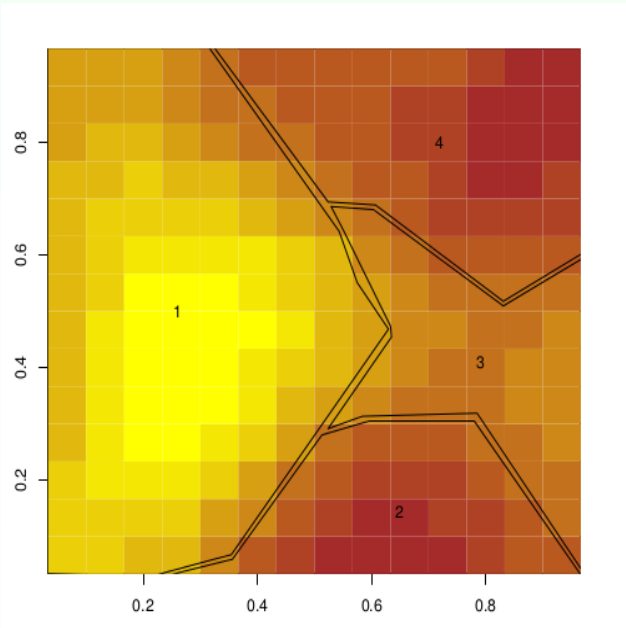
Hétérogénéité, pour deux zones voisines $z_I$ et $z_J$ :

$$M_{IJ} = \frac{\sum_{\eta \in z_I} \sum_{\xi \in z_J} (F(\eta) - F(\xi))^2 \cdot S(\eta) \cdot S(\xi)}{S_I \cdot S_J}$$

- $F(\eta)$ mesure de la variable au point $\eta$
- $S(\eta)$ la surface du polygone de Voronoï associé au point $\eta$
- $S_I$ la surface de la zone $z_I$, $(= \sum_{\eta \in z_I} S(\eta)$ )

Hetérogénéité intra-zone : $M_{II}$

# *Tableau des indicateurs*

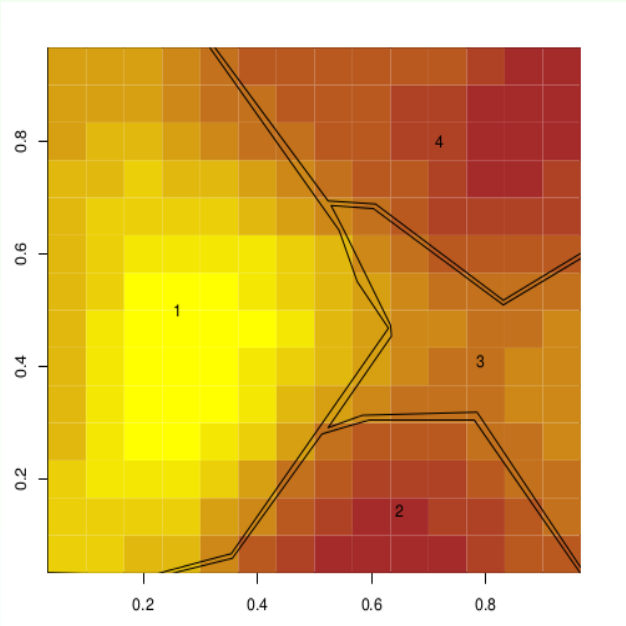



Carte simulée avec 4 zones

| | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 |
|---|---|---|---|---|
| Z1 | 9.21 | 60.80 | 23.04 | 61.16 |
| Z2 | 60.80 | 4.48 | 12.46 | - |
| Z3 | 23.04 | 12.46 | 1.04 | 12.32 |
| Z4 | 61.16 | - | 12.32 | 3.47 |

Tableau des indicateurs

# *Du tableau aux Critères*




Carte simulée avec 4 zones

Indicateur normalisé entre les zones 1 et 2 voisines : hétérogénéité inter-zones normalisée

Diagonale de la matrice d'indicateur normalisé : non informationnel

Zones non voisines : pas d'indicateur

Diagonale de l'indicateur non normalisé : hétérogénéité intra-zone

| | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | $M_{II}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Z1 | 1 | 9.46 | 7.33 | 10.81 | 9.21 |
| Z2 | 9.46 | 1 | 5.68 | - | 4.48 |
| Z3 | 7.33 | 5.68 | 1 | 6.39 | 1.07 |
| Z4 | 10.81 | - | 6.39 | 1 | 3.47 |

Tableau des indicateurs normalisés

$$Crit1 = \min_{z_I} \frac{\sum_{z_J \in \mathcal{V}(z_I)} \tilde{M}_{IJ}}{\#\mathcal{V}(z_I)}, \quad Crit2 = \min_{z_I} \min_{z_J \in \mathcal{V}(z_I)} \tilde{M}_{IJ}$$

# *Procédure d'optimisation*

Problème d'optimisation de forme

mais à tout vecteur de quantiles $q$ correspond un unique zonage $Z_q$

Exemple :

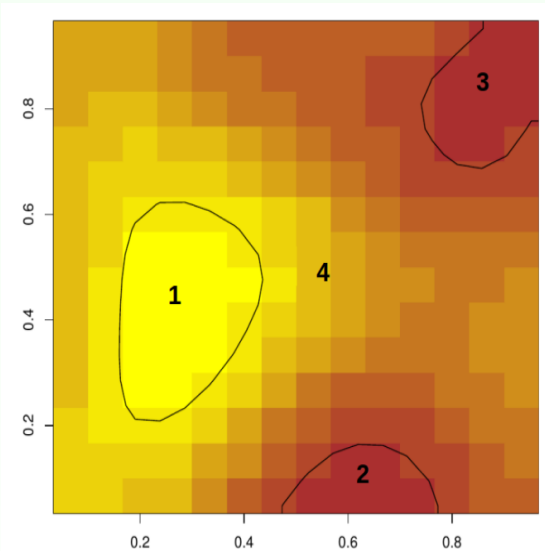
2 quantiles

↓

3 courbes de niveau

↓

4 zones

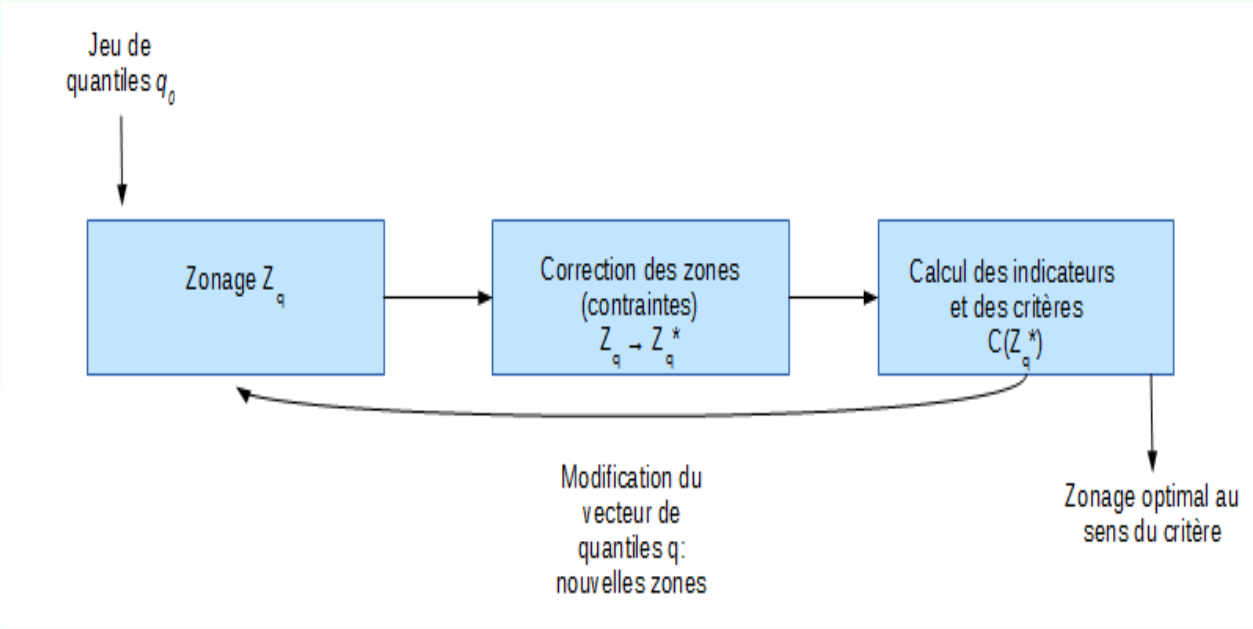



Carte avec les quantiles 0.1 et 0.9

→ Optimisation du critère basée sur les quantiles

# *Procédure d'optimisation*

$Z_q$ est *a priori* non admissible : $Z_q \notin \mathcal{C}$



# *Opérations correctrices*

Les opérations correctrices sont binaires.

| zone non admissible | corrections |
|---|---|
| petite et isolée | $\Downarrow$ $\nearrow$ |
| petite non isolée, voisine même label | $\Downarrow$ $\nearrow$ &\| |
| petite non isolée, voisine label différent | $\Downarrow$ $\Rightarrow$ |
| avec excroissance | $\downarrow$ $\nearrow$ |
| filiforme entre 2 zones de même label | $\Downarrow$ $\nearrow$ |
| filiforme entre 2 zones de label différent | $\Downarrow$ &\| $\nearrow$ |

suppression zone : $\Downarrow$, sous-zone : $\downarrow$, agrandissement : $\nearrow$,
création frontière $|$, rattachement à une zone voisine $\Rightarrow$

Label : “moyenne” de zone
+ le cas de multiple petites zones traité en une seule fois

# *Procédure d'optimisation*

Basée sur l'exploration de 2 arbres (ordre des $k$ opérations)
$k \approx 10$

**1er arbre** : arbre utilisant des optimums locaux
(complexité $< 2k.k\,!$)

**2nd arbre** : arbre exhaustif
(complexité $< 2^k.k\,!$)

Le 1er arbre permet de déterminer les branches à élaguer dans le second (Branch and Bound)

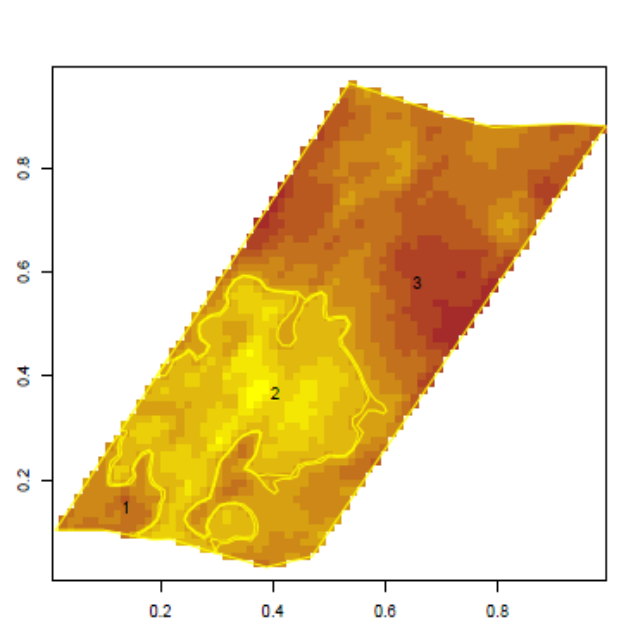
Alternative : arbre intermédiaire

# *Conclusion et perspectives*

Ce qui est réalisé :

- Procédure de génération de zonage à partir des quantiles
- Procédure d'optimisation avec contraintes de tailles (quantiles)
- Bon comportement (discriminants) des critères sur données simulées
- Opérations de correction pour satisfaire les contraintes

Perspectives :

- Automatisation de la détection des non admissibilités
- Prise en compte de la variabilité (simulations conditionnelles)
- Introduction de zones tampons (Partition Floue)
- Prise en compte d'information experte (orientation, rangées $\rightarrow$ sous-zonages ) éventuellement interactive
- Passage au multivarié
- Intégration des résultats dans le logiciel GeoFis (boîte à outils pour l'agronome)

# *Données réelles de rendement sur une parcelle de vigne*