

Cours Master SIE / GC – SIG et aide à la décision

# Spatial Multicriteria Decision Analysis

Prof. François Golay

Institut du développement territorial  
Laboratoire de systèmes d'information géographique

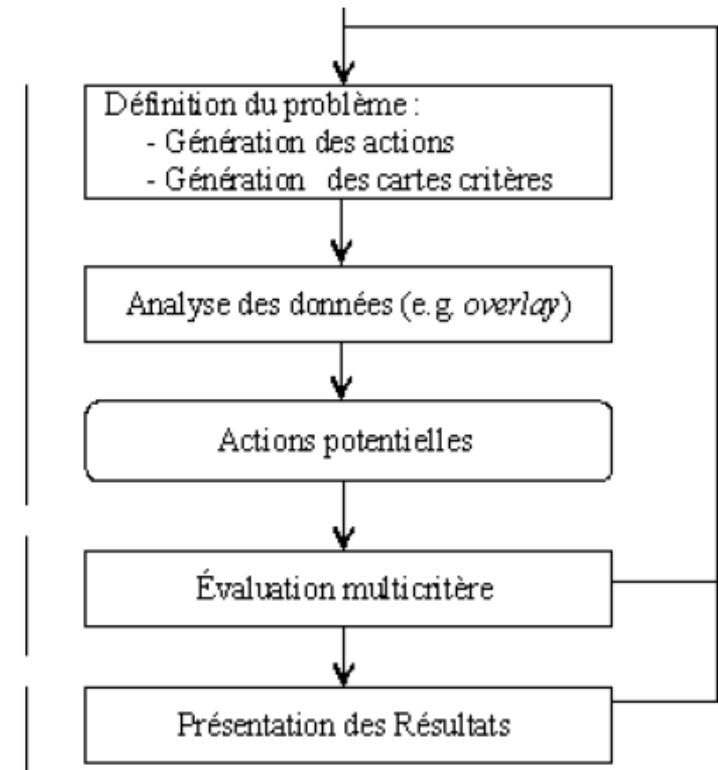
## Spatial Multicriteria Decision Analysis

## What is special about spatial DSS ?

- Spatial Decision Support Systems (SDSS) are computer systems for simultaneously exploring the *spatial* (i.e., geographic) characteristics and the *attribute* characteristics of possible solutions to a defined problem.
- Space is altogether a vector of complexity:
  - in the criteria / attributes  
→ *multiattribute* approach required, criteria may be aggregated
  - in the issues / points of view  
→ *multiobjective* approach, criteria may hardly be aggregated
- Many *uncertainties* likely to arise  
→ to be addressed through probabilistic approaches or through fuzzy sets

SIG

Logiciel d'AMC

SIG ou logiciel  
d'AMC

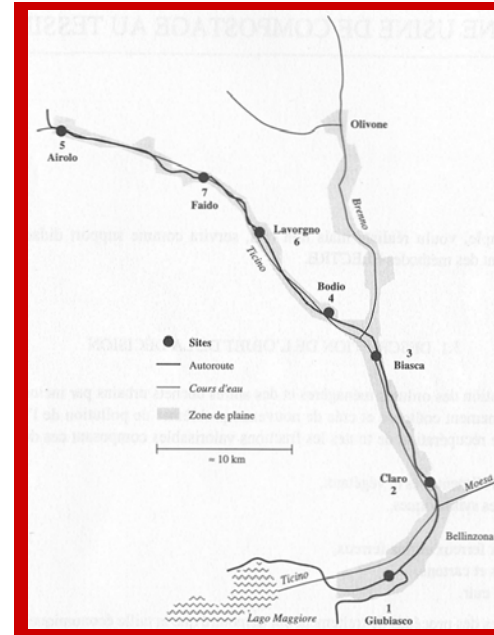
*Typical integrated spatial DS  
process supported by GIS and  
MCA software  
(Chakhar 2006)*

## Spatial Multicriteria Decision Analysis

## Types of spatial decisions

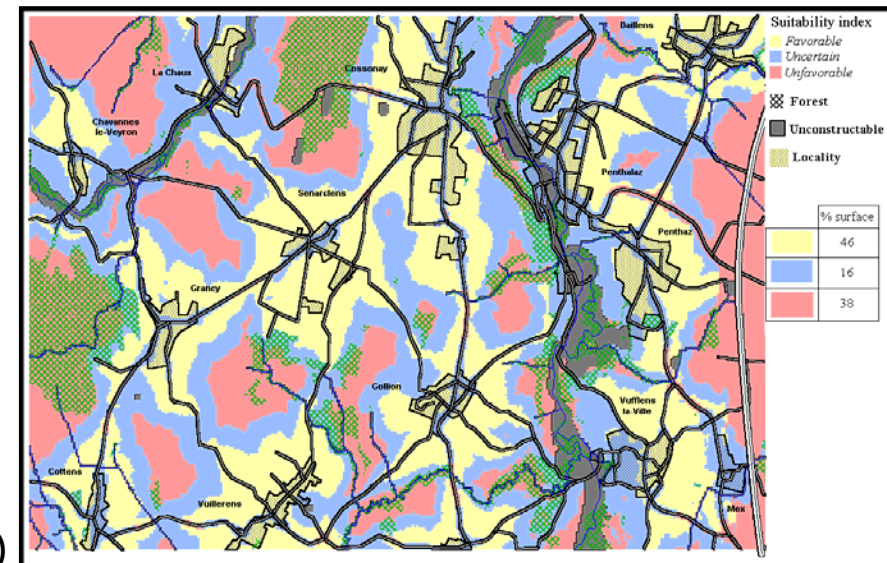
- Location choice among alternatives:
  - information of decision-makers in an *alternative choice* approach
- Location-allocation problems
  - choose possible locations / centers as possible alternatives, and allocate the surrounding space to each of them
  - likely to be multi-objective
  - usually raster-based GIS representation (see Barkan, Densham & Rushton 2006)
- Suitability analysis – analyse d'adéquation du territoire
  - classification of the whole space (or of a large part of it) for some utilization objective(s)
  - likely to be multi-objective (conflictual use)

*Suitability maps* (Joerin 1998)



Implantation d'une usine de valorisation des déchets

But: évaluer les 7 lieux en considérant des critères économiques, sociaux, politiques et environnementaux



## Discrete vs. continuous decision situations

- Alternatives / potential actions may be:
  - **discrete**: a small number of alternatives are spread in the geographical space (e.g.: the plant implementation in Ticino)
  - **continuous** (may cover the whole geographical space, e.g. the soil suitability map):
    - aggregation / connectivity issues
    - (too) many alternatives (arising from a *value-focused* approach)

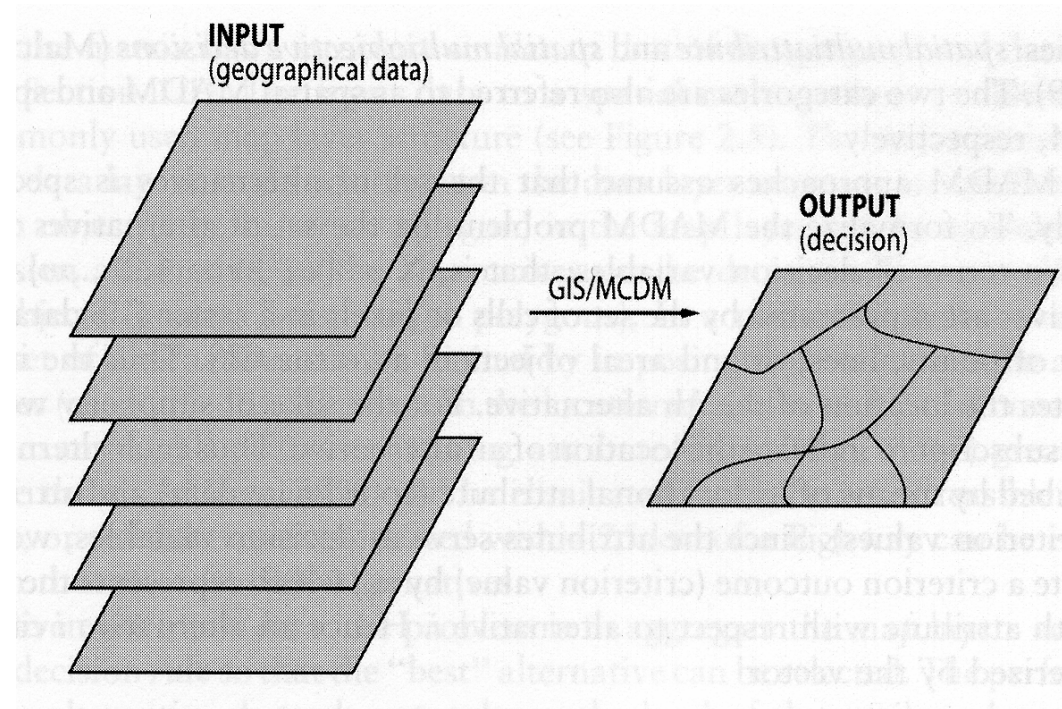
Méthodes discrètes	Méthodes continues
Un ensemble réduit d'actions potentielles	Un grand nombre ou un nombre infini d'actions potentielles
Les actions sont définies explicitement	Les actions sont définies implicitement
L'agrégation se base sur l'utilisation d'une relation de surclassement de synthèse ou sur un critère unique de synthèse	L'agrégation est locale et basée sur des algorithmes interactifs
Demande beaucoup d'information <i>a priori</i> sur les préférences du décideur	Demande peu d'information <i>a priori</i> sur les préférences du décideur

Chakhar  
2006



## Space-related criteria: *criteria maps*

- each criterion / attribute defines a map
- MCDA process relies on the combination of attributes
  - map algebra, overlay
  - easy to implement on a raster GIS (but also possible on vector GIS !)

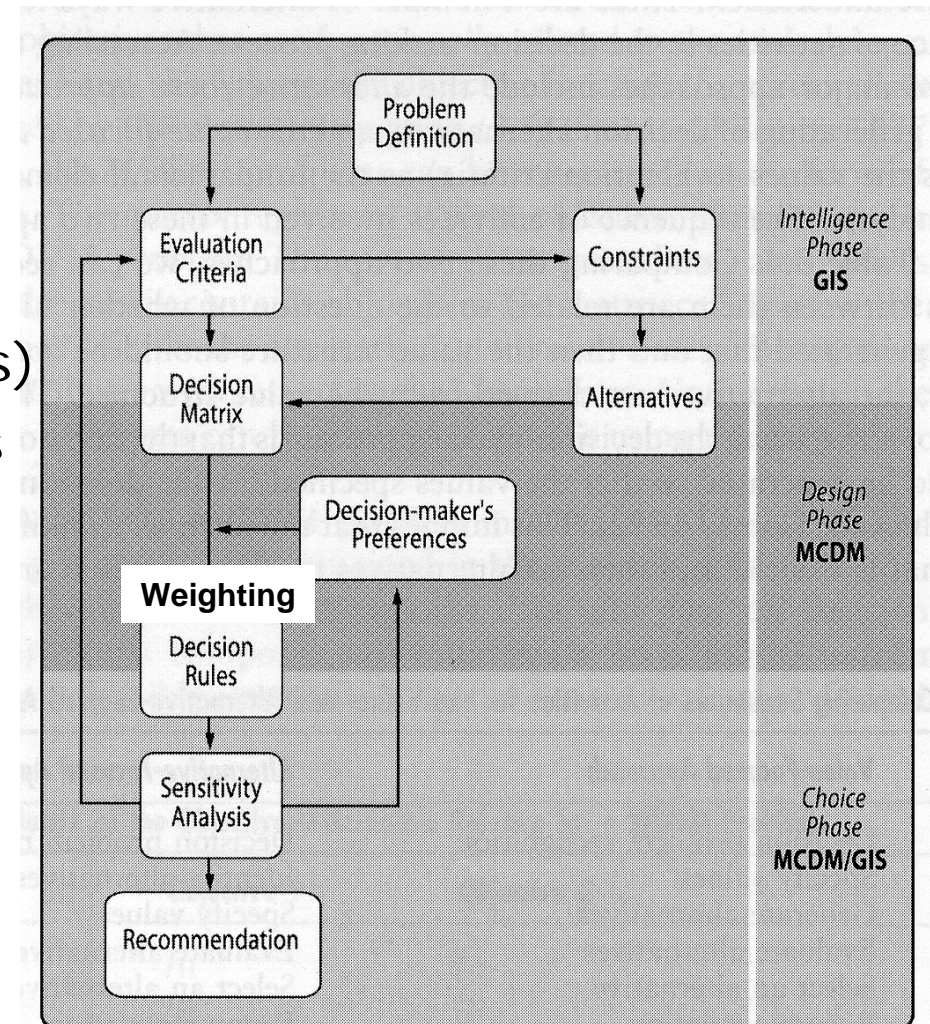




## Spatial Multicriteria Decision Analysis

## Framework of (spatial) MCDA

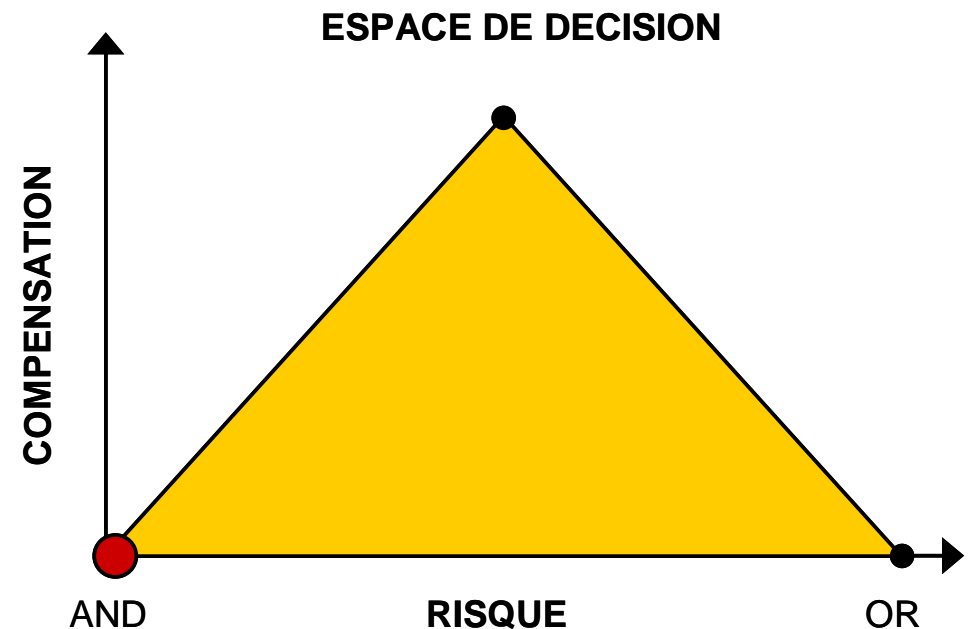
- General framework, may implement both
  - value-focused approaches (alternatives derived from values of criteria and constraints)
  - alternative-focused approaches (alternatives generation before values specification)
- *Weighting* is where decision-maker's preferences are entered, and possibly negotiated.



*derived from Malczewski 1999*

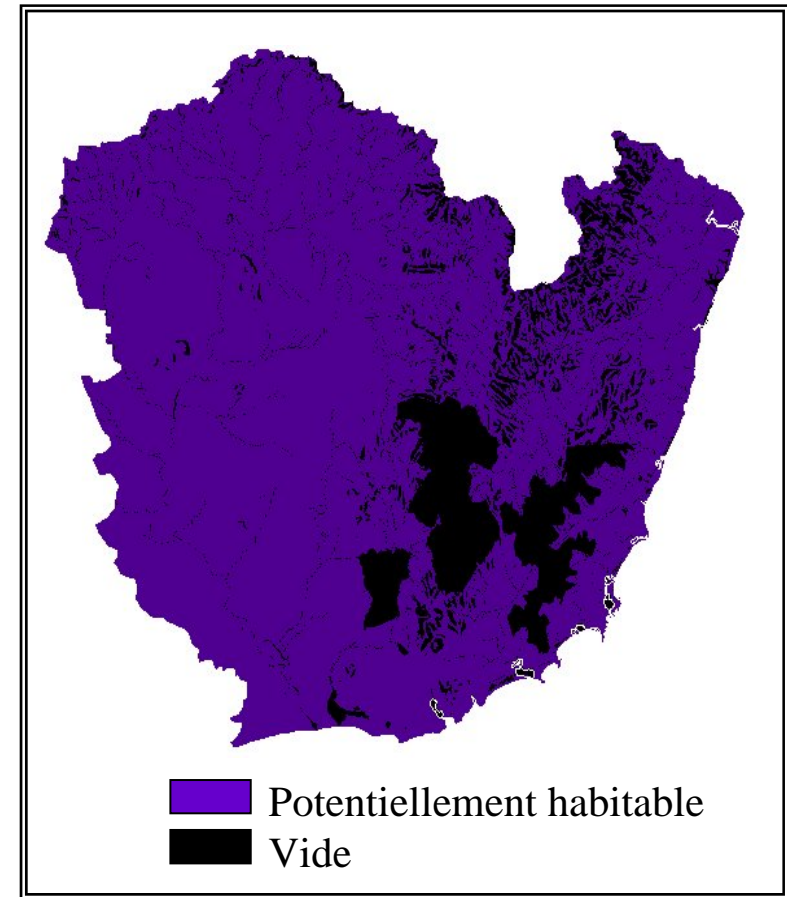
## Choix des *poids* et des *règles de décision*

- Choix des règles de décision
  - Screening / constraints (no trade-offs → no weights !)
  - Combinaison pondérée de critères / attributs (full trade-offs)
  - OWA (selected trade-offs)
  - agrégation partielle (partial trade-offs)



## Contraintes exclusives approche booléenne, sans compensation

- En règle générale, élimination de régions inaptes selon le critère considéré
- Application d'une combinaison booléenne de type « AND »
  - pas de compensation
  - évitement du risque
- Combinaison booléenne de type « OR » aussi possible
  - pas de compensation
  - prise de risque





## Combinaison pondérée de variantes: Poids et Score

***Il est plus aisé d'estimer la contribution d'un facteur avec des nombres entiers !***

- Le **poids** est l'importance relative accordée à une variable ou à un critère en fonction d'un objectif.
- Le poids est un **classement** exprimé sur une **échelle ordinale**, de 0 à 10, de 1 à 100, etc.
- Le poids peut être absolu (note) ou relatif (ratio)
  - Octroi des poids difficile lorsque les critères sont nombreux:  
éventuellement: AHP (Saaty): comparaison de critères 2 à 2
- Le poids classe les variables ou catégories entre elles *sans tenir compte de leur amplitude, ni de leur dimension physique*
- Pour être utilisés mathématiquement, les poids sont **normalisés**, c.-à-d. tous exprimés sur **une même échelle** (par ex. [0 ... 1])
- **Un score** est le nombre de points obtenus par une alternative pour satisfaire un objectif
  - $\text{Score} = \text{poids} \times \text{contribution à l'objectif}$

## Normalisation de chaque critère

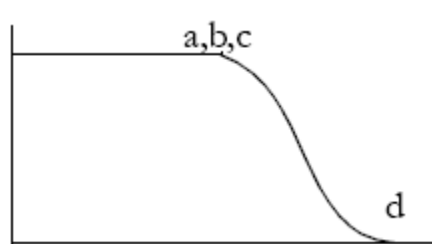
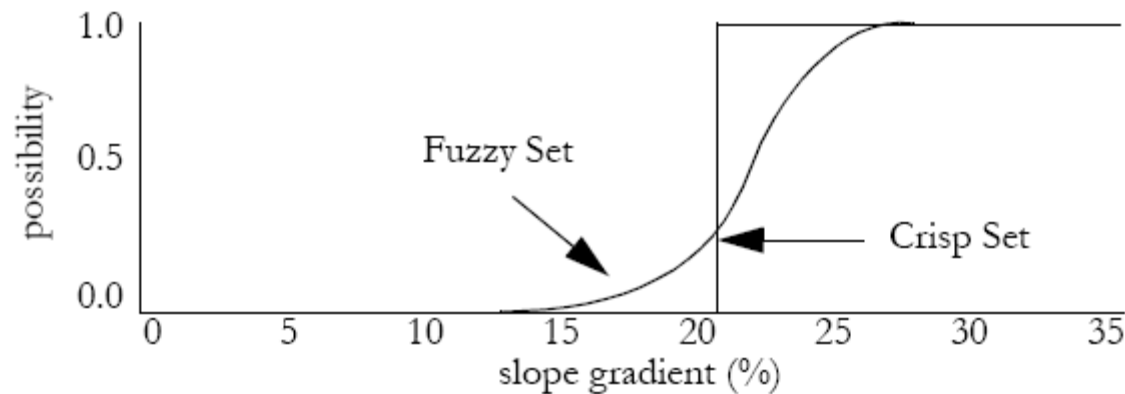
- Comparabilité de deux critères
  - Deux critères ne sont comparables que si leurs étendues respectives sont identiques
    - Exemple : Influence respective de l'altitude et de la température moyenne pour l'aptitude d'un lieu à la culture de la vigne
  - La normalisation s'applique sur l'intervalle de variation (étendue) propre à un critère et à un lieu
    - Exemple : altitude sur mer
- Normaliser une variable sur un intervalle de 0 à 1

$$V_{\text{normalisée}} = \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

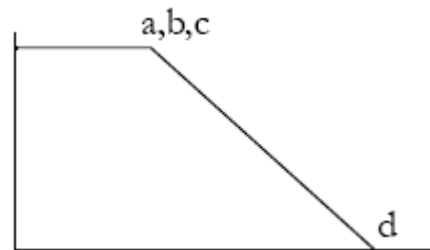
***Transformer une variable en un indice***

v : variable cardinale considérée

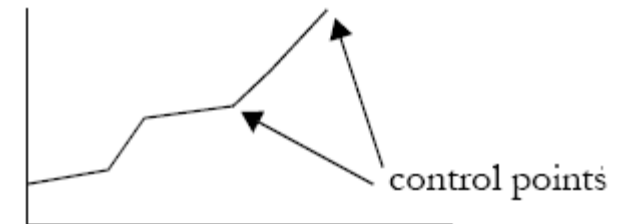
# Evaluation d'un critère: Fuzzy vs. Crisp Set Membership Functions



Sigmoidal Membership Function



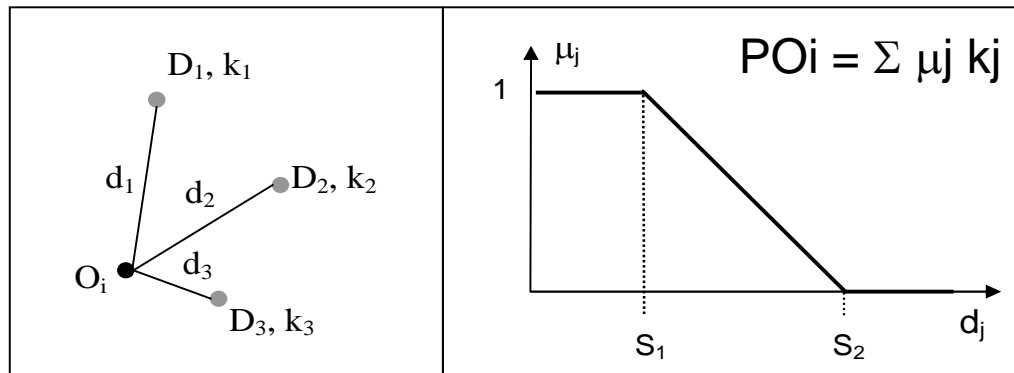
Linear Membership Function



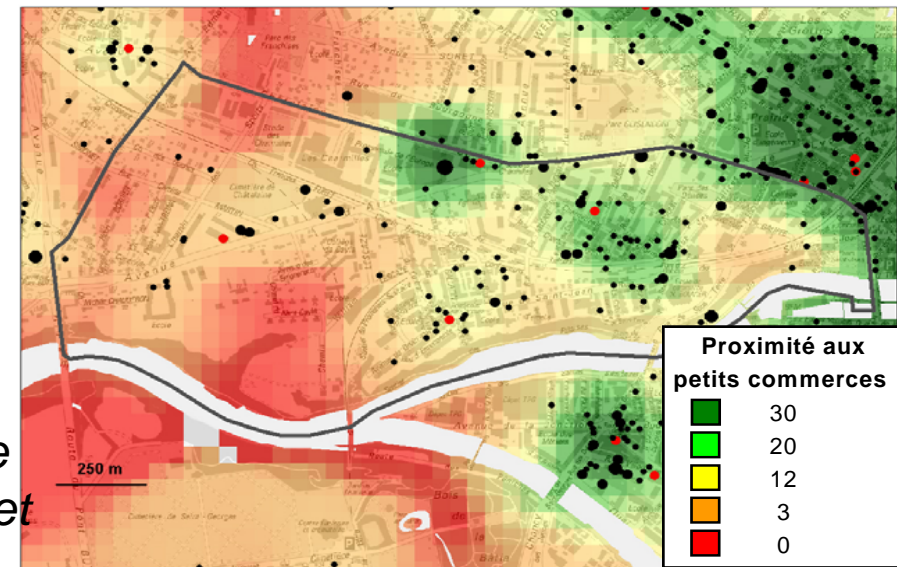
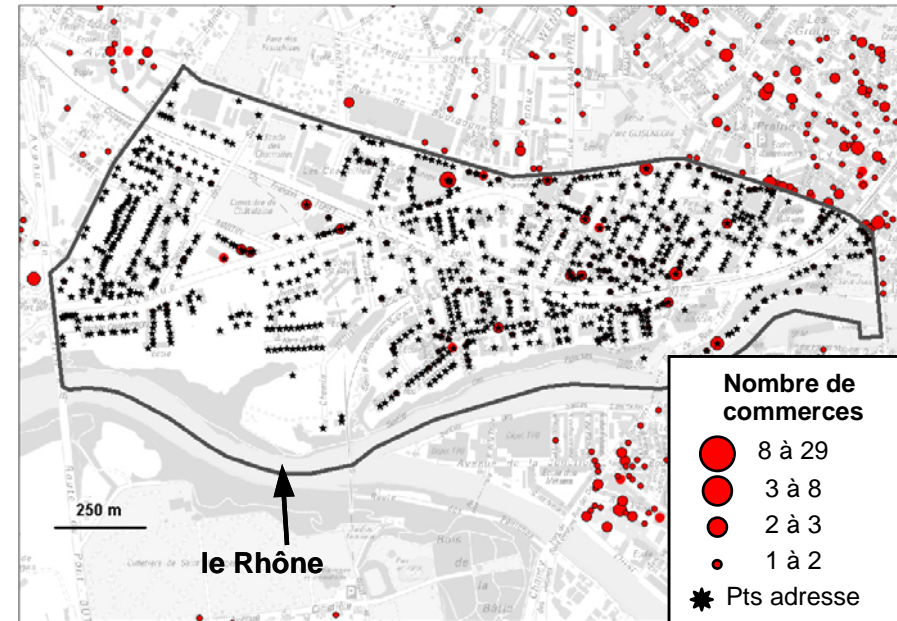
User-Defined Membership Function



# Exemple d'utilisation des « fuzzy sets »



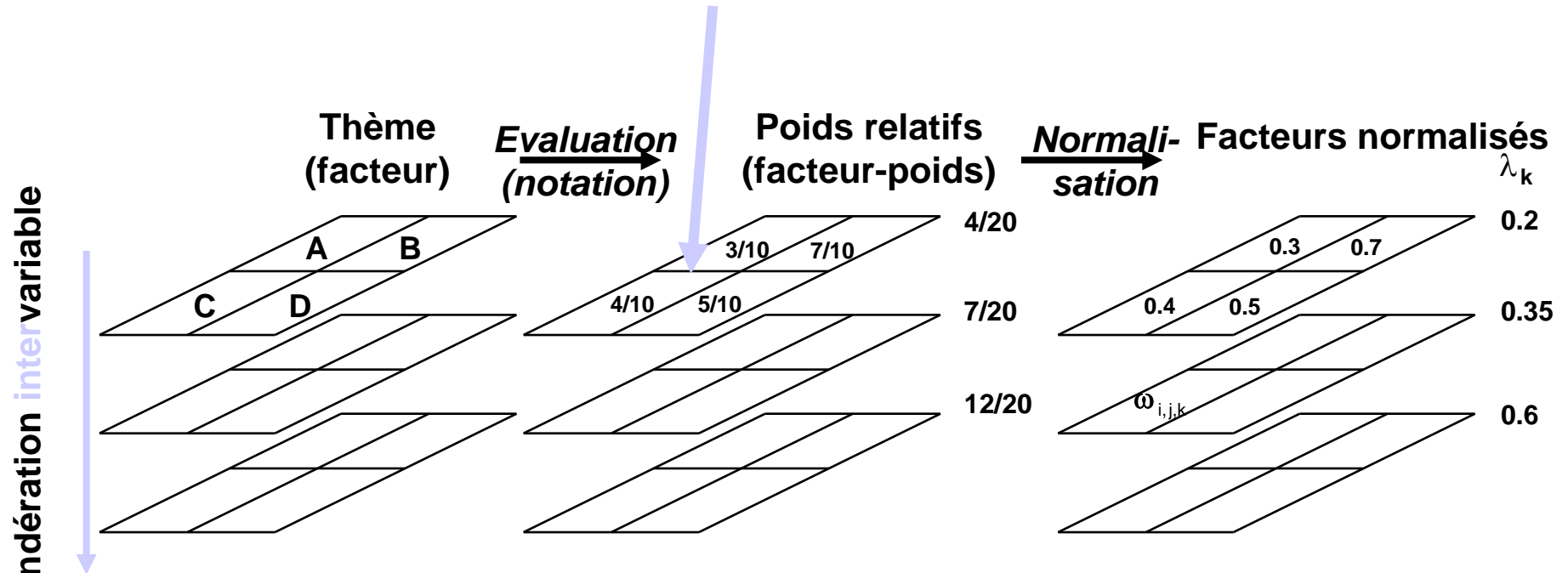
*Indicateur de proximité au petit commerce pour le quartier de St-Jean à Genève. Pour chaque adresse, la contribution de chaque commerce varie entre 1 et 0 en fonction (floue) de la distance. [projet COST/SER CityCoop]*



# Spatial Multicriteria Decision Analysis

## Criteria maps: input through spatial analysis

Pondération **intravari**able = évaluation du critère



$$Score_{i,j} = \sum_k \lambda_k \omega_{i,j,k}$$

## Cas d'étude:

Sites aptes à recevoir une décharge contrôlée  
pour matériaux inertes et bioactive

**Région : Pays d'En-Haut, Canton de Vaud**

*D'après un travail réalisé par L. Borda pour le compte de l'État de Vaud  
Cas d'étude élaboré par R. Caloz*



## La problématique

- Une décharge présentant potentiellement **un risque pour son voisinage**, son emplacement est donc choisi en fonction de **divers critères et contraintes**
- Le **choix définitif** dépend de critères objectifs que l'Analyse spatiale est apte à traiter et **d'autres facteurs tels que politique** qui entrent dans un processus de décision plus complexe
- La phase d'analyse spatiale constitue donc la première étape. Elle détermine les **zones à exclure**. Elle a le mérite d'être **explicite** et basée sur des **données objectives**.

# Analyse multivariée

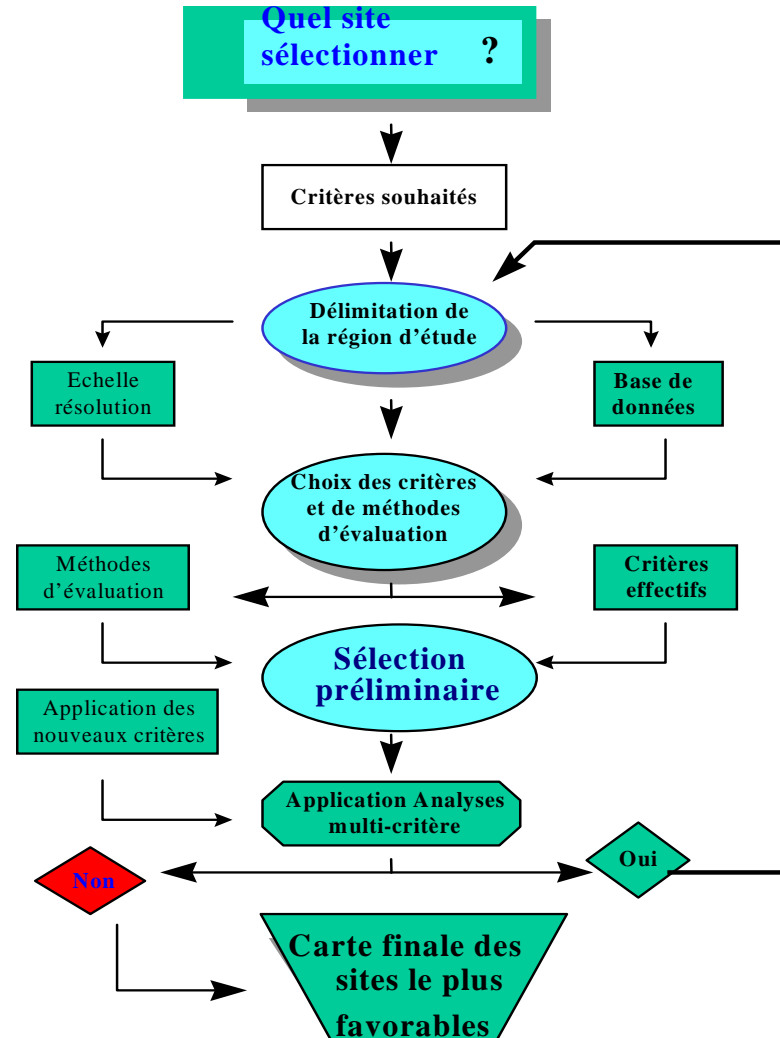
- S'agissant ici d'une analyse préliminaire, l'approche choisie est de **type binaire** : **apte** ou **non apte**
- Pour chaque critère, la contrainte correspondante fixe un seuil de rejet
- Les opérateurs sont donc **booléens**
- *Une **analyse plus fine**, méthode des **scores** par exemple, devrait intervenir ultérieurement pour introduire plus de nuances*

# Spatial Multicriteria Decision Analysis

## Démarche générale

### Principales étapes

- Inventaire et recensement des informations requises, délimitation de la région d'étude
- Définition et sélection des critères
- Numérisation des cartes
- Rasterisation des résultats
- Sélection préliminaire
- Processus de décision par analyse multicritère et négociation





# La zone d'étude



**Pays d'en haut**

**Image TM de Landsat 5  
Canaux 1, 2, 3**



## Informations officielles disponibles

### *Les données **mode objet***

- Limites administratives
- Secteurs de protection des eaux
- Plan d'affectation cantonal  
plan d'aménagement cantonal (PAC)
- Plan d'ensemble
- Inventaires divers
- Sites particuliers

### *Les données **mode image***

- Cartes nationales  
1 : 100'000 et 1 : 25'000 et  
les plans d'ensemble  
1 : 5'000 - 1 : 10'000
- Modèle numérique  
d'altitude – MNA 25

### *Les données **thématiques***

- BD-Décharges
- Sites PDDEM (*PD des dépôts  
pour matériaux d'excavation*)

## Les critères

- Occupation et utilisation du sol
  - Protection des zones habitées
  - Protection des zones de sources
  - Protection des lacs et rivières
  - Protection des voies de communication
- Relief
  - Altitude
  - Pente





## Les contraintes

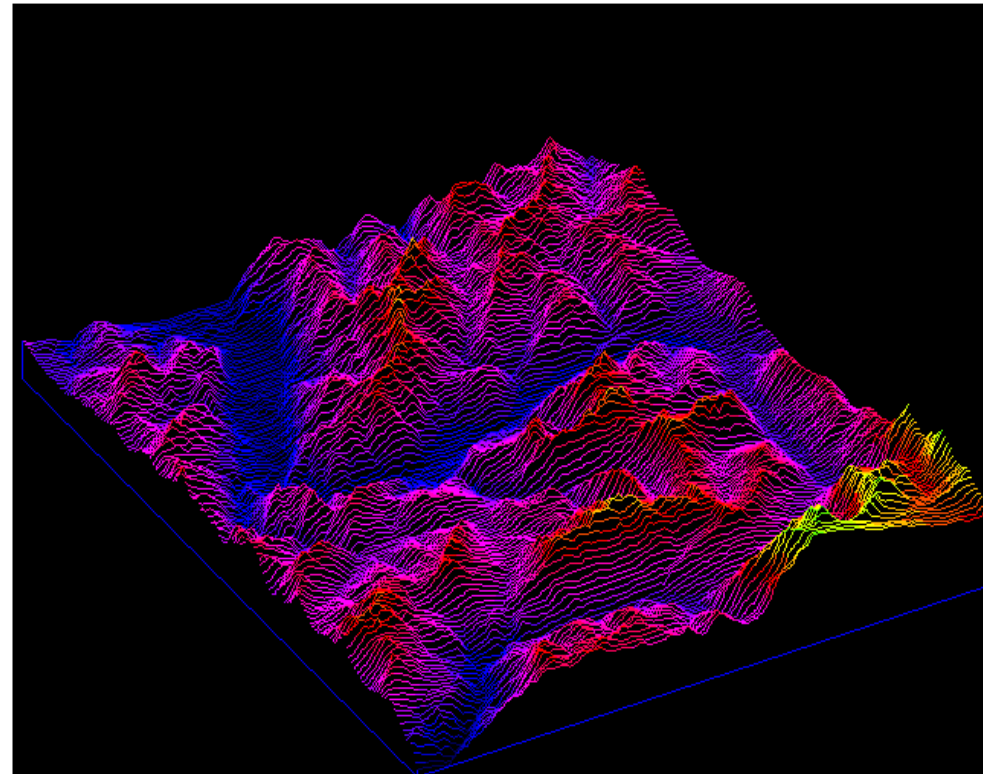
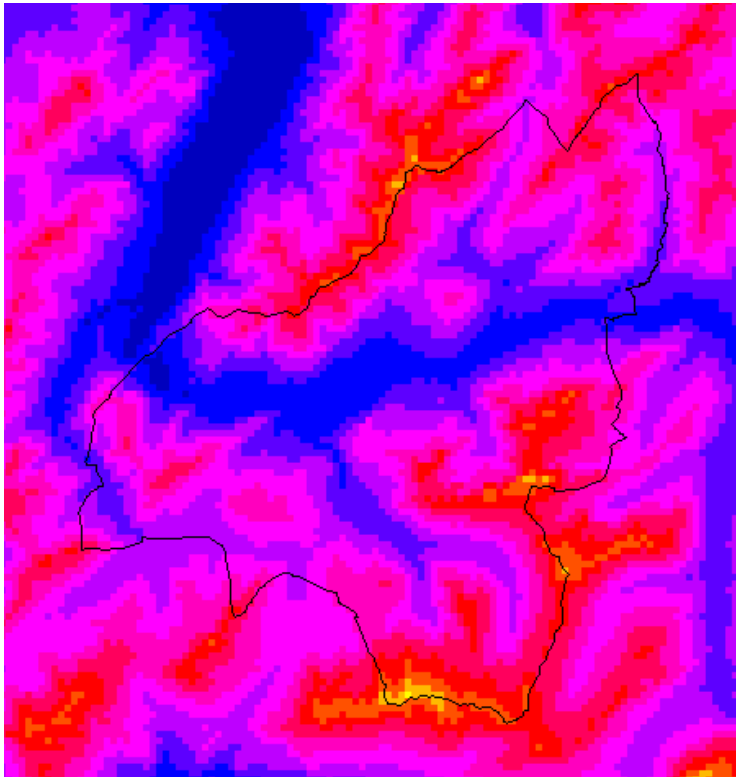
### Sont exclus

- Les zones habitées (zones de villages, bâtiments, chalets) avec une zone de protection de 50 m
- Les secteurs de protection des eaux " S " (zones établies autour de captages d'eaux souterraines)
- Les lacs, les rivières, les ruisseaux, les marais et les étangs avec un zone de protection de 50 m de chaque côté ou autour
- Les routes et la ligne du train avec un zone de protection de 50 m de chaque côté
- Les zones de pente supérieure à 16°
- Les altitudes supérieures à 1700 m

# MNA25 - Modèle numérique d'altitude de l'OFT

Classes d'altitude

Vue 3 D



Se représenter le relief

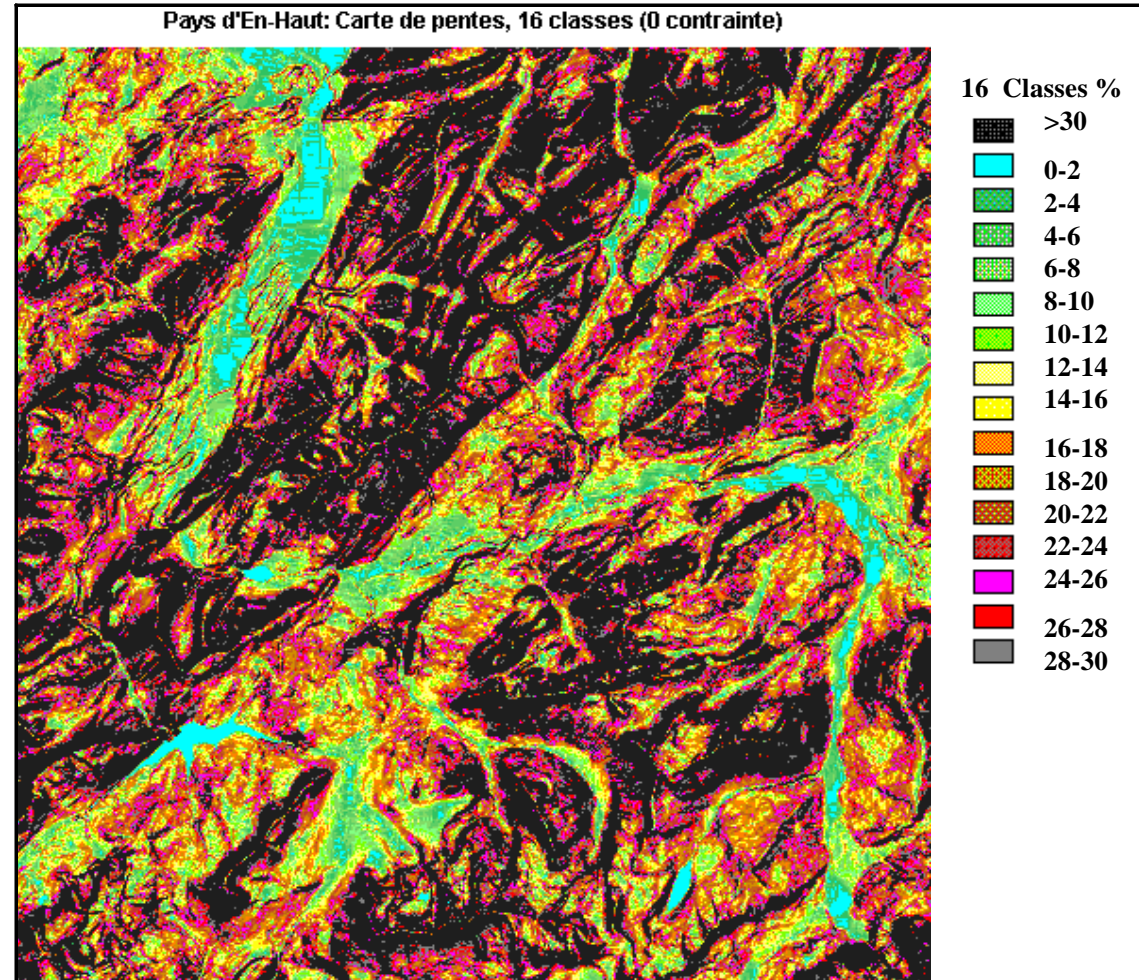
## Calcul des pentes

- Il existe plusieurs manières de calculer la pente
- Dans le cas présent une fenêtre de 5x5 a été choisie

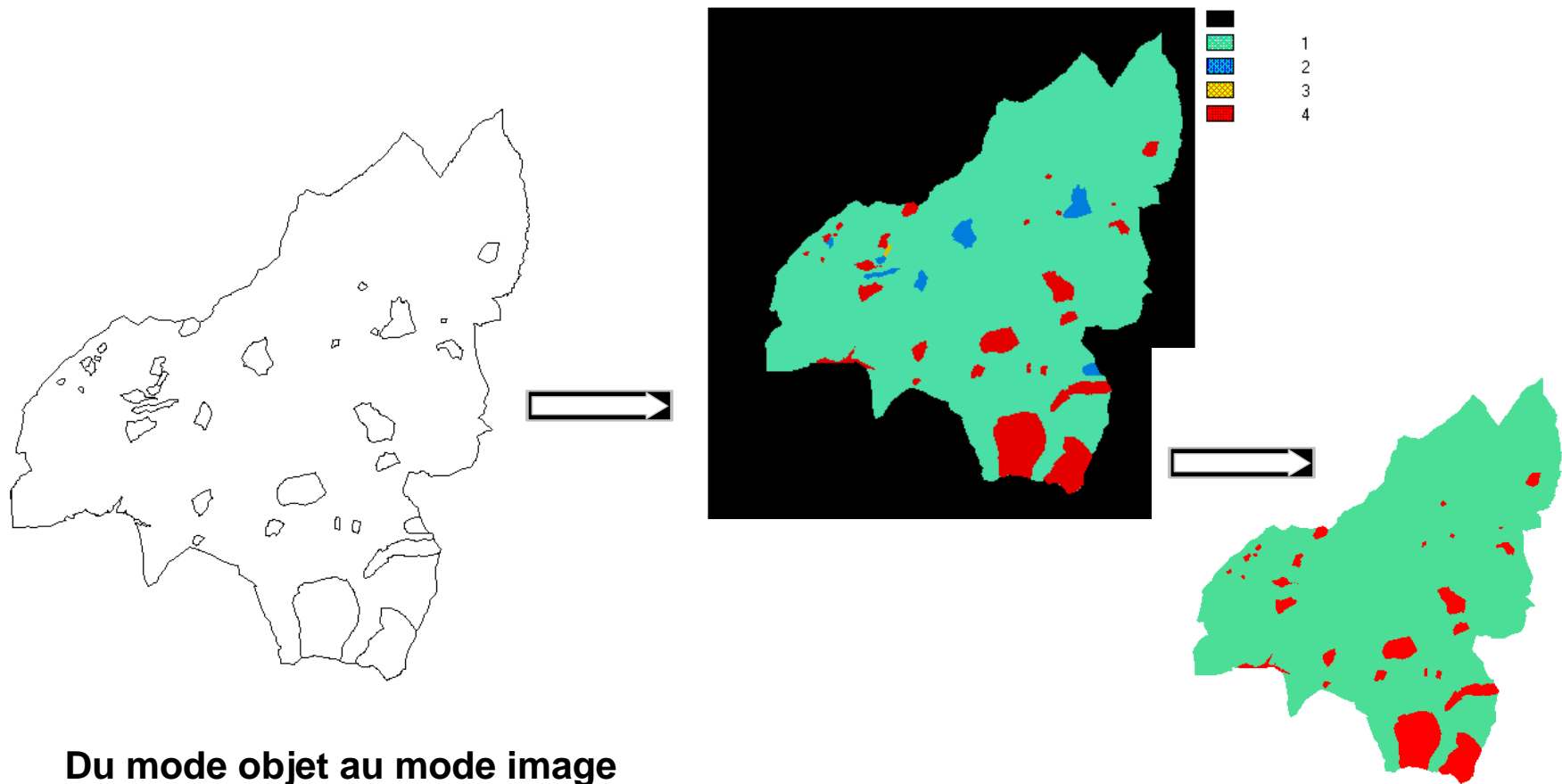
*→ cf théorie sur les MNA (SIG / analyse spatiale)*

# Représentation des pentes

Intervalle de pente  
considéré adéquat : 2%



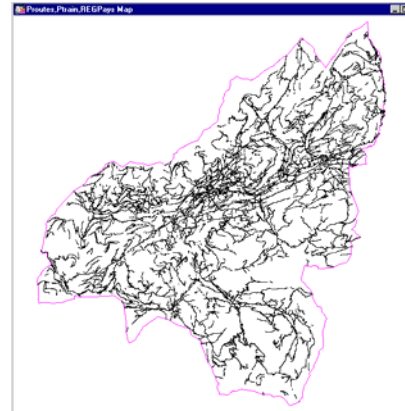
## Protection des eaux



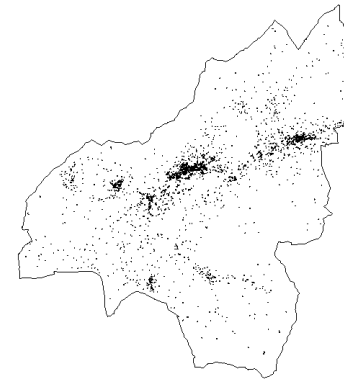
Source : Cartes des zones de protection des eaux souterraines, Canton de Vaud



# Transformations intermodes



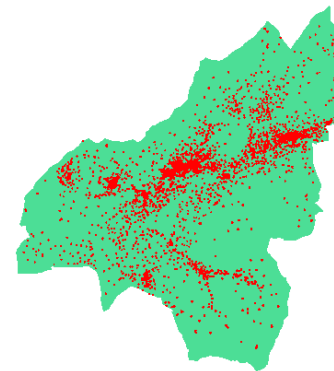
Routes (Mode objet)



Bâtiments (Mode objet)

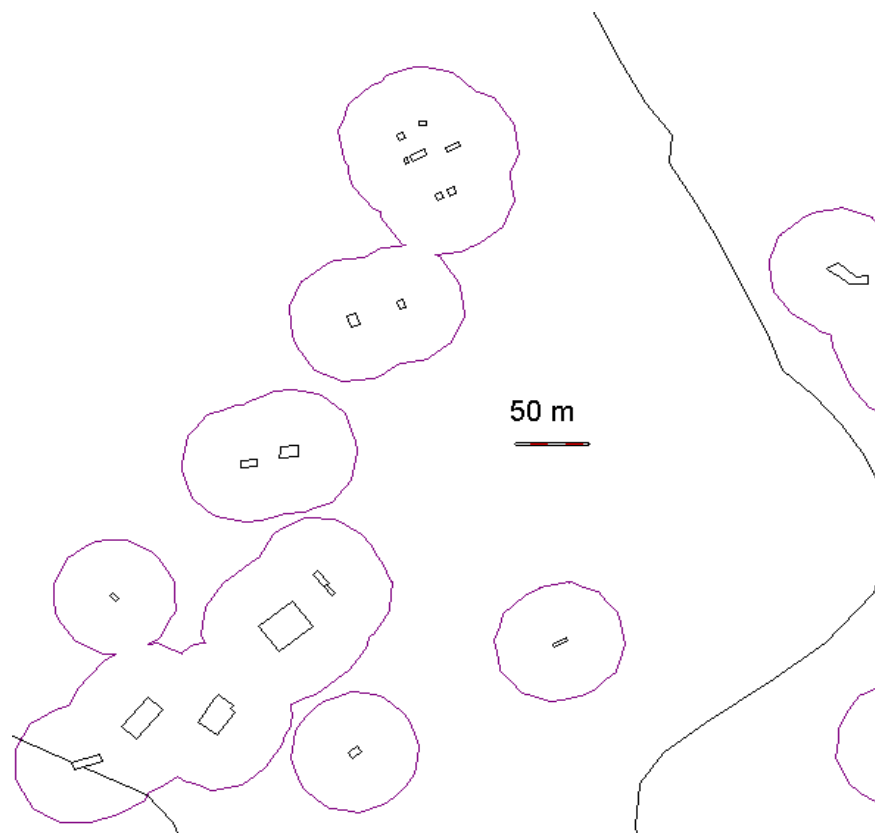


Routes (Mode image)



Bâtiments (Mode Image)

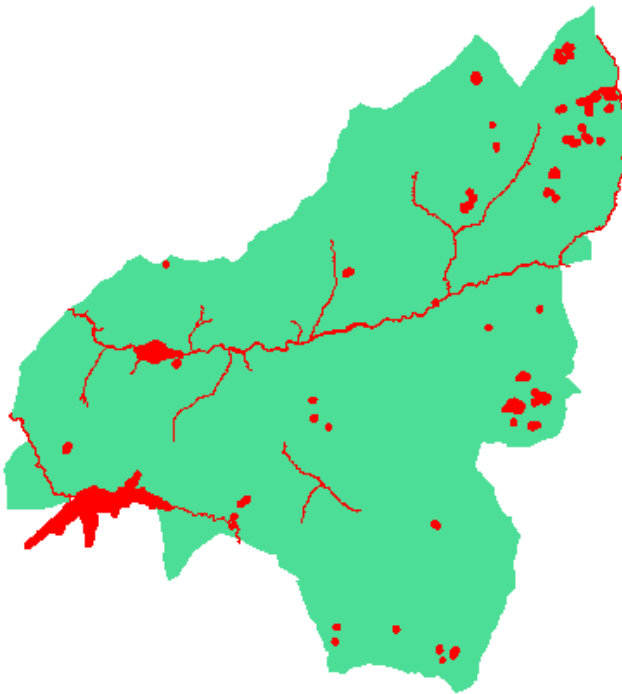
## Création de zones tampons «buffer»



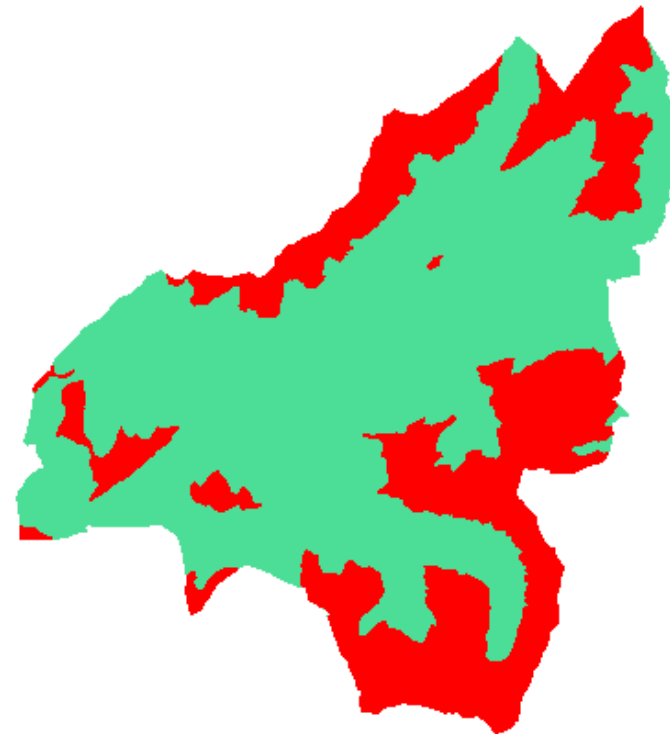
**Extension des  
espaces exclus par  
création de zones  
tampons**

## Spatial Multicriteria Decision Analysis

## Contraintes plans d'eau, altitude



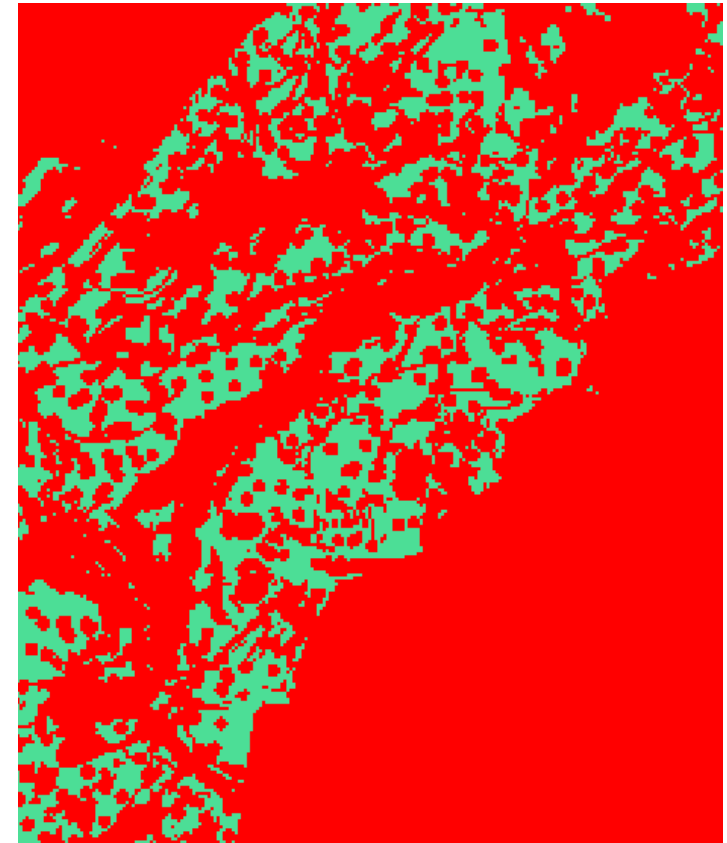
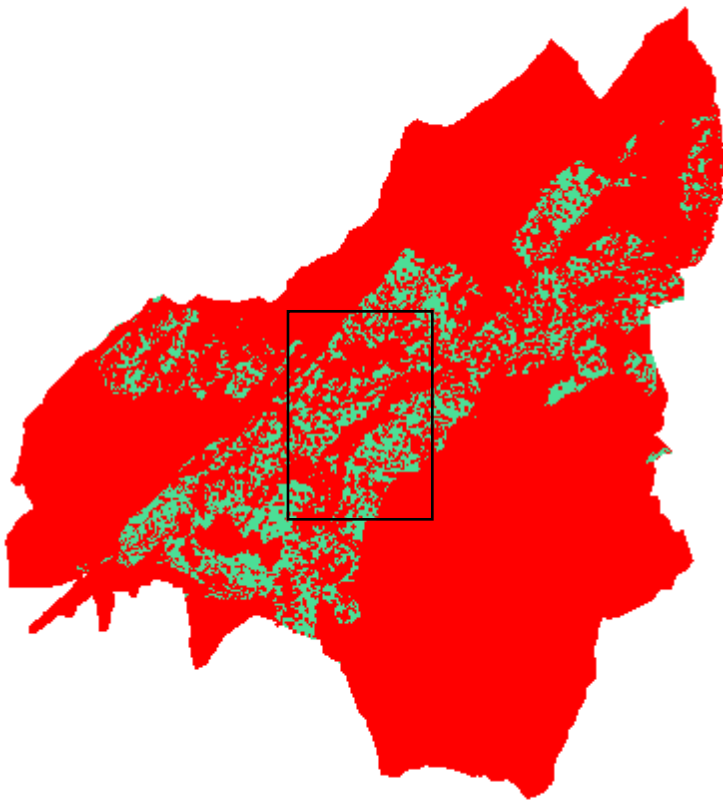
lacs, rivières, marais, étangs



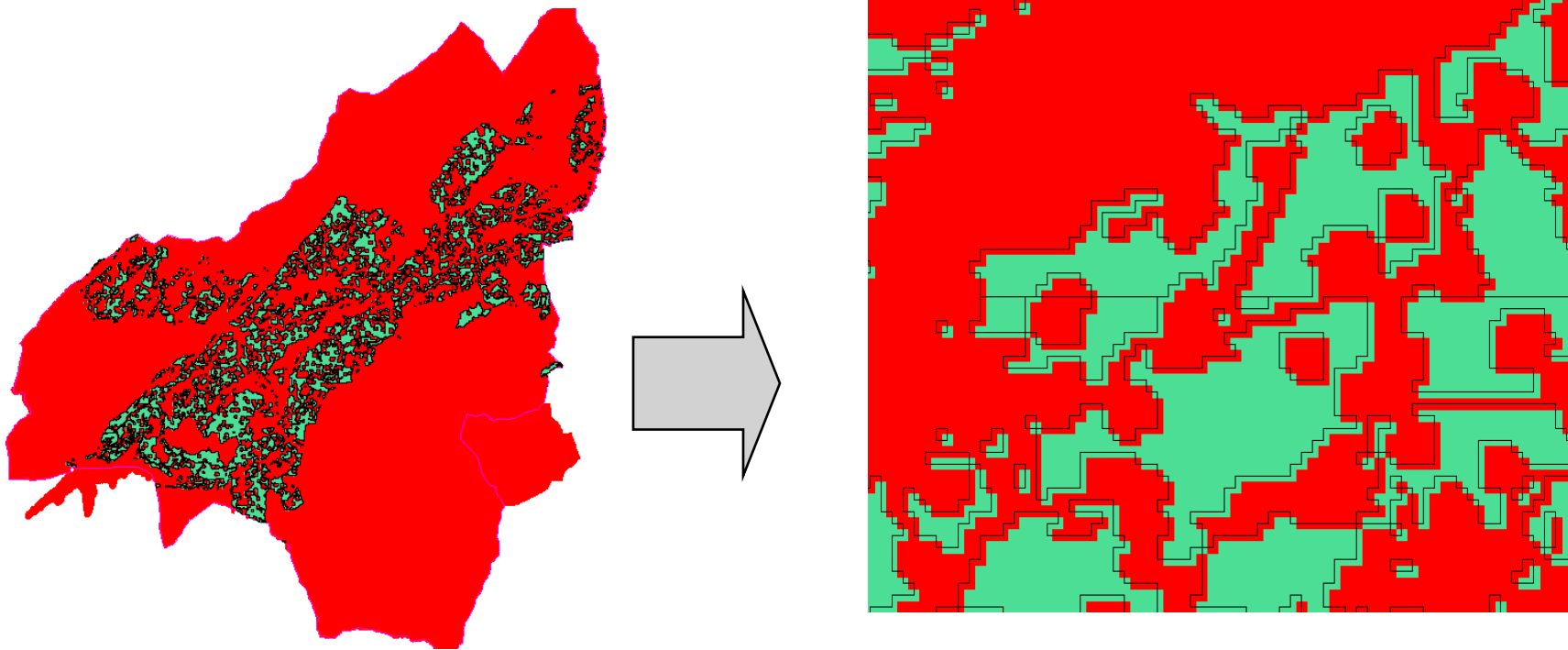
Altitude maximale : 1700 m

**Rouge : zones exclues**

## Zones aptes – zones exclues



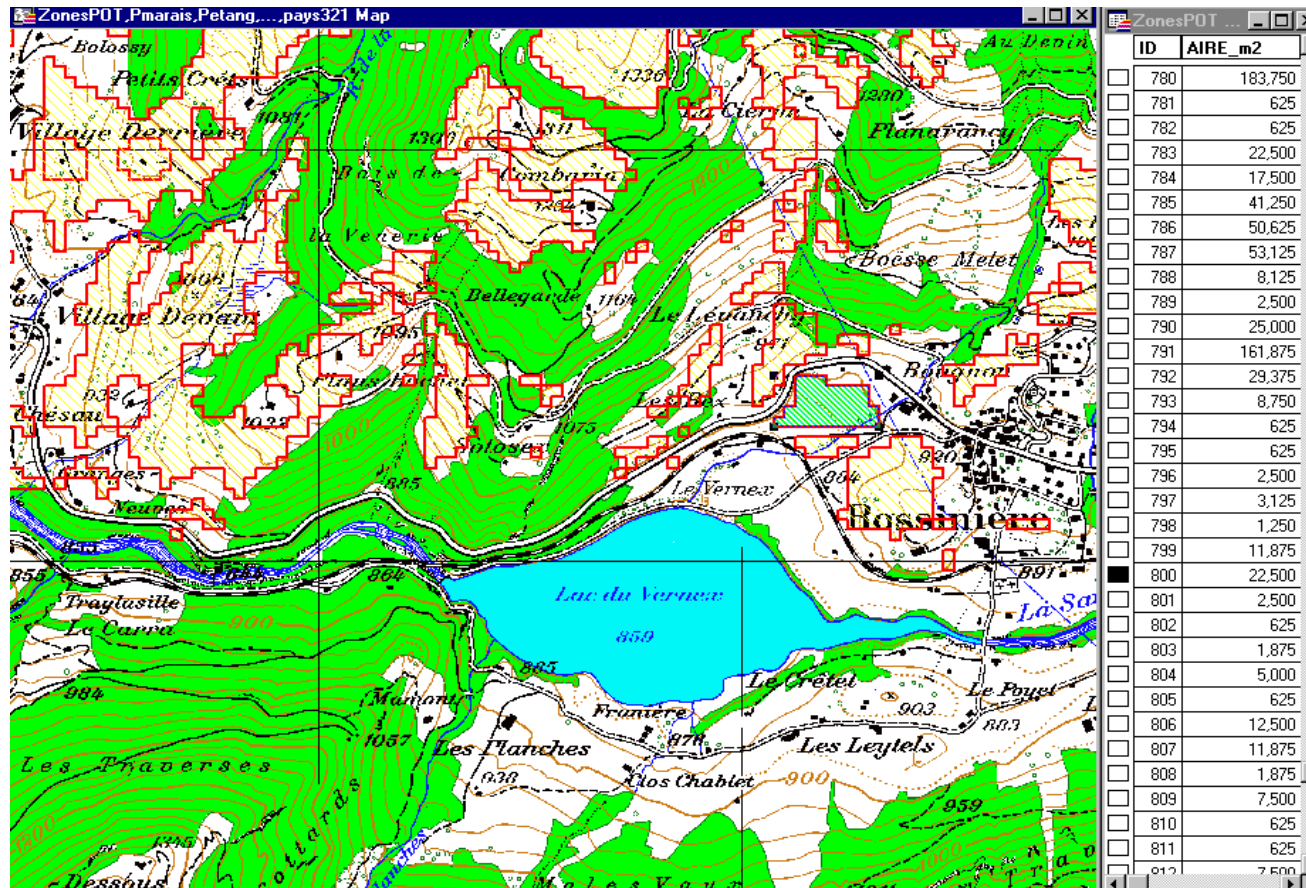
# Vectorisation pour la cartographie



La transformation en mode objet permet l'adjonction future dans la base de données associée d'attributs plus détaillés sur chaque unité spatiale jugée apte en première analyse



# Sites potentiels inscrits sur la carte



Les sites potentiels sont évalués dans le contexte de la carte au 1:25'000