

# Introduction à la géomatique

Université Paris-Est Créteil

Serge Lhomme

Maître de conférences en géographie

<http://sergelhomme.fr/>

[serge.lhomme@u-pec.fr](mailto:serge.lhomme@u-pec.fr)

- 1 Introduction
- 2 Les fondements de la localisation
- 3 Collecter l'information géographique
- 4 La télédétection
- 5 Géographie quantitative

- 1 Introduction
- 2 Les fondements de la localisation
- 3 Collecter l'information géographique
- 4 La télédétection
- 5 Géographie quantitative

# Qu'est-ce que la géomatique ?

## Une définition

### Définition

La géomatique regroupe l'ensemble des outils et des méthodes permettant d'acquérir, de représenter et d'analyser des données géographiques.

Par conséquent, la géomatique regroupe au moins trois activités distinctes : la collecte des données géographiques, le traitement de ces données et la diffusion de celles-ci.

Les outils informatiques apparaissent indispensables à ces trois activités.

La géomatique est la discipline où la géographie et l'informatique sont indissociables.

# Qu'est-ce que la géomatique ?

## Historique cursif

Le mot « géomatique » est un néologisme issu de la contraction des termes « géographie » et « informatique ».

Ce néologisme a été proposé, dans les années 1960 par Bernard Dubuisson.

En effet, Bernard Dubuisson considérait que sa profession se renouvelait grâce à l'informatique. Il eut alors l'idée de mettre en avant le rôle croissant de l'informatique en géographie par la création de ce néologisme.

C'est tout d'abord au Québec que le terme de « géomatique » va se développer.

Désormais, ce néologisme est utilisé dans le monde entier.

# Qu'est-ce que la géomatique ?

## Vulgarisation

Dans les faits, la géomatique est souvent associée à une science qui permet d'appréhender des phénomènes naturels ou anthropiques (liés à l'activité humaine) en manipulant des informations numériques dans des **Systemes d'Information Géographique (SIG)**.

Néanmoins, il ne faut pas limiter la géomatique aux SIG.

La géomatique, c'est un autre SIG : la science de l'information géographique.

Aujourd'hui, la géomatique se répand sur le web par le biais notamment du « WebMapping ».

# Généralités sur l'information géographique

## Définition

### Définition

L'information géographique est la représentation d'un objet ou d'un phénomène localisé dans l'espace à un moment donné.

Il s'agit d'un type d'information très répandu, décrivant des objets, phénomènes, êtres vivants ou sociétés, dès lors qu'ils sont reliés à un territoire.

# Généralités sur l'information géographique

## Les deux composantes de l'information géographique

Les deux principales composantes de l'information géographique sont :

- **Le niveau géométrique** qui correspond à la forme et à la localisation de l'objet sur la surface terrestre. Un système de coordonnées peut être valable sur tout ou partie de la surface terrestre. On peut aussi définir un système de « coordonnées relatives » par rapport à un point d'origine quelconque, comme c'est souvent le cas pour les relevés topographiques.
- **Le niveau sémantique** qui correspond à l'information relative à un objet. L'ensemble des caractéristiques de l'objet forme ses attributs (comme par exemple : le numéro d'une parcelle cadastrale, le nom d'une route, le nom d'une rivière, le nombre d'habitants d'une commune...).

# Généralités sur l'information géographique

Les formes de représentation : distinctes mais complémentaires

Pour représenter l'information géographique, il existe trois formes :

- L'information géographique se prête particulièrement bien à la représentation sur une **carte** où l'on situe les objets et les phénomènes dans un repère général et homogène.
- L'information géographique peut être représentée sur une **image** où l'on peut voir une multitude d'objets (comme par exemple une photo aérienne ou une image satellite) sans connaître directement leurs attributs (on ne voit pas le nom de la route, le nombre d'habitants des communes...).
- L'information géographique peut être représentée par un **texte** ou un fichier de données littérales où elle est représentée par des données numériques et par une adresse (comme par exemple les fichiers des abonnés à l'ADSL qui contiennent nom, prénom, numéro de téléphone, adresse postale. . .).

# Généralités sur l'information géographique

Les formes de représentation : distinctes mais complémentaires



**Image**  
Géométrie  
sans sémantique



**Carte**  
Géométrie  
et sémantique

Nom de lieu	hab.
la Croix Bertho	32
la Guette	115
<b>Pommeret</b>	<b>949</b>
les Prés	47
Goulven	78
Bellevue	8
Carnopern	15
Sainte-Anne	56

**Texte**  
Sémantique  
sans géométrie

# Généralités sur l'information géographique

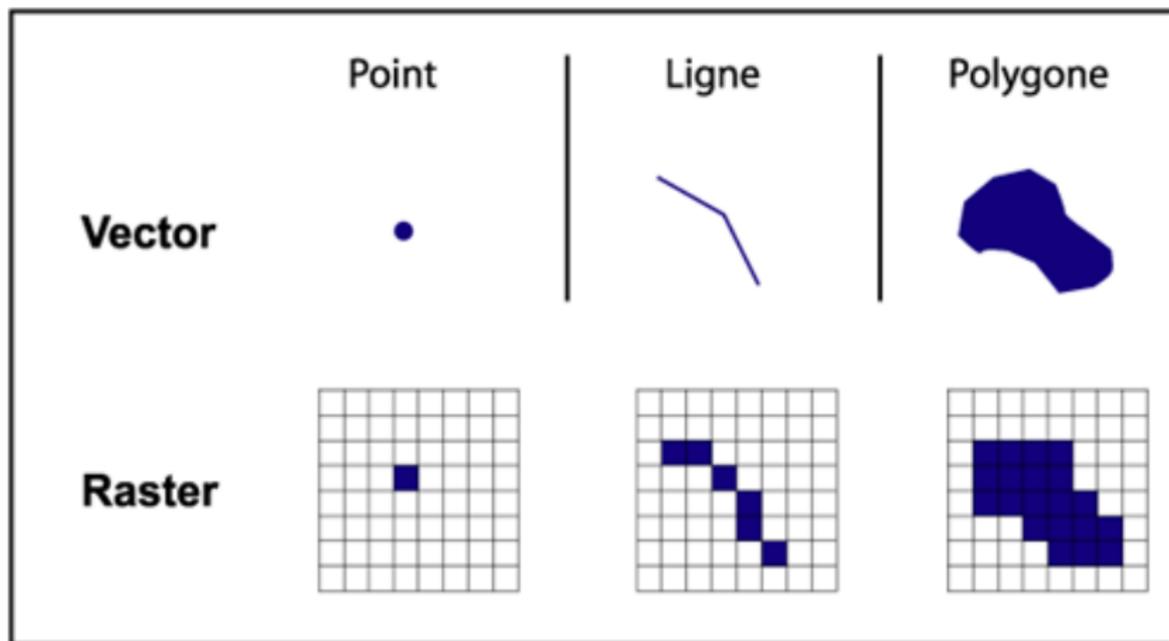
## L'Information Géographique d'un point de vue numérique

D'un point de vue numérique, il existe deux modes de représentation :

- **Le mode maillé** (ou raster en anglais), où la surface de la carte ou de l'image est décrite selon un balayage ligne par ligne. Chaque ligne est composée de pixels. C'est mathématiquement, ni plus ni moins, qu'une matrice (dans le langage usuel un tableau de chiffres).
- Le deuxième mode de représentation est **le mode vecteur**, où chaque objet représenté sur la carte est décrit par un ou des points successifs composant sa forme. Chaque point est localisé par ses coordonnées rectangulaires. La forme des objets est exprimée par le biais de trois principales « primitives » géométriques : objets ponctuels, linéaires et surfaciques.

# Généralités sur l'information géographique

## L'Information Géographique d'un point de vue numérique



# Généralités sur l'information géographique

## L'Information Géographique d'un point de vue numérique

À un objet ponctuel est associé un seul jeu de coordonnées donnant la position du point dans l'espace :

**POINT(0 0)**

À un objet linéaire est associé une suite ordonnée de points (donc de coordonnées). Chaque point de cette suite est relié au point suivant par un segment de ligne, en général un segment de droite. La forme d'un objet linéaire est ainsi traduite par une ligne brisée :

**LINSTRING(0 0, 1 1, 2 1, 2 2)**

Un objet surfacique est délimité par un objet linéaire qui se ferme sur lui-même :

**POLYGON((0 0, 1 0, 1 1, 0 1, 0 0))**

- 1 Introduction
- 2 Les fondements de la localisation**
- 3 Collecter l'information géographique
- 4 La télédétection
- 5 Géographie quantitative

# La forme de la terre

## La géodésie

Que recouvre exactement le terme « forme de la Terre » ?

Est-ce la surface réelle du globe formée par les reliefs et les dépressions ? Une surface théorique correspondant à la surface moyenne océanographique ? Une surface représentant l'altitude zéro de la terre ??

Donner la meilleure définition possible, puis déterminer le plus précisément possible cette forme, c'est précisément le domaine d'une science : [la géodésie](#).

# La géodésie

Qu'en est-il aujourd'hui ?

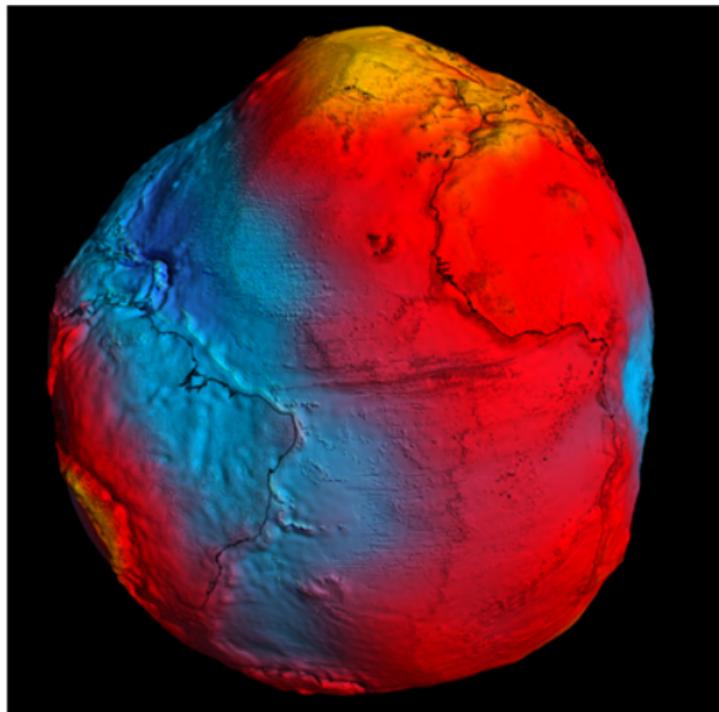
Il apparaît alors que le **géoïde** est une représentation de la surface terrestre plus précise que l'approximation sphérique ou ellipsoïdale. Ce géoïde correspond à une équipotentielle du champ de gravité terrestre, choisie de manière à coller au plus près à la « surface réelle ».

Aujourd'hui, les altitudes sont données par rapport à ce géoïde. Pour le géodésien, la forme de la terre est donc celle du géoïde, qui correspond à son altitude zéro et qui n'a pas une forme mathématique parfaite : la forme de la terre est une « patate ».

C'est l'approximation de cette patate qui se fait par un ellipsoïde, voire une sphère.

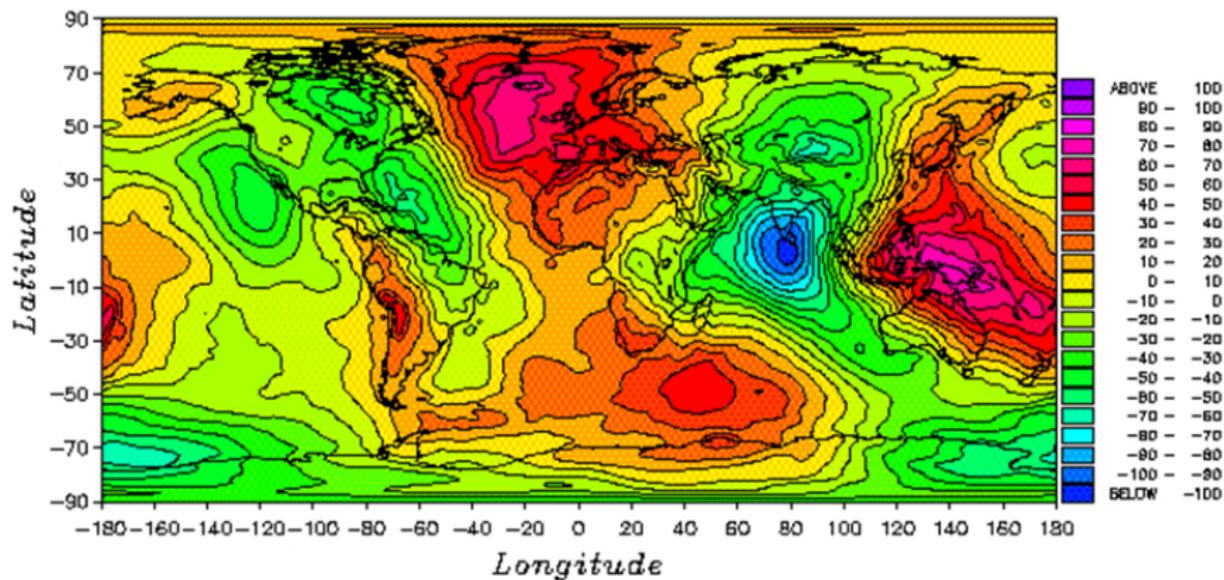
# La géodésie

Qu'en est-il aujourd'hui ?



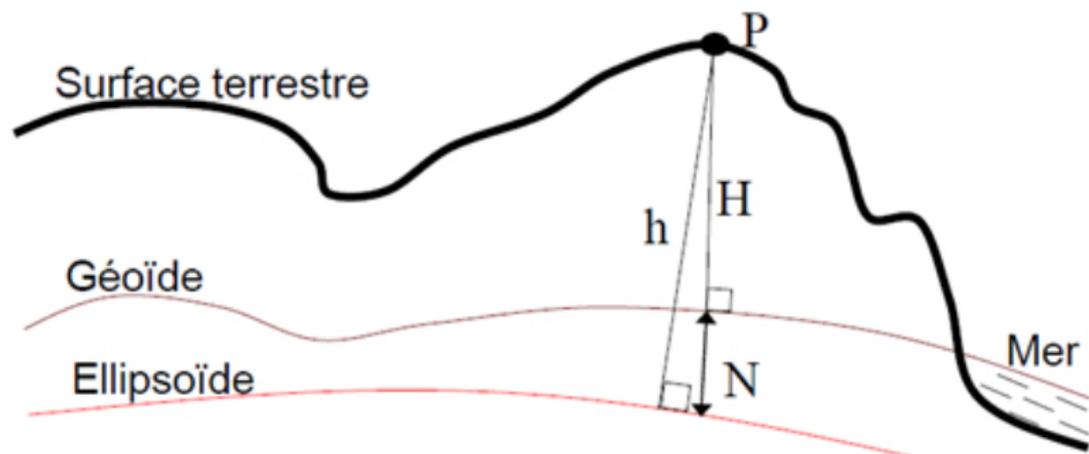
# La géodésie

Qu'en est-il aujourd'hui ?



# La géodésie

Qu'en est-il aujourd'hui ?



# La géodésie

## Qu'en est-il aujourd'hui ?

Le géoïde est aujourd'hui déterminé au-dessus des mers par altimétrie radar avec des précisions de l'ordre du centimètre, et au-dessus des continents par l'analyse des perturbations des orbites des satellites avec des précisions de l'ordre du mètre.

Le géoïde apparaît comme une surface irrégulière qui présente des ondulations par rapport à la surface ellipsoïdale de référence, avec des creux (des dépressions) et des bosses. Par exemple, le creux le plus important, situé au sud de l'Inde, est de 94 m. Les ondulations traduisent la répartition hétérogène des masses à différentes profondeurs dans la Terre.

Comme cette forme est assez particulière, si l'on calcule les distances par rapport au centre de la terre (au centre du géoïde), on arrive à des résultats surprenants : l'Himalaya n'est alors pas le plus haut sommet du monde, c'est en fait le Chimborazo au Chili.

# La géodésie

Qu'en est-il aujourd'hui ?

Un des principaux objectifs du géodésien est de déterminer l'ellipsoïde qui approxime au mieux la forme du géoïde. Ainsi, s'il n'y a qu'un géoïde reconnu à un moment donné, il y a toujours plusieurs ellipsoïdes de référence (c'est-à-dire plusieurs approximations du géoïde).

Système géodésique	Ellipsoïde	a	B	1/f	e	Origine unité
NTF	Clarke	6 378	6 356	293,	0,082	Paris
	1880 IGN	249,2	515,0	466 021	483 256	Grade
ED 50	Hayford	6 378	6 356	297,000	0,081	Postdam
	1909	388,0	911,946	000	991 889	Degré
RGF 93	IAG GRS	6 378	6 356	298,257	0,081	Greenwich
	1980	137,0	752,314	222 101	819 191	Degré
WGS84	W84GS	6 378	6 356	298,257	0,081	Greenwich
		137,0	752,314	223 563	819 191	

# Les systèmes de coordonnées

## Définition

Un système de coordonnées est un référentiel dans lequel on peut représenter des éléments dans l'espace. Ce système permet de se situer sur l'ensemble du globe terrestre grâce à un couple de coordonnées géographiques.

Pour des raisons historiques, techniques et d'usage, il existe un grand nombre de systèmes de coordonnées. L'**EPSG** – European Petroleum Survey Group – a défini une liste des systèmes de coordonnées géoréférencées. Des codes ont été associés à ces systèmes pour les identifier.

# Les systèmes de coordonnées

## Les coordonnées cartésiennes : Le référentiel

Pour tout système de coordonnées, il faut définir un système de référence (un référentiel ; un repère).

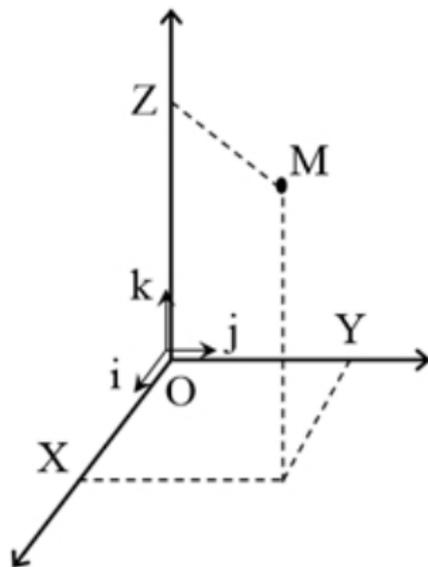
En l'occurrence, un référentiel géodésique est un repère affine  $(O ; i ; j ; k)$  tel que :

- $O$  est proche du centre des masses de la Terre (centre du géoïde) ;  $(i ; j ; k)$  est orthogonale et les 3 vecteurs ont la même norme proche de 1 ;
- $(O ; k)$  est proche et parallèle à l'axe de rotation de la Terre ;
- $(O ; i ; k)$  est confondu avec le plan méridien de Greenwich ;
- $J$  est tel que  $(i ; j ; k)$  soit directe. A partir de ce référentiel, tout point de l'espace peut être localisé à l'aide de trois coordonnées  $(X, Y, Z)$ .

Ce système est nommé « système de coordonnées cartésien », on parle aussi de « coordonnées cartésiennes ».

# Les systèmes de coordonnées

## Les coordonnées cartésiennes : Le référentiel



# Les systèmes de coordonnées

## Les coordonnées géographiques : ellipsoïde, longitude et latitude

Les coordonnées cartésiennes sont indépendantes de la forme de la terre, il est donc difficile de les utiliser pour s'y repérer de manière pratique.

C'est pourquoi, il est intéressant de se localiser en faisant référence à une surface de référence : en l'occurrence, un ellipsoïde qui est la figure géométrique qui approxime au mieux la forme de la terre.

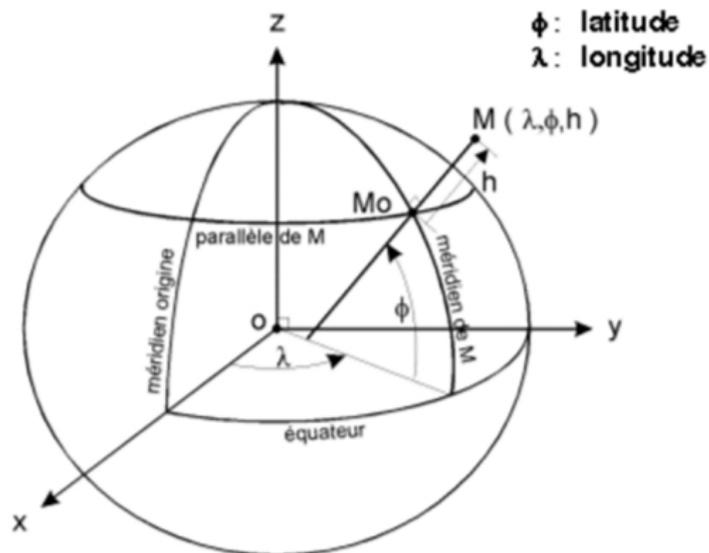
Pour définir cet ellipsoïde, il faut lui définir un centre, deux longueurs (le demi grand axe et le demi petit axe) et une orientation.

En définissant un méridien d'origine qui va fixer le plan ( $O ; i ; k$ ), tous les points de l'ellipsoïde peuvent être localisés à l'aide de deux coordonnées : la longitude et la latitude.

On parle de systèmes de coordonnées géographiques.

# Les systèmes de coordonnées

Les coordonnées géographiques : ellipsoïde, longitude et latitude



# Les systèmes de coordonnées

## Les coordonnées planes : les projections

Comme il n'est pas possible de visualiser directement le monde d'un seul tenant à l'aide des deux systèmes de coordonnées présentés, il s'est avéré nécessaire d'avoir recours à des projections pour réaliser des cartes.

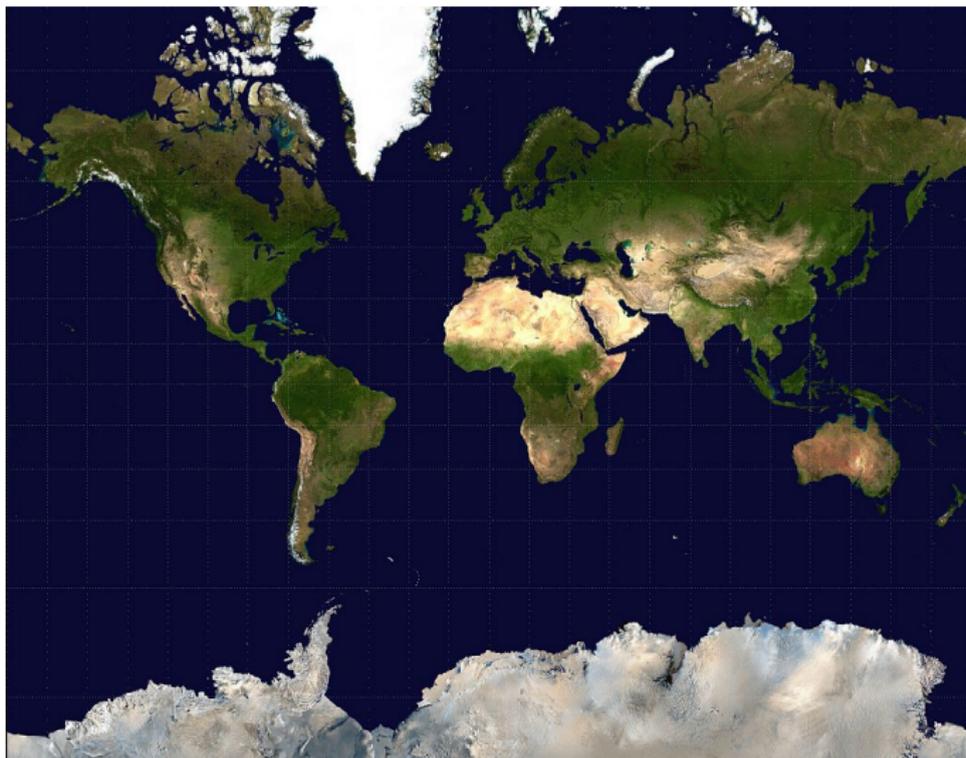
On parle alors de coordonnées planes (ou de système de coordonnées plan) composées de deux coordonnées : E et N (ou X et Y). Ces deux distances à l'origine peuvent être exprimées dans différentes unités de longueur (mètres, kilomètres, miles. . .).

La conversion de positions géographiques issues d'une surface courbe sur une surface plane nécessite l'utilisation d'une formule mathématique appelée projection cartographique.

La variété des méthodes mathématiques permet d'obtenir des projections qui déforment plus ou moins les surfaces, les angles ou les distances.

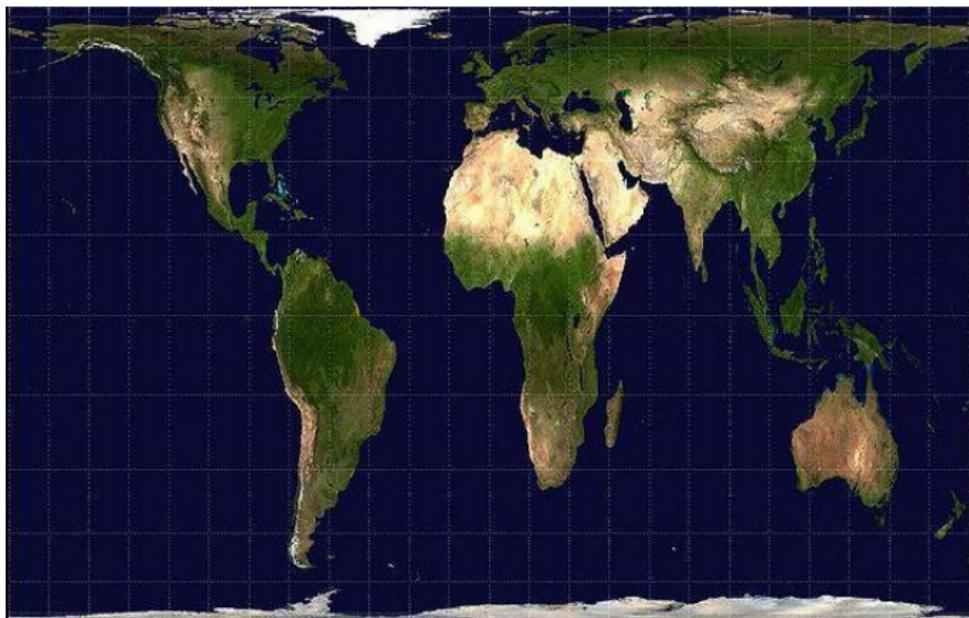
# Les représentations du monde

La projection Mercator (1569) : cylindrique tangente à l'équateur et conforme



# Les représentations du monde

La projection de Peters (1967) : équivalente



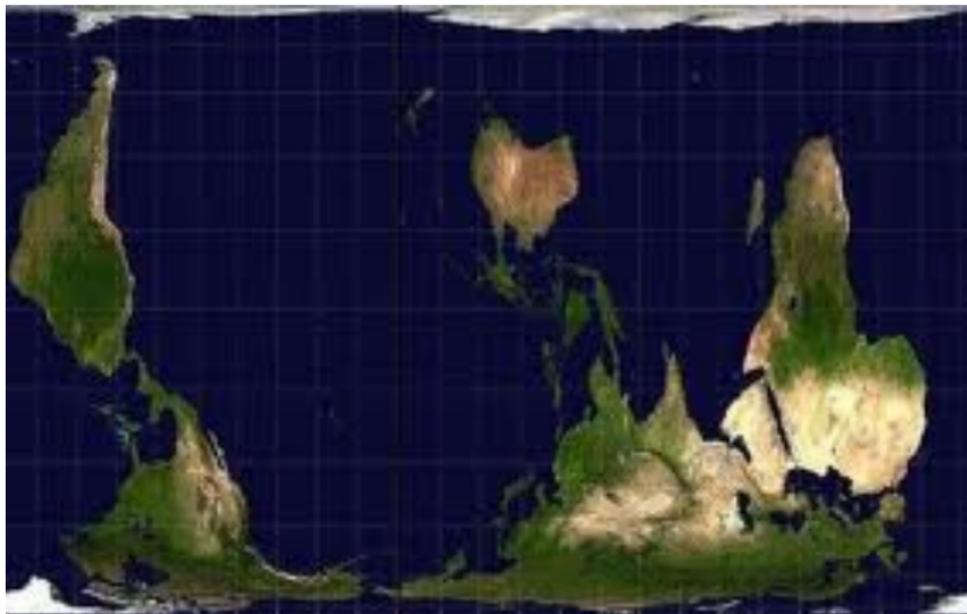
# Les représentations du monde

La projection de Bonne (1780) : équivalente



# Les représentations du monde

## Peters Australie



# Les représentations du monde

## Les projections

1. Projection Mercator



2. Projection Behrmann



3. Projection Gall-Bertin



4. Projection Bertin 1953



5. Projection Bertin 1950

6. Projection « Atlantis »  
de John Bartholomew

7. Projection Buckminster Fuller

Différents centrages :  
Projection Gall-Bertin  
centrée sur le PacifiqueProjection Gall-Bertin  
centrée sur l'AmériqueProjection Buckminster Fuller  
centrée sur l'Amérique

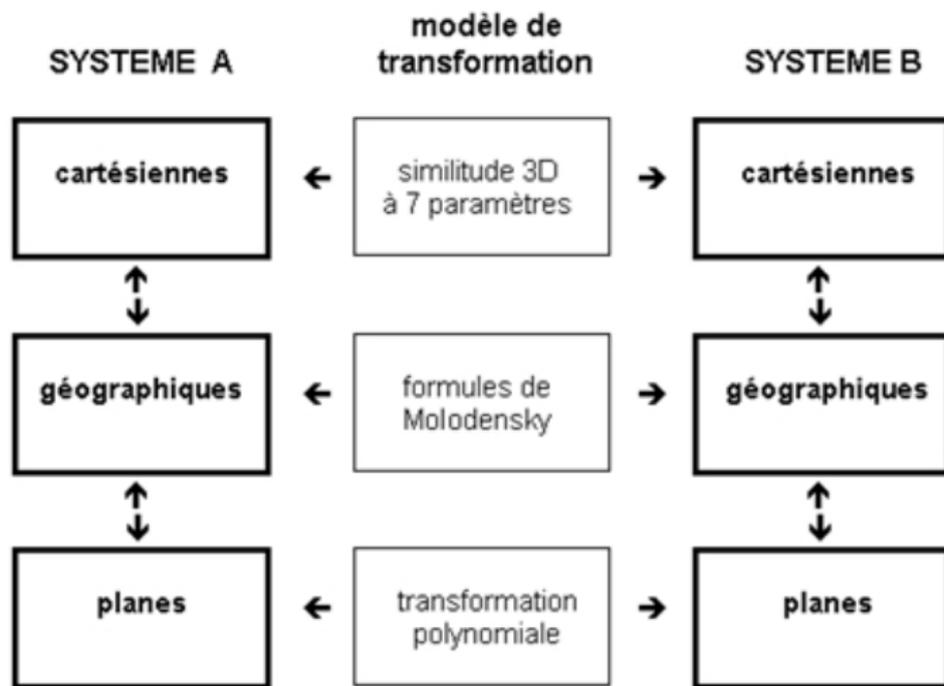
# Les systèmes de coordonnées

## Résumé

<b>Systèmes de coordonnées</b>	<b>Systèmes de référence</b>
Cartésiennes (X, Y, Z)	Référentiel
Géographiques ( $\lambda, \phi, h$ )	référentiel + ellipsoïde
Planes (E, N)	référentiel + ellipsoïde + projection

# Transformation entre systèmes de coordonnées

Changer de système géodésique



Maintenant à la pratique...  
[http ://sergelhomme.fr/](http://sergelhomme.fr/)  
[serge.lhomme@u-pec.fr](mailto:serge.lhomme@u-pec.fr)

# TP1

## Les fondements de la localisation (1/4 à faire chez vous)

- 1 Allez sur OpenStreetMap et choisissez un niveau de zoom vous permettant de voir l'ensemble de la Terre. Comparez visuellement la taille du Groënland et de l'Afrique. Cherchez sur internet les superficies de ces territoires. Cette représentation est-elle juste ?
- 2 Allez sur le site « <https://thetruesize.com> ». Comparez la France au Groënland, puis la Russie et l'Afrique.
- 3 Tapez sur Google « Pourquoi les cartes géographiques sont forcément (un peu) mensongères » et visualisez différentes représentations du monde. Comment pouvez-vous reproduire ces projections ?
- 4 Sur Google Maps, zoomez sur la station de métro de l'université de Créteil. Quelles sont ses coordonnées ? Quel est le système de coordonnées utilisé ?

# TP1

## Les fondements de la localisation (2/4)

- 1 Ouvrez QGIS, puis étudiez les options liées aux systèmes de coordonnées (Préférences -> Options -> SCR).
- 2 Importez le Shapefile « TM World Borders ». Quel est le système de coordonnées associé ?
- 3 Testez différents types de projection (Projet -> Propriétés -> SCR) : World Mercator (54004), Plate Carrée (32662), Eckert 1 (53015), Bonne (54024).
- 4 Sauvegardez les changements de projection réalisés.
- 5 En partant d'un nouveau projet à chaque fois, chargez le shapefile d'une projection testée, puis calculez les superficies des pays en fonction de celle-ci. Comparez les résultats.

# TP1

## Les fondements de la localisation (3/4)

- 1 Chargez dans QGIS le Shapefile des stations de métro, puis créez trois champs E, N et GEOM qui vont afficher les coordonnées des stations de métro de la ligne 8.
- 2 Rajoutez les lignes simplifiées des stations de métro. Créez un champ qui affiche les longueurs des lignes.
- 3 Avec l'outil « Tampon », effectuez des buffers de 100 mètres autour des stations de métro (Vecteur -> Outils de Géotraitement).
- 4 Utilisez l'outil « matrice de distances » (Vecteur -> Outils d'analyse), pour calculer les distances entre toutes les stations de métro.
- 5 Changez de projection (RGF93 (2154)), puis enregistrez le changement réalisé sous le format Shapefile. Après avoir ouvert QGIS avec les bons fichiers, recalculer les champs E et N, puis le champ longueur dans ce nouveau système de coordonnées.

# TP1

## Les fondements de la localisation (4/4 à faire chez vous)

- 1 Sur Google Maps, zoomez sur le point : longitude 20.519967 ; latitude 54.698881. Faites de même pour le point : longitude -105.020268 ; latitude 39.744038
- 2 Allez sur le Géoportail et déterminez les coordonnées en Lambert de l'université. Quels sont les autres logiciels que l'on aurait pu utiliser pour déterminer ces coordonnées ?
- 3 Allez sur <https://macarte.ign.fr/edition/adresses/> puis chargez le fichier geocadage.csv pour obtenir les longitudes et latitudes des points du fichier. Affichez ces points sur QGIS.
- 4 Tapez sur Google « Photon OpenStreetMap ». Regardez les URL placées sous la carte.
- 5 Créez une URL vous permettant d'obtenir les coordonnées de la rue Dominique Duvauchelle à Créteil.

# TP1

## Bonus

A partir du shapefile de la projection du monde en Mercator, déterminez si le Groenland est plus grand que l'Afrique dans cette projection.

- 1 Effectuez un regroupement des pays en continents. Pour cela, on dispose d'un champ région.
- 2 Vérifiez la validité de la géométrie de votre couche monde.
- 3 Effectuez un buffer d'1 mètre autour de vos pays pour corriger cette erreur, puis effectuez le regroupement demandé.
- 4 Calculez la superficie de l'Afrique dans la projection Mercator et comparez la à la superficie du Groenland dans cette même projection.

- 1 Introduction
- 2 Les fondements de la localisation
- 3 Collecter l'information géographique**
- 4 La télédétection
- 5 Géographie quantitative

# Comment collecter l'information géographique ?

## Deux grandes familles de méthodes

Pour disposer et manipuler de l'information géographique, faut-il encore l'avoir collectée. Pour cela, il existe différentes méthodes.

On peut les classer au sein de deux grandes familles : les méthodes directes et les méthodes indirectes.

Les méthodes qualifiées de directes sont fondées uniquement sur des mesures effectuées sur le terrain. Au moins une personne va donc se déplacer sur le terrain avec les outils de son choix (tachéomètre, niveau, GPS) pour effectuer le relevé d'une zone donnée.

Néanmoins, il n'est pas toujours nécessaire de réaliser des campagnes de terrain longues et coûteuses pour obtenir des informations géométriques et attributaires sur des objets. On peut avoir recours aux méthodes indirectes qui collectent de l'information sans qu'il n'y ait de personne sur le terrain (télédétection, photogrammétrie).

# La topométrie

Classiquement limitée aux méthodes directes

La topographie est la science qui permet la mesure puis la représentation sur un plan ou une carte des formes et des détails visibles sur le terrain.

La topométrie se concentre sur la partie concernant les mesures. Son objectif est de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée.

La topométrie directe est la méthode « classique » et « historique » de collecte de l'information géographique. C'est pourquoi, lorsque l'on traite de la topométrie, il est possible de faire abstraction des méthodes indirectes.

Un géomètre-topographe est formé pour mettre en pratique les méthodes directes.

# La topométrie

## Le nivellement

Le nivellement est une opération qui a pour objectif de déterminer, de manière plus ou moins précise, l'altitude de points situés à la surface terrestre.

La précision du nivellement dépend du matériel employé, mais aussi et surtout des méthodes (nivellement par rayonnement, nivellement d'itinéraire par cheminement. . .). Le point commun de ces méthodes de nivellement réside dans l'utilisation d'un niveau et d'une mire.

Le niveau et les mires sont placés à la verticale et la lunette du niveau effectue une « visée » horizontale. La lecture (ou l'enregistrement) des valeurs de la mire A et de la mire B permet de déterminer la dénivelée par différence des deux lectures.

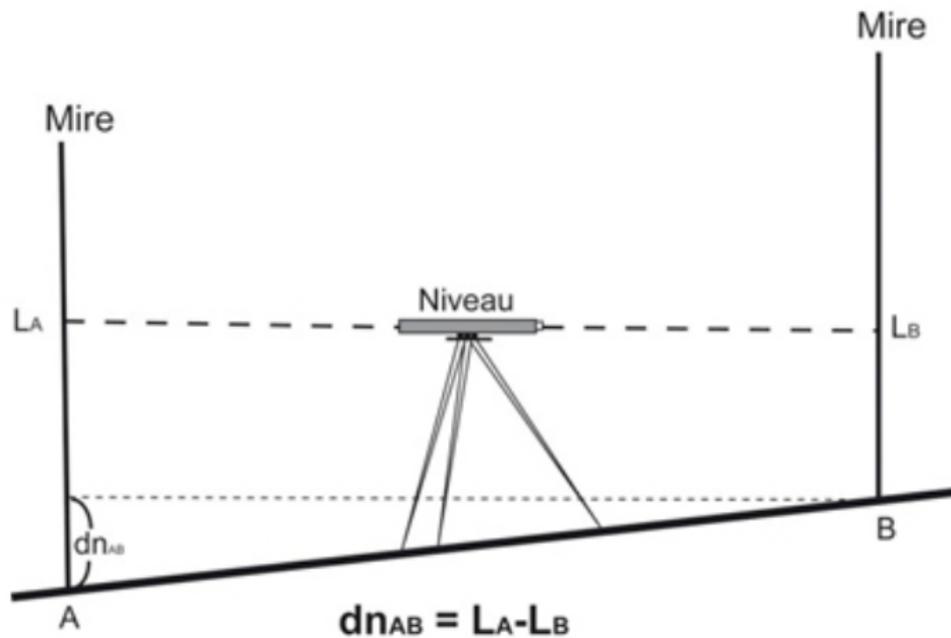
# La topométrie

## Le nivellement



# La topométrie

## Le nivellement



# La topométrie

## Le relèvement

Pour déterminer la localisation de points sur la surface de la terre, il convient traditionnellement d'effectuer un relevé topométrique.

Pour cela, le géomètre-topographe va utiliser un tachéomètre. Le tachéomètre combine un théodolite qui mesure les angles et un dispositif qui mesure des distances. Le dispositif qui mesure les distances est appelé distancemètre.

L'émetteur produit alors un train d'ondes électromagnétiques et le récepteur analyse l'écho renvoyé par un réflecteur.

De façon générale, avant de lever les « points de détails », il est nécessaire d'établir un « canevas ». Le principe est similaire à celui employé pour le nivellement par cheminement : on détermine les coordonnées des points d'appui du canevas de proche en proche, à partir d'un point du réseau de référence.

# La topométrie

## Le relèvement



# La topométrie

## Le relèvement

<b>Point visé</b>	<b>Lecture horizontale (grades)</b>	<b>Distance horizontale (m)</b>
80	0,0000	300,460
52	52,7859	
81	156,6256	216,62
53	232,5948	
51	350,3884	
54	125,5665	

# La topométrie

## Le GPS

Parallèlement à ces méthodes directes traditionnelles, le recours aux outils GPS s'est accentué. Désormais, il est tout à fait pertinent d'utiliser des outils GPS pour localiser de l'information géographique.

Le GPS (Global Positioning System) est à l'origine un système militaire américain, conçu dans les années 1970. Le premier satellite expérimental fut lancé en 1978, mais la constellation d'une vingtaine de satellites ne fut opérationnelle qu'en 1995. Jusqu'en 2000, l'utilisation civile du GPS fut dégradée.

Le GPS est simplement un système spatial de radio-positionnement et de transfert de temps.

Il fournit, à un nombre illimité d'utilisateurs à travers le monde, dans un système global et unique (WGS 84), quelles que soient les conditions météorologiques, une information de position, de vitesse et de temps.

# La topométrie

## Le GPS

L'exploitation civile du système GPS doit être considérée du point de vue de ses trois composantes essentielles : le segment spatial, le segment de contrôle et les utilisateurs.

Le segment spatial comprend tous les éléments orbitaux du dispositif de positionnement : les plates-formes, le signal GPS et le message de navigation. 21 satellites sont en orbite quasi-polaires à 20200 km d'altitude. La période de révolution des satellites est d'environ 12 heures. Par conséquent, on retrouve les mêmes satellites, dans les mêmes positions, deux fois par jour.

Le segment de contrôle envoie quant à lui des informations permettant d'assurer la précision du système GPS (calcul d'orbite précise, condition météorologique...).

# La topométrie

## Le GPS

Le système GPS n'est qu'un système de positionnement parmi d'autres.

En l'occurrence, il existe un système russe nommé GLONASS. En 1995, ce système comptait 24 satellites. Dans les années 2000, seuls six satellites sont en état de fonctionner. Depuis 2005, le système est en reconstruction. En 2010, 26 satellites étaient opérationnels.

Le système européen Galileo est en test depuis 2005. Le système devrait être achevé en 2020. Ce programme est caractérisé par de nombreuses tergiversations et par un système de financement très complexe.

La Chine dispose aussi d'un système nommé BeiDou achevé en 2007 et comprenant 5 satellites. Le projet Compass va le remplacer et disposera de 35 satellites. Actuellement, 15 satellites sont en état de fonctionner.

# La topométrie

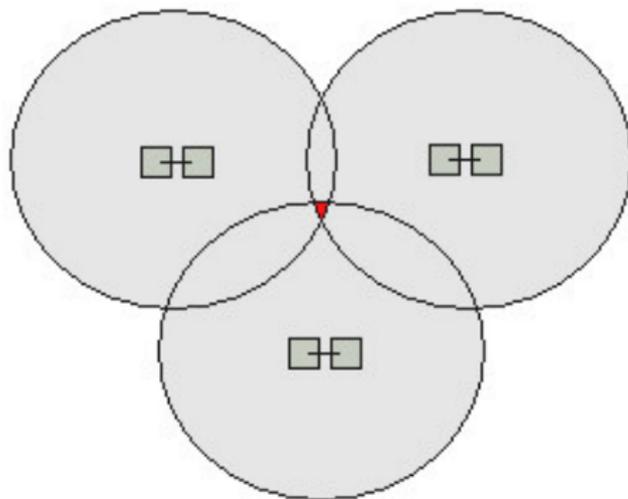
## Le GPS

Combien faut-il de satellites GPS pour calculer les coordonnées d'un point situé à la surface terrestre ?

# La topométrie

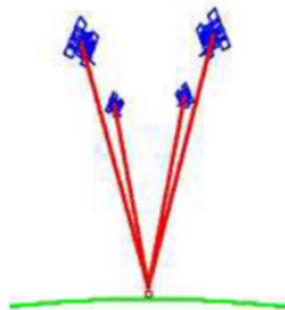
## Le GPS

Combien faut-il de satellites GPS pour calculer les coordonnées d'un point situé à la surface terrestre ?

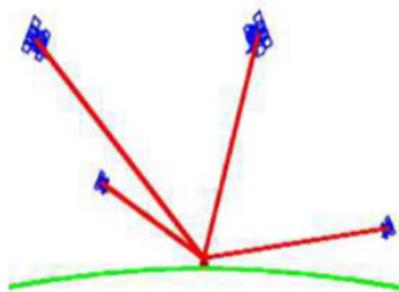


# La topométrie

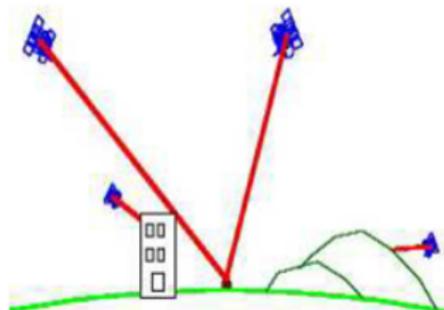
## Le GPS



Mauvais GDOP



Bon GDOP



Mauvais GDOP dus aux obstacles

# La topométrie

## Le GPS

Il existe deux grandes familles de méthodes de relevé par GPS : le positionnement autonome (ou absolu) et le positionnement différentiel.

La méthode du positionnement autonome consiste à obtenir la position du récepteur, en absolu, par intersection des sphères d'émission de chaque satellite. Cette méthode permet d'obtenir une erreur moyenne de positionnement de quelques mètres.

Le méthode différentielle utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues.

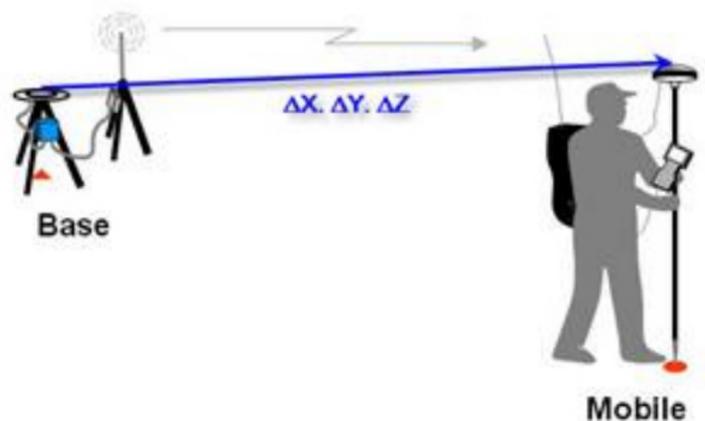
# La topométrie

## Le GPS



# La topométrie

## Le GPS



# La topométrie

## Le GPS

Méthode	Nombre mini de récepteurs	Durée d'observation	Précision
Autonome	1	15 à 20 minutes	6 à 8 m
Statique	2	1h	1 cm
Cinématique	2	-	10cm à 1m
Statique rapide	2	3 à 5 minutes	<u>0,9</u> cm

- 1 Introduction
- 2 Les fondements de la localisation
- 3 Collecter l'information géographique
- 4 La télédétection**
- 5 Géographie quantitative

# La télédétection

## Présentation

La télédétection désigne, dans son acception la plus large, la mesure ou l'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié.

C'est l'utilisation à distance de n'importe quel type d'instrument permettant l'acquisition d'informations sur l'environnement.

On fait souvent appel à des instruments tels que les appareils photographiques, lasers, radars, sonars, sismographes ou gravimètres pour capter l'information embarqués à bord d'un avion, d'un engin spatial, d'un satellite ou encore d'un bateau.

# La télédétection

## Principe de fonctionnement

Le principe fondamental de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. Ainsi, la télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur.

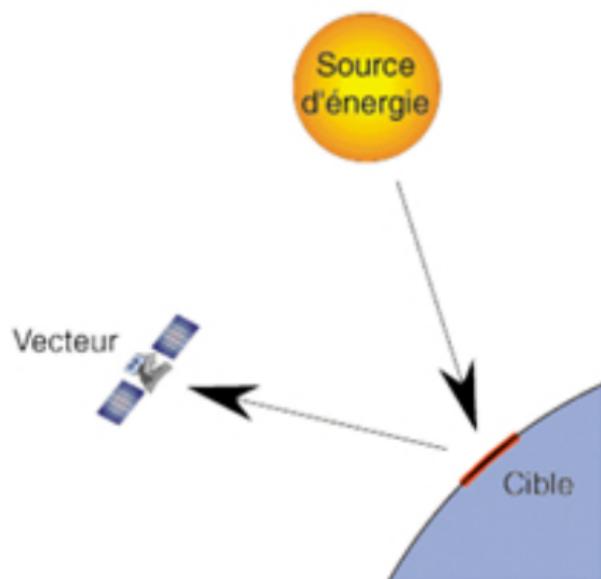
La cible est la portion de la surface terrestre observée par le vecteur (l'objectif photo, le radar).

La source d'énergie est l'élément qui éclaire la cible en émettant une onde électromagnétique (le soleil émet des flux de photons).

Le vecteur récupère les informations (bien souvent il récupère l'énergie solaire) réfléchies par la cible. Plus précisément, le vecteur peut être décomposé entre d'une part les capteurs (appareil photo, caméra thermique...) et d'autre part les porteurs (satellite, avion, drone...).

# La télédétection

## Principe de fonctionnement



# La télédétection

## Différentes techniques

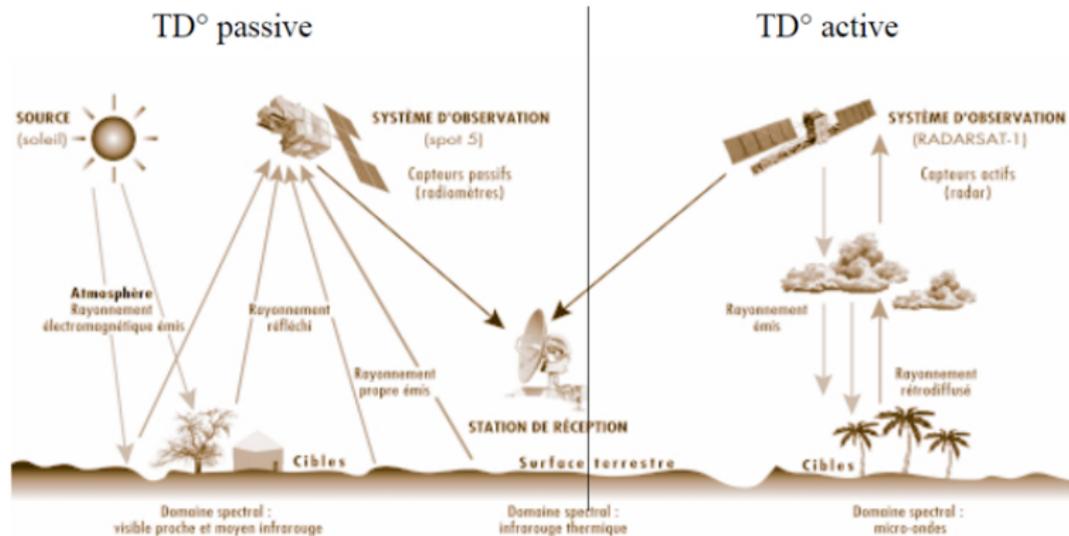
A partir de ce principe fondamental, il existe différentes techniques de télédétection qui varient en fonction des capteurs et des porteurs.

De surcroît, il existe aussi, derrière ce principe général, différents principes de fonctionnement. Ainsi, la source d'énergie peut être produite par une autre source que le soleil : elle peut être produite par le vecteur (télédétection dite active) ou la cible.

Par exemple, en ce qui concerne la technologie radar, le vecteur est lui-même source d'énergie. En plus d'un capteur et d'un porteur, le vecteur est alors équipé d'un émetteur.

# La télédétection

## Différentes techniques



# La télédétection

## Une histoire de rayonnements

Les capteurs mesurent des rayonnements et organisent ces mesures sous forme d'images. Ces images sont utilisées pour obtenir des informations sur les objets qu'elles représentent (c'est-à-dire sur les éléments du paysage).

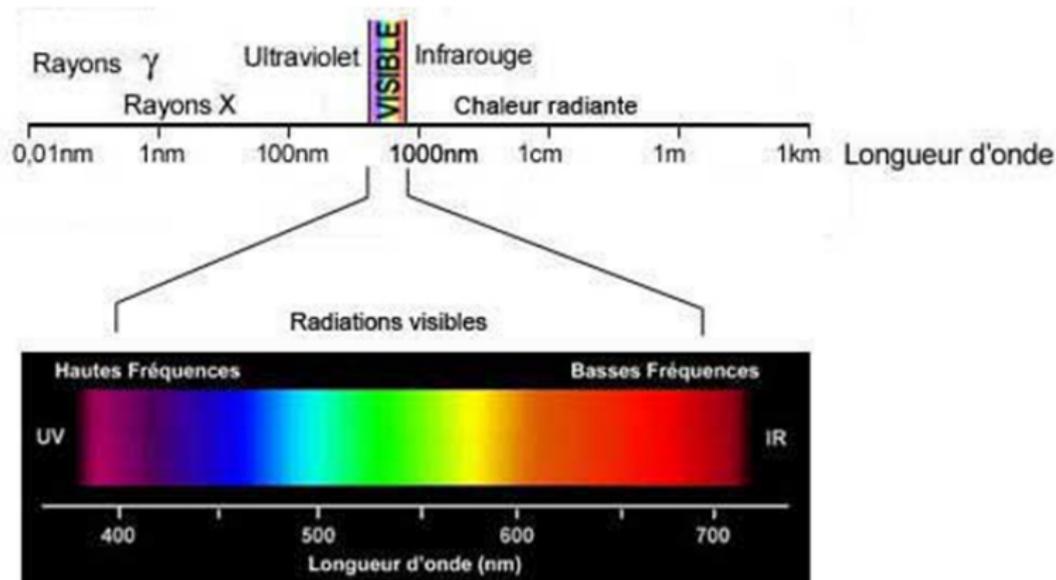
Or, le seul lien qui relie l'image à l'objet est le rayonnement émis ou réfléchi par cet objet et reçu par le radiomètre.

C'est pourquoi, pour bien comprendre la télédétection, il faut avoir quelques connaissances en électromagnétisme (quand on parle « vulgairement » de rayonnement, on parle « physiquement » d'onde électromagnétique). Ainsi, tout corps émet (produit, réfléchi, diffuse) des ondes électromagnétiques.

Nos yeux, qui sont nos propres capteurs d'ondes électromagnétiques, en captent certaines, le cerveau les interprète afin de produire une image du monde « visible ». Ces ondes sont notamment caractérisées par une certaine longueur d'onde.

# La télédétection

## Une histoire de rayonnements



# La télédétection

## Une histoire de rayonnements

Les objets situés à la surface terrestre émettent, diffusent, absorbent et réfléchissent les ondes électromagnétiques.

Chaque type d'objets possède alors une signature spectrale plus ou moins caractéristique : cette signature est représentée par une courbe d'intensité du rayonnement réfléchi en fonction de la longueur d'onde.

On utilise alors les différences de signatures spectrales pour différencier les objets situés au sol.

## TP2 (1/4)

### La télédétection

- 1 Ouvrez le logiciel TITUS2 (<http://sergelhomme.fr/TITUS.zip>), puis ouvrez le fichier « guerandet2.TT2 » (Fichier -> Choisir une image). Que se passe-t-il ?
- 2 Affichez les différents canaux (Fichier -> Afficher un canal). Donnez leur nom et leurs caractéristiques ?
- 3 Affichez les valeurs numériques des images (Analyse -> Valeurs numériques -> Extraction numérique). Quelle valeur est attribuée à la couleur noire ? Quelle est la valeur attribuée à la couleur blanche ?
- 4 Confirmez ces résultats en affichant les valeurs numériques d'un pixel précis (Analyse -> Valeurs numériques -> Pointage X/Y).

## TP2 (2/4)

### La télédétection

- 1 Quelles sont les valeurs numériques sur le canal XS3 de l'océan, de la terre, des bois, des vasières et des marais salants ?
- 2 Faites de même pour le canal XS1 et XS2.
- 3 Consultez de manière synthétique les valeurs numériques des différents canaux (Analyse -> Visualiser l'histogramme). Quelles sont les caractéristiques de ces différentes images ?
- 4 Rendez l'image du canal XS3 plus lisible (Image -> Modifier l'affichage -> Affichage par equipopulation). Les valeurs numériques ont-elles été modifiées ?

## TP2 (3/4)

### La télédétection

- 1 A partir des différentes informations obtenues, effectuez une classification sur le canal XS3 (Classification -> Classification manuelle sur un canal). Pour cela, déplacez le curseur afin d'établir des classes (Marquer le seuil). Profitez vous pleinement de vos connaissances précises sur l'image avec cette méthode de classification ?
- 2 Effectuez une autre classification à partir des valeurs numériques (Classification -> Créer une classification -> Hypercube -> Par mode numérique). Quel est le défaut principal de cette classification ?
- 3 Afin de bénéficier facilement des informations issues des trois canaux, créez des sites témoins (Sites témoins -> Créer des sites témoins), puis effectuez une classification par maximum de vraisemblance.

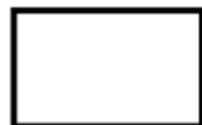
## TP2 (4/4)

### La télédétection

- 1 De même qu'il est possible d'effectuer des classifications à partir des trois canaux, il est possible de créer des compositions colorées à partir de ces trois canaux (Fichier -> Composition colorée standard). Quelle est la principale caractéristique de l'image produite ?
- 2 Créez une classification colorée personnalisée (Fichier -> Autre composition colorée). Quelle est la répartition par défaut des couleurs ?
- 3 Toujours à partir d'une composition issue de plusieurs canaux, effectuez un calcul d'indice de NDVI (Indices et Filtres -> Indice de NDVI), puis consultez les valeurs numériques. Comment varie le NDVI ? Quel nouvel élément apparaît assez clairement à l'aide d'un affichage par equipopulation ?

# La télédétection

## Une histoire de rayonnements



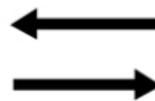
Absorbe aucun rayonnement visible

Refléchet tous les rayonnements visibles



Absorbe tous les rayonnements visibles  
sauf le rouge

Refléchet les rayonnements rouges

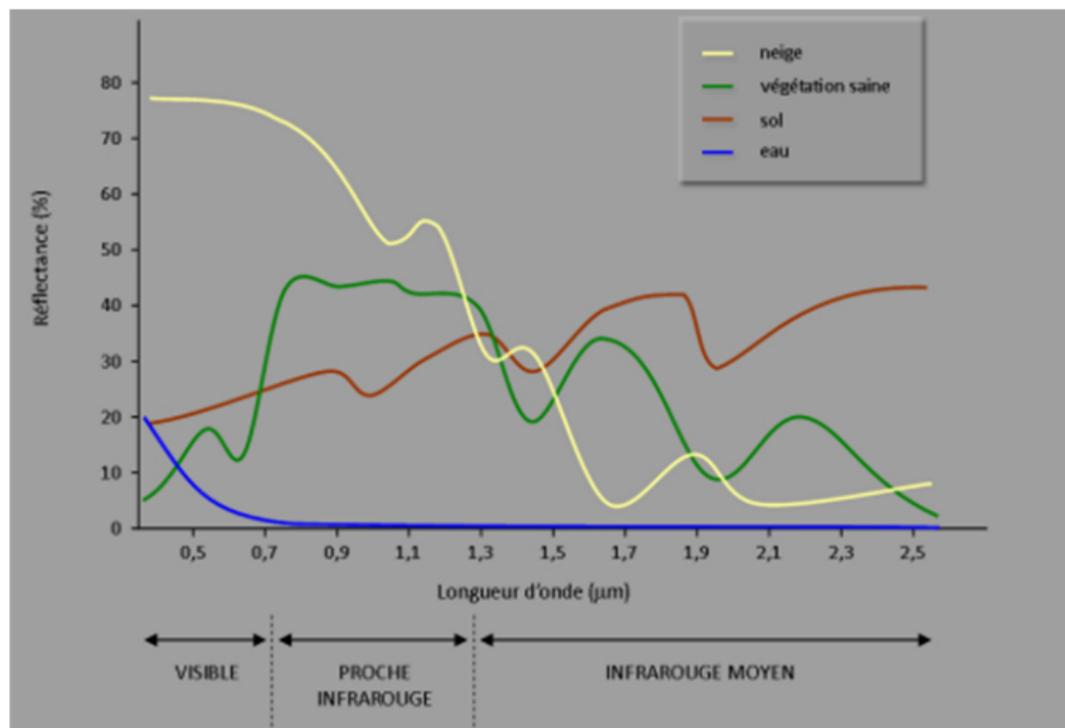


Absorbe tous les rayonnements visibles

Refléchet aucun rayonnement visible

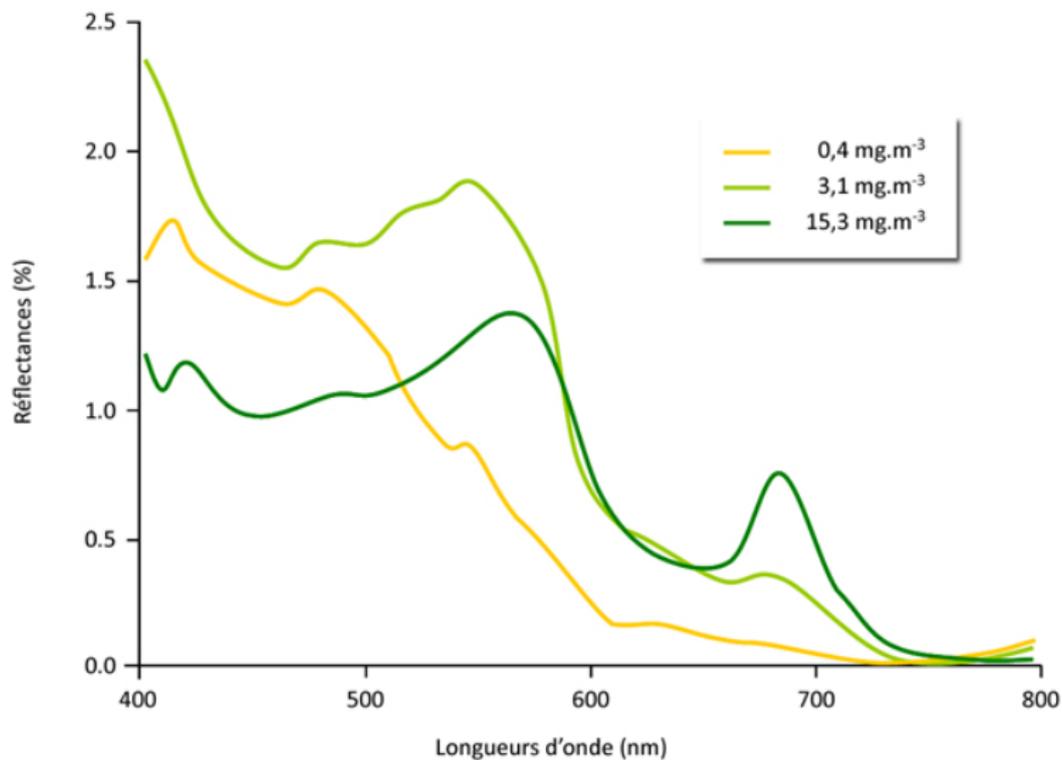
# La télédétection

## Une histoire de rayonnements



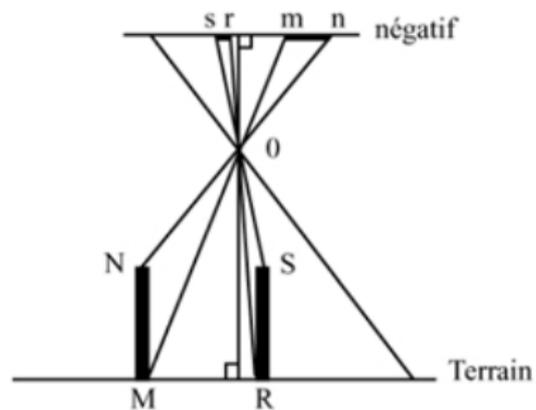
# La télédétection

## Une histoire de rayonnements



# La télédétection

## Une histoire de projection

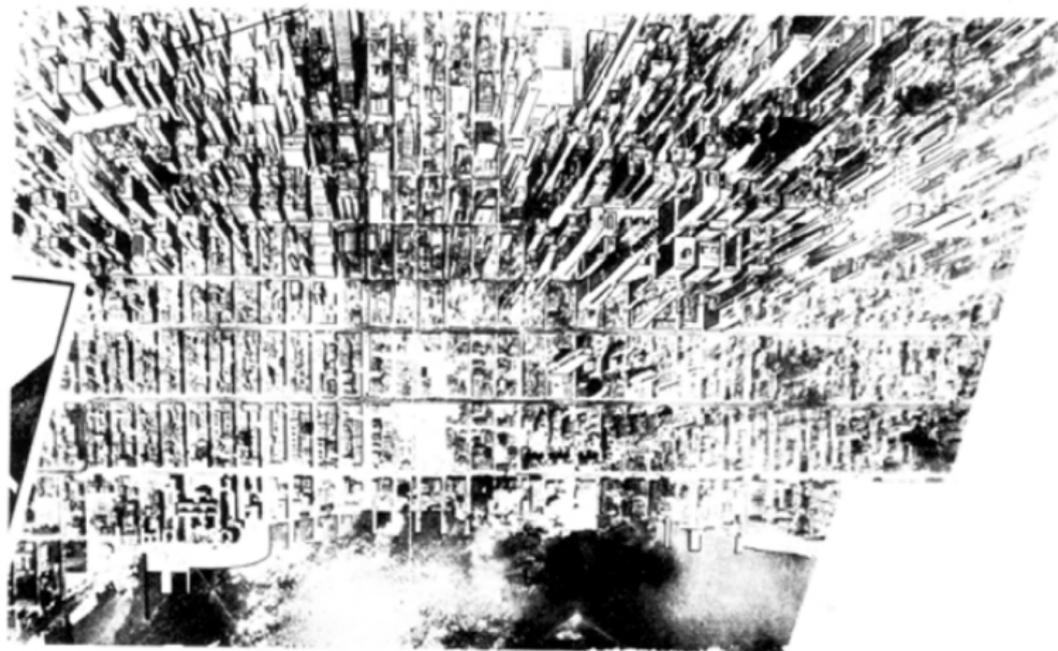


$$MN = RS$$

$$mn > rs$$

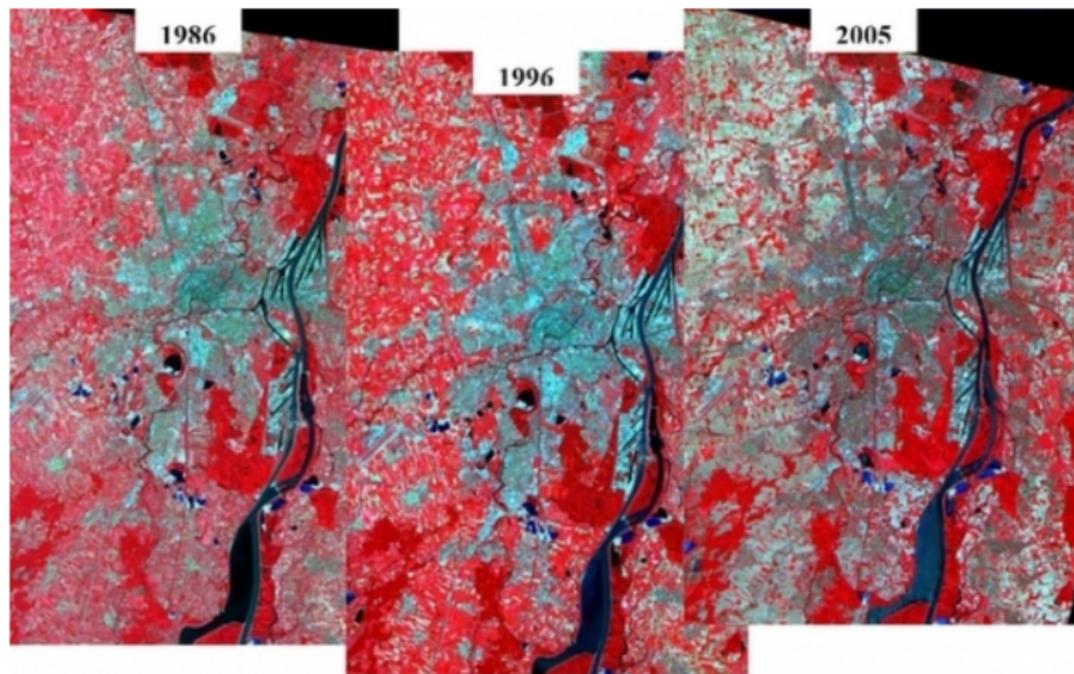
# La télédétection

## Une histoire de projection



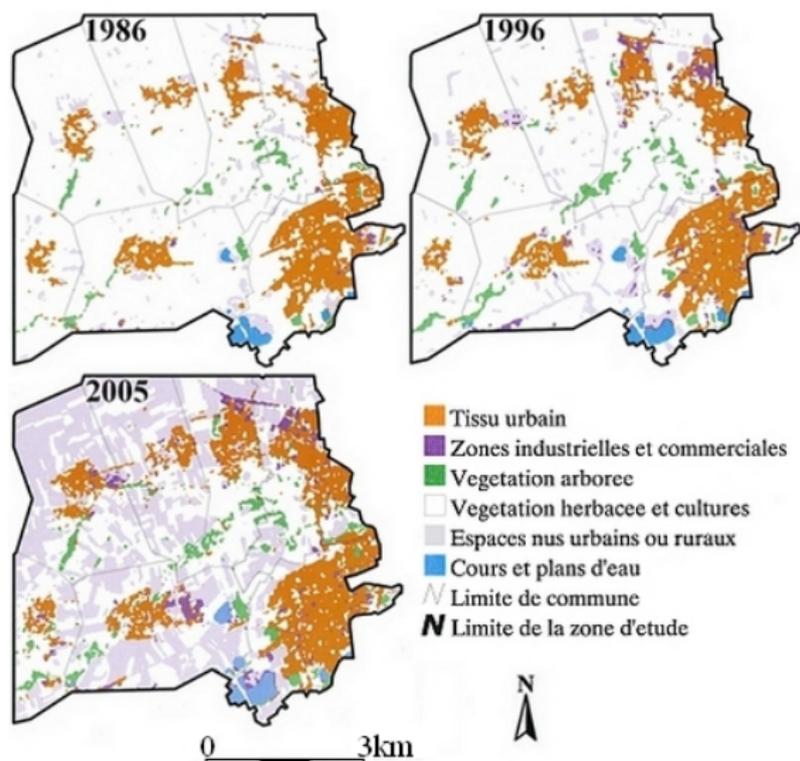
# La télédétection

Application : Analyse du tissu urbain



# La télédétection

Application : Analyse du tissu urbain



# La télédétection

Application : Analyse du tissu urbain

	1986	1996	2005
Tissu urbain	13.29	14.76	17.93
Zones industrielles	0.34	1.99	2.64
Végétation arborée	1.83	2.83	3.84
Végétation et cultures	77.99	73.28	39.55
Espaces nus	5.68	6.02	34.49
Eau	0.87	1.12	1.54

- 1 Introduction
- 2 Les fondements de la localisation
- 3 Collecter l'information géographique
- 4 La télédétection
- 5 Géographie quantitative**

# Une première famille de modèles

## Les modèles hiérarchiques

De nombreux chercheurs, appartenant à des domaines différents des sciences humaines et sociales, ont été étonnés par les formes prises par certaines distributions comme celles des richesses, des populations urbaines...

En effet, ces répartitions mettent souvent en exergue de fortes inégalités. Ainsi, Vilfredo Pareto demeure célèbre pour avoir constaté que 20% de la population italienne possédait 80% des richesses du pays.

Même si l'on ne retrouve pas toujours ce même rapport dans toutes les distributions (par exemple seulement 2% de la population mondiale concentrait 50% des richesses en 2006), cette propriété particulière de certaines distributions inégalitaires est connue sous le terme de principe de Pareto.

En analyse spatiale, ce caractère inégalitaire se retrouve notamment dans la « loi » rang-taille des villes qui permet de caractériser en partie la hiérarchie des villes au sein d'un système urbain.

# Une première famille de modèles

## Les modèles hiérarchiques

Ce sont les travaux pionniers de Auerbach (1913), de Goodrich (1926) et de Singer (1936) qui ont mis en évidence, pour la première fois, l'existence d'un phénomène « rang-taille » des villes. Ces travaux ont été suivis par ceux de Lotka (1941) et de Zipf (1949).

Dans les faits, « loi rang-taille », à l'instar du principe de Pareto, est une loi qui illustre le caractère inégalitaire des hiérarchies au sein des systèmes. Ainsi, selon ces lois, il existe peu de grandes villes et beaucoup de petites villes. De même, il y a beaucoup de pauvres pour peu de riches.

D'après George Kingsley Zipf, la « loi rang-taille » a pour principe « le moindre effort », qui « en termes simples [...] signifie, [...], qu'une personne résout ses problèmes immédiats en fonction de ses problèmes futurs en s'efforçant de minimiser dans le temps [...] sa dépense de travail ».

# Une première famille de modèles

## Les modèles hiérarchiques

La loi rang-taille postule que la taille des grandes villes d'un système urbain est « proportionnelle » à leur rang (c'est-à-dire au classement par ordre décroissant des tailles des grandes villes).

### Formulation simplifiée de la loi rang-taille

$$f(n) = P = \frac{K}{n}$$

P correspond à la population (le nombre d'habitants) théorique d'une ville.  
n correspond au rang de cette ville.

K est une valeur constante qui, dans une approche naïve, peut correspondre à la population de la ville la plus importante.

# Une première famille de modèles

## Les modèles hiérarchiques

Rang de la ville	Population
1	50 400
2	$50\ 400 / 2 = 25\ 200$
3	$50\ 400 / 3 = 16\ 800$
4	$50\ 400 / 4 = 12\ 600$
5	$50\ 400 / 5 = 10\ 080$
10	$50\ 400 / 10 = 5\ 040$
20	$50\ 400 / 20 = 2\ 520$

# Une première famille de modèles

## Les modèles hiérarchiques

Rang	Ville	Population	Population théorique	Ecart
1	Paris	10 587 309	10 587 309	-
2	Lyon	1 572 540	5 293 654	+ 237%
3	Marseille – Aix	1 368 138	3 529 103	+ 158%
4	Lille-T-Roubaix	1 106 091	2 646 827	+ 139%
5	Bordeaux	870 529	2 117 462	+ 143%
6	Toulouse	862 701	1 764 551	+ 105%
7	Nantes	640 805	1 512 472	+ 136%
8	Nice	558 213	1 323 413	+ 137%
9	Strasbourg	543 716	1 176 368	+ 116%
10	Grenoble	502 264	1 058 731	+ 111%
15	Nancy	401 177	705 820	+ 76%
		19 013 483	31 715 710	+ 67%

# Une première famille de modèles

## Les modèles hiérarchiques

Dans les faits, pour retrouver de manière récurrente la loi rang-taille, il faut la généraliser.

### Formulation généralisée de la loi rang-taille

$$f(n) = P = \frac{K}{n^\alpha} = K \times n^{-\alpha}$$

$\alpha$  est appelé coefficient de Pareto.

Il est intéressant d'étudier les variations de ce coefficient pour différents systèmes urbains ou au cours du temps.

Le coefficient  $\alpha$  peut notamment permettre de repérer des phénomènes de concentration excessive (système urbain macrocéphalique).

# TP3

## Les modèles hiérarchiques

L'objectif est d'étudier les hiérarchies dans les systèmes des villes états-uniennes et françaises :

- 1 Produisez un graphique rang-taille.
- 2 A l'aide d'une courbe de tendance, déterminez les meilleures valeurs de  $K$  et de  $\alpha$ . Interprétez les différentes valeurs de  $\alpha$ .
- 3 Produisez un graphique bi-logarithmique rang-taille permettant de mieux étudier les écarts entre le modèle théorique et la réalité empirique. Interprétez les résultats du graphique.
- 4 Calculez les résidus du modèle. Interprétez ces résidus.

# Une première famille de modèles

## Détails de la transformation bi-logarithmique

### Prérequis

$$\log(10^a) = a \text{ et } 10^{\log(a)} = a$$

$$\log(a \times b) = \log(a) + \log(b) \text{ et } \log(a^b) = b \times \log(a)$$

### Exemple 1 :

$$\log(10^5 \times 10^6) = \log(10^{11}) = 11$$

$$\log(10^5 \times 10^6) = \log(10^5) + \log(10^6) = 5 + 6 = 11$$

### Exemple 2 ( $48 \times 57$ ) :

$$\log(48 \times 57) = \log(48) + \log(57) = 1.672... + 1.763... = 3.435...$$

$$48 \times 57 = 10^{\log(48 \times 57)} = 10^{3.435...} = 2726$$

# Une première famille de modèles

## Détails de la transformation bi-logarithmique

$$P = K \times n^{-\alpha}$$

$$\Rightarrow \log(P) = \log(K \times n^{-\alpha})$$

$$\Rightarrow \log(P) = \log(K) + \log(n^{-\alpha})$$

$$\Rightarrow \log(P) = \log(K) - \alpha \log(n)$$

$$\Rightarrow \log(P) = -\alpha \log(n) + \log(K)$$

$$\Rightarrow Y = -aX + b$$

## Conclusion de la transformation bi-logarithmique

$$b = \log(K) \Rightarrow K = 10^b$$

$$a = \alpha$$

# Une deuxième famille de modèles

## Les modèles d'interaction spatiale

Le modèle gravitaire est destiné à formaliser, à étudier, à reproduire et à prévoir les interactions (les flux) entre des lieux.

La répartition des interactions dans un ensemble de lieux dépend de leur configuration, c'est-à-dire des forces d'attraction et des difficultés de communication entre chaque lieu.

Le modèle gravitaire a été formulé par analogie avec la loi de la gravitation universelle de Newton : deux corps s'attirent en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.

### Le modèle gravitaire (Physique)

$$F_{ij} = \frac{k \times P_i \times P_j}{d_{ij}^2} = k \times P_i \times P_j \times d_{ij}^{-2}$$

## Une deuxième famille de modèles

### Les modèles d'interaction spatiale

Le modèle gravitaire postule que dans un espace de circulation relativement homogène, les échanges entre deux régions ou deux villes seront d'autant plus importants que le poids des villes ou des régions est grand et d'autant plus faibles qu'elles seront éloignées.

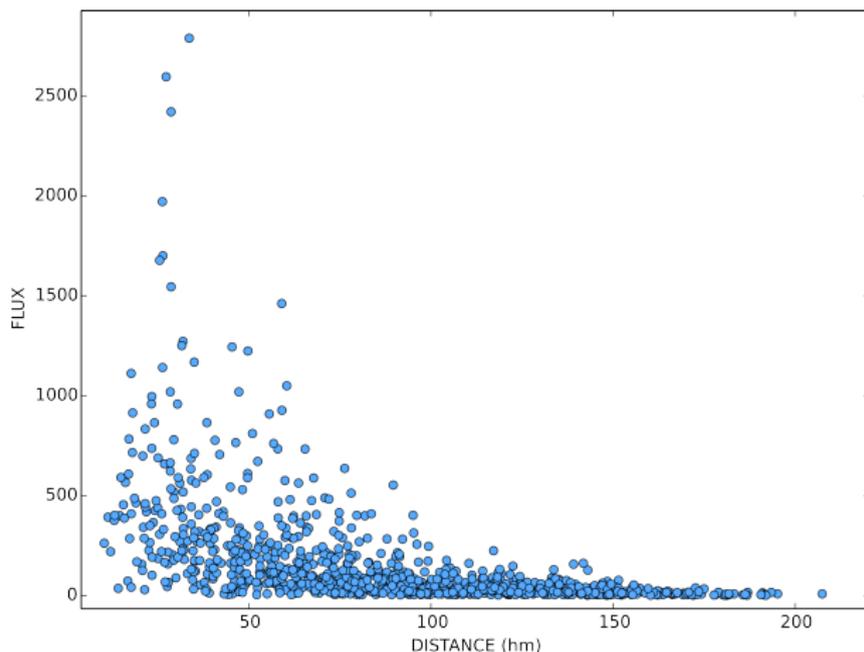
Dans les faits, le modèle gravitaire résume bien l'essentiel des mouvements qui se produisent dans un milieu où la mobilité et l'accessibilité sont relativement homogènes. Il prédit par exemple assez bien l'ampleur des flux de déplacements domicile-travail dans un bassin d'emplois urbain, à partir de la répartition des zones de résidence et des zones d'emplois.

### Le modèle gravitaire (Géographie)

$$F_{ij} = \frac{k \times P_i \times P_j}{d_{ij}^\alpha} = k \times P_i \times P_j \times d_{ij}^{-\alpha}$$

# Une deuxième famille de modèles

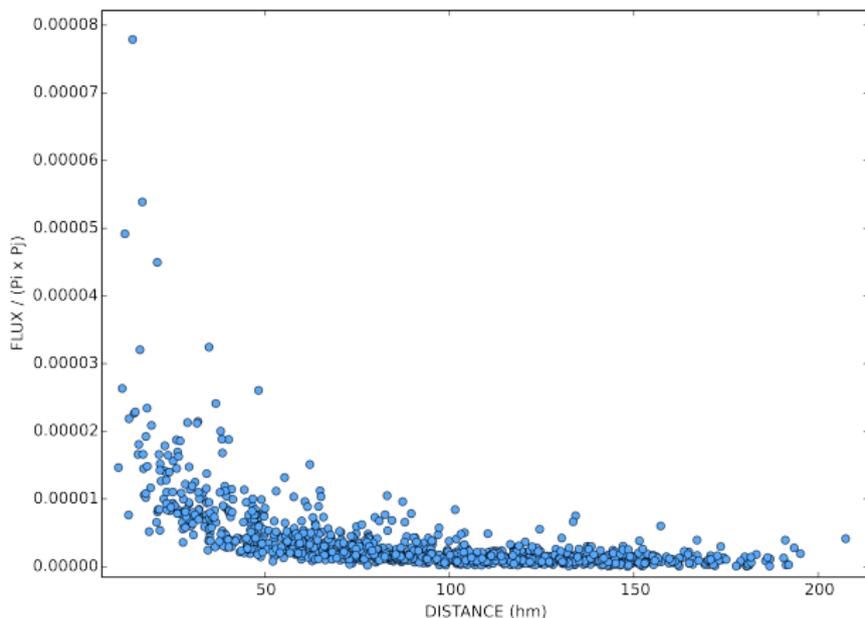
## Les modèles d'interaction spatiale



Les flux domicile-travail en fonction de la distance entre les communes du Val-de-Marne.

# Une deuxième famille de modèles

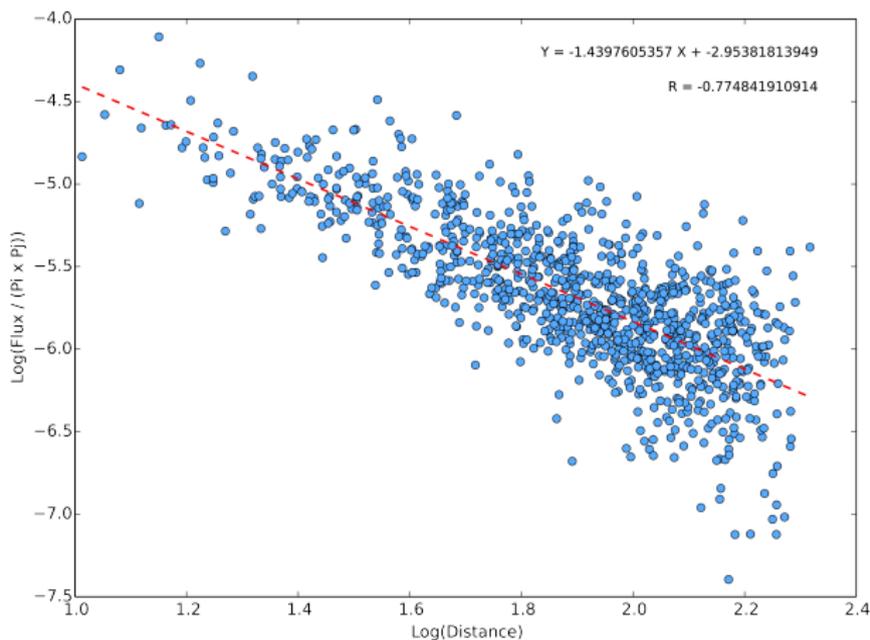
## Les modèles d'interaction spatiale



Les flux domicile-travail rapportés par les forces d'attraction en fonction de la distance entre les communes du Val-de-Marne.

# Une deuxième famille de modèles

## Les modèles d'interaction spatiale



Les flux domicile-travail rapportés par les forces d'attraction en fonction de la distance dans un diagramme bi-logarithmique.

# Une deuxième famille de modèles

## Les modèles d'interaction spatiale

A l'aide du modèle gravitaire, il est possible d'étudier des migrations. Prenons par exemple les migrations des étudiants en Bretagne.

Nous connaissons le nombre d'habitants (en milliers) des villes de Brest, Lannion, Rennes, Lorient, Quimper et Vannes (140, 20, 200, 50, 60, 50).

De même, nous connaissons les distances (en km) séparant la ville de Vannes aux autres villes (180, 150, 120, 70, 120).

En utilisant le modèle gravitaire et en fixant  $k = 1$  et  $\alpha = 1$ , il est possible d'estimer les flux d'étudiants venant étudier à Vannes.

$$F_{Brest,Vannes} = 140 \times 50/180 = 38.9$$

# Une deuxième famille de modèles

## Les modèles d'interaction spatiale

		vers (j)					
		Fij	BRE	LAN	LOR	QUI	REN
de (i)	BRE	-	19	10	54	369	14
	LAN	40	-	4	0	48	6
	LOR	19	0	-	2	6	2
	QUI	67	0	0	-	29	9
	REN	190	62	5	21	-	70
	VAN	8	1	0	0	56	-

# TP4

## Les modèles d'interaction spatiale

- 1 Produisez un tableau de forces ( $P_i \times P_j$ ), puis calibrez ce tableau en multipliant les résultats obtenus par le rapport entre la somme de tous les flux réels et la somme de toutes les forces.
- 2 Évaluez la validité de ce premier modèle, puis représentez les résultats en fonction des distances qui séparent les régions.
- 3 Effectuez le rapport entre le tableau des flux réels et celui des forces ( $F_{ij}/(P_i \times P_j)$ ), puis représentez les résultats en fonction des distances qui séparent les régions afin de calculer  $K$  et  $\alpha$ .
- 4 En utilisant la valeur de  $\alpha$  calculée, rappez le tableau des forces par les distances, puis calibrez le tableau afin de mesurer les flux théoriques à l'aide du nouveau modèle. Quelle est la validité du nouveau modèle ?

# Une deuxième famille de modèles

## Détails de la transformation bi-logarithmique

$$F_{ij} = K \times P_i \times P_j \times d_{ij}^{-\alpha}$$

$$\Rightarrow F_{ij}/(P_i \times P_j) = K \times d_{ij}^{-\alpha}$$

$$\Rightarrow \log(F_{ij}/(P_i \times P_j)) = \log(K \times d_{ij}^{-\alpha})$$

$$\Rightarrow \log(F_{ij}/(P_i \times P_j)) = \log(K) + \log(d_{ij}^{-\alpha})$$

$$\Rightarrow \log(F_{ij}/(P_i \times P_j)) = -\alpha \log(d_{ij}) + \log(K)$$

$$\Rightarrow Y = -aX + b$$

## Conclusion de la transformation bi-logarithmique

$$b = \log(K) \Rightarrow K = 10^b$$

$$a = \alpha$$

## Une deuxième famille de modèles

Pour aller plus loin : faire une régression linéaire multiple

$$F_{ij} = K \times P_i \times P_j \times d_{ij}^{-\alpha} \times 10^{\beta T_{ij}}$$

$$T_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i \text{ et } j \text{ appartiennent au même territoire} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \log(F_{ij}/(P_i \times P_j)) = -\alpha \log(d_{ij}) + \beta T + \log(K)$$

$$\Rightarrow Z = -aX + bY + c$$

### Conclusion de la transformation bi-logarithmique

$$c = \log(K) \Rightarrow K = 10^c$$

$$a = \alpha$$

$$b = \beta$$

# L'autocorrélation spatiale

## Présentation

Compte tenu du caractère inégalitaire de nombreuses distributions, des objets géographiques se ressemblent plus que d'autres. Une question d'analyse spatiale que l'on est alors en droit de se poser est la suivante :

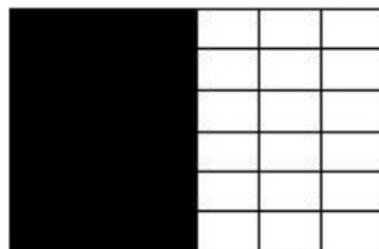
*Est-ce que les objets géographiques qui sont proches se ressemblent plus que les objets géographiques qui sont éloignés ? C'est la question de l'autocorrélation spatiale.*

Mesurer l'autocorrélation spatiale d'un phénomène (d'une distribution) revient à déterminer s'il semble exister une organisation spatiale sous-jacente à ce phénomène (à cette distribution) et donc qu'il (qu'elle) ne se répartit pas de façon aléatoire au sein du territoire étudié.

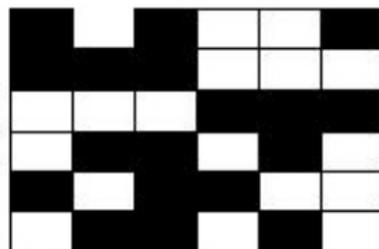
Par exemple : Les personnes riches se regroupent-elles ? Les communes très peuplées côtoient-elles des communes très peu peuplées ?

# L'autocorrélation spatiale

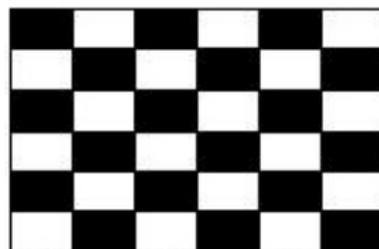
## Présentation



*Autocorrélation spatiale positive*



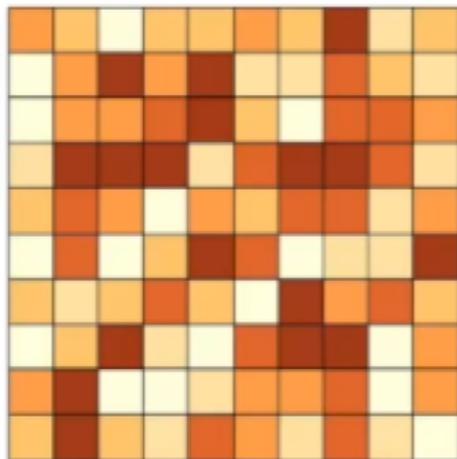
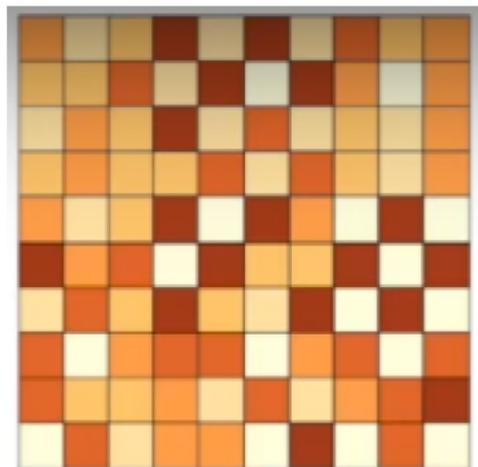
*Autocorrélation spatiale nulle*



*Autocorrélation spatiale négative*

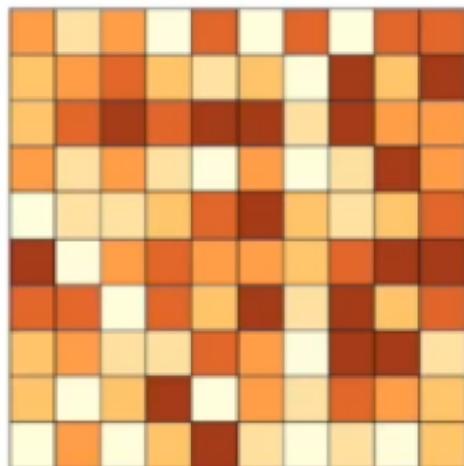
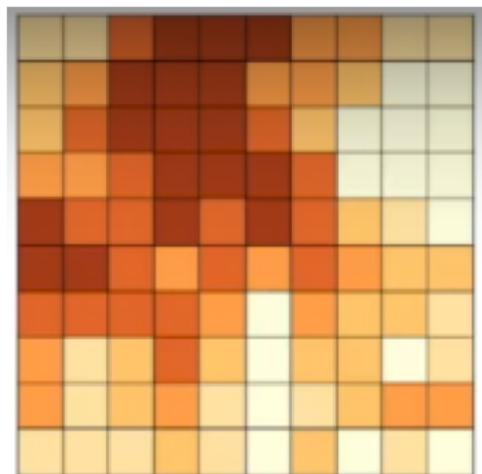
# L'autocorrélation spatiale

Présentation : aléatoire ou pas



# L'autocorrélation spatiale

Présentation : aléatoire ou pas



# L'autocorrélation spatiale

## Présentation statistique

Les coefficients d'autocorrélation spatiale sont alors construits statistiquement de telle manière qu'il soit possible de répondre à la question suivante :

*La variation d'un caractère entre unités contigües (proches) est-elle plus ou moins grande que la variation de ce même caractère pour l'ensemble du territoire ou plus précisément entre unités non-contigües (éloignées) ?*

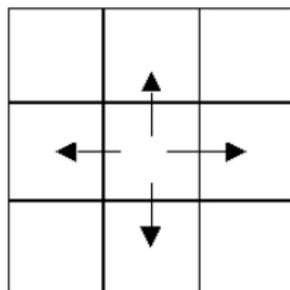
Il convient dès lors de définir ce qui est proche, de définir ce qui est voisin. Le plus simple est de le déterminer de manière binaire en s'appuyant par exemple sur la notion de contiguïté.

Il existe plusieurs indicateurs pour mesurer l'autocorrélation spatiale. Les deux principaux, c'est-à-dire les plus couramment utilisés, sont les indices de Moran et de Geary.

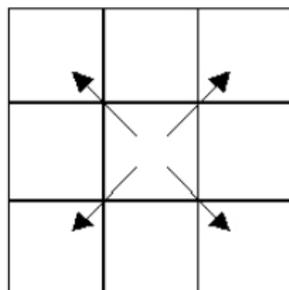
# L'autocorrélation spatiale

## La contiguïté

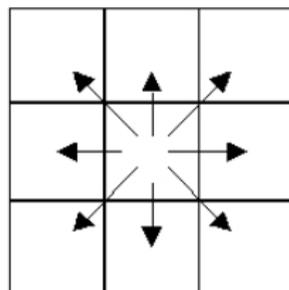
Rooks Case



Bishops Case

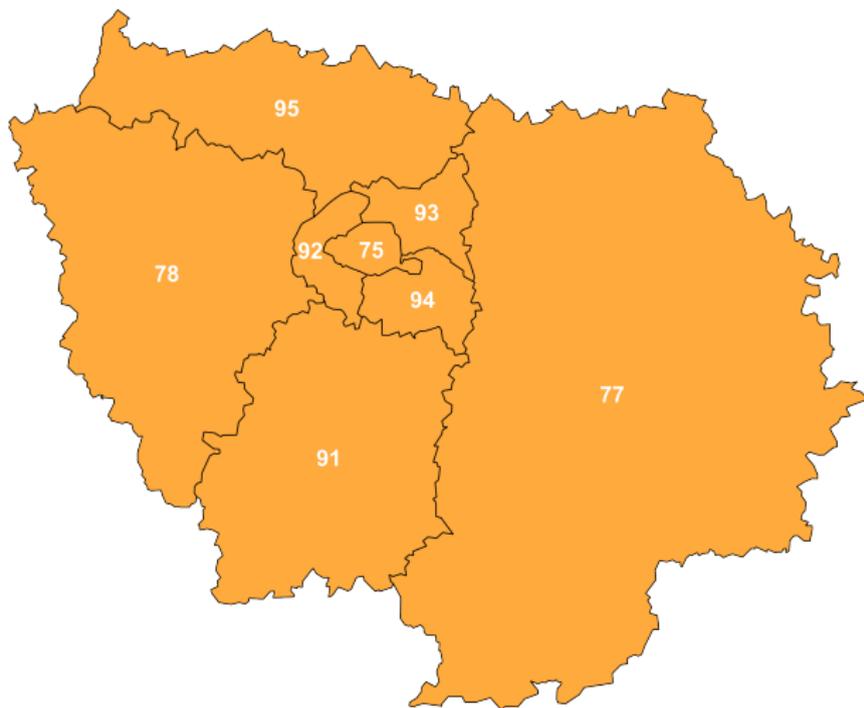


Queen's (Kings) Case



# L'autocorrélation spatiale

## La contiguïté



# L'autocorrélation spatiale

## Les indices de Moran et Geary

$$G = \frac{N-1}{2L} \times \frac{\sum_{i,j} l_{ij} \times (X_i - X_j)^2}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}$$

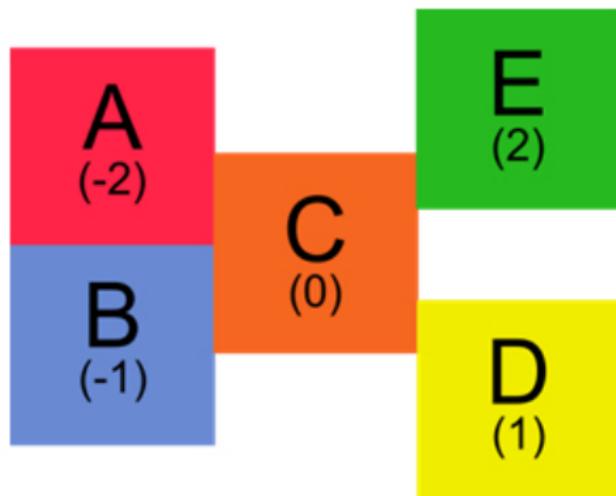
Les valeurs de l'indice de Geary s'étendent de 0 à 2. La valeur 1 signifie qu'aucune autocorrélation spatiale n'est présente dans les mesures effectuées. Une valeur plus petite que 1 signifie une autocorrélation spatiale positive.

$$M = \frac{N}{L} \times \frac{\sum_{i,j} l_{ij} \times (X_i - \bar{X}) \times (X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}$$

Les valeurs de l'indice de Moran s'étendent de -1 (corrélation négative) à +1 (corrélation positive). Une valeur nulle correspond à un modèle spatial parfaitement aléatoire.

# L'autocorrélation spatiale

## Exemple



# L'autocorrélation spatiale

## Exemple

$$\bar{X} = \frac{(-2-1+0+2+1)}{5} = 0$$

$$\sum_i (X_i - \bar{X})^2 = (-2)^2 + (-1)^2 + (0)^2 + (1)^2 + (2)^2 = 10$$

$$N = 5 \text{ et } L = 10$$

A → B	$(-2 - (-1))^2 = 1$	A → C	$(-2 - 0)^2 = 4$	B → A	$(-1 - (-2))^2 = 1$
B → C	$(-1 - 0)^2 = 1$	C → A	$(0 - (-2))^2 = 4$	C → B	$(0 - (-1))^2 = 1$
C → D	$(0 - 1)^2 = 1$	C → E	$(0 - 2)^2 = 4$	D → C	$(1 - 0)^2 = 1$
E →	$(2 - 0)^2 = 4$	<b>Total</b>		<b>22</b>	

$$G = \frac{(5-1) \times 22}{2 \times 10 \times 10} = 0,44$$

# TP5

## L'autocorrélation spatiale

Comme le calcul d'autocorrélation spatiale devient très vite long et fastidieux à la main, il convient d'utiliser des outils informatiques. En outre, compte tenu de la nature profondément géographique de cette mesure, il convient d'utiliser des SIG.

- 1 Ouvrez le fichier Excel, puis calculez l'indicateur de Geary. Interprétez le résultat obtenu.
- 2 Ouvrez le logiciel ArcGIS, puis importez les données. Que contiennent ces données ?
- 3 Effectuez une carte thématique représentant la répartition des agriculteurs en France. Caractérissez cette répartition ?
- 4 Y a t-il autocorrélation spatiale ? Les résultats sont-ils les mêmes pour les taux ?

# Pour aller plus loin

## Le modèle de ségrégation spatiale de Schelling

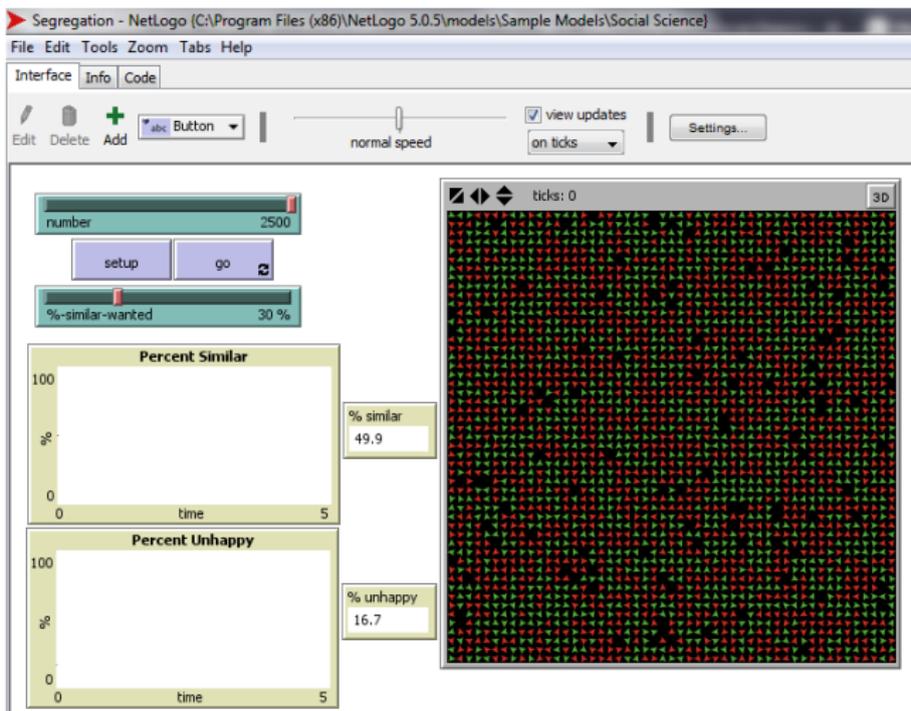
Dans les années 1970, Thomas C. Schelling a proposé un modèle afin d'expliquer le lien entre la *ségrégation spatiale* et les *préférences individuelles* concernant cette ségrégation. Il a alors abouti à un des résultats les plus remarquables des sciences humaines sociales.

Pour mettre en œuvre ce modèle, il suffit de disposer d'une information concernant les préférences des individus et d'une dichotomie permettant de ranger une population en deux groupes distincts (les riches et les pauvres, les croyants et les non-croyants, les natifs et les étrangers...).

Prenez un échiquier et *placez des pions de deux genres différents* (des pions blancs et des pions noirs) et laissez des cases vides. *Ajoutez ensuite une règle de déplacement* des pions : bien que « tolérants », les pions déménageront si, parmi leurs voisins immédiats, il y a trop de pions différents (ces pions ne souhaitent pas être trop minoritaires).

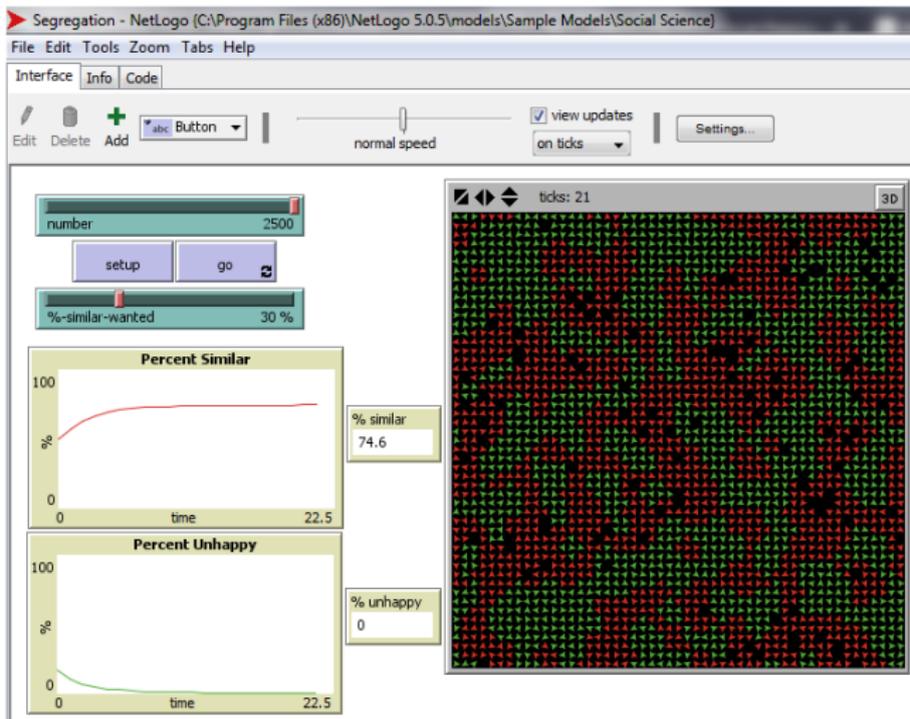
# Pour aller plus loin

## Le modèle de ségrégation spatiale de Schelling



# Pour aller plus loin

## Le modèle de ségrégation spatiale de Schelling



Euh, être tolérant ça mène à ça ?

# Pour aller plus loin

Le modèle de ségrégation spatiale de Schelling

La parabole des polygones : <http://ncase.me/polygons-fr/>

Netlogo : <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>