

Geographic Information Technology Training Alliance (GITTA) presents:

Les concepts spatiaux fondamentaux

Responsable: Dominique Schneuwly, Regis Caloz

Table des matières

1. Les concepts spatiaux fondamentaux	2
1.1. La notion d'échelle	3
1.1.1. Définition	3
1.2. Géoréférencement: positionnement et projections	5
1.2.1. La géoréférence	5
1.2.2. Les projections	6
1.2.3. Le positionnement	8
1.3. Les relations spatiales	10
1.3.1. La notion de distance	10
1.3.2. La notion de voisinage	10
1.3.3. Relations spatiales entre propriétés thématiques	10
1.4. La topologie, concept fondamental	12
1.4.1. Les relations topologiques	12
1.4.2. L'adajence	12
1.4.3. La connectivité	13
1.4.4. L'inclusion	13
1.4.5. L'intersection	13
1.4.6. QCM	13
1.5. Distance spatiale et propriétés du milieu	14
1.5.1. Dynamique de l'espace	14
1.5.2. Les propriétés de l'espace	15
1.5.3. Influence de la dynamique de l'espace sur la distance spatiale	16
1.6. Glossaire	17
1.7. Bibliographie	18

1. Les concepts spatiaux fondamentaux

Un certain nombre de concepts sont à la base des sciences de l'information géographique: l'échelle, la distance, la topologie...

1.1. La notion d'échelle

La cartographie a popularisé la notion d'échelle. Il n'est de carte digne de ce nom sans que l'échelle de la représentation graphique soit clairement indiquée! C'est une notion géométrique bien définie qu'il est indispensable de maîtriser.

Temps estimatif: 20 minutes

1.1.1. Définition

*échelle*¹

Cette notion d'échelle est identique dans les SIG lors d'une représentation graphique des éléments de l'espace géographique soit à l'écran, soit sur un support papier. Elle prend, cependant un sens plus général et plus complexe dans le processus de modélisation de la réalité. Quel objet sélectionner? Sous quelle forme géométrique? Ponctuelle, linéaire ou zonal? Avec quel degré de sinuosité les contours seront dessinés, en d'autres termes, avec quel degré de généralisation? Des questions similaires sont posées pour la richesse informative thématique.

Seulement les images peuvent être représentées dans cette version! Flash, animation, son etc. sont visibles uniquement dans la version en ligne. [\[link\]](#)

Comment évaluer une échelle de modélisation?

En fait, l'échelle correspond au degré de résolution auquel un phénomène ou une portion du paysage est décrit. Elle est inhérente à toute observation. Dans une base de données spatiales, des éléments décrits avec des précisions différentes peuvent coexister. Par exemple, une borne d'hydrante est géoréférencée à la précision du plan cadastral (quelques centimètres) alors que les limites forestières le sont, le cas échéant, à une résolution de quelques mètres.

Dans le contexte des SIG, il est indispensable de distinguer la notion d'**échelle de modélisation ou d'observation** de celle, voisine mais différente, d'**échelle de représentation cartographique**. Le choix de l'échelle de modélisation est guidé par les finalités de la modélisation. Il détermine la présence et la richesse des entités spatiales à décrire ainsi que l'information à saisir sur ces objets. Le choix de l'échelle de représentation cartographique est, quant à lui dicté, par des contraintes techniques graphiques et d'ordre physiologique (capacité perceptive de notre système visuel) et esthétique. L'interdépendance de ces deux types d'échelle est particulièrement grande dans la pratique, car la carte est à la fois une source d'information sur les entités spatiales et le produit d'une exploitation des SIG. Un centimètre sur une carte au 1:25'000 correspond à 250 m sur le terrain, à 1 km au 1:100'000, etc. Voir les exemples ci-dessous extraits des cartes nationales de l'Office Fédéral de Topographie.



Comment évaluer une échelle de modélisation?

Une règle empirique consiste à repérer à quel moment un objet devient observable s'il est reproduit sur un document cartographique. Il est raisonnable de poser qu'une surface sur la carte inférieure à 1x1

¹ L'échelle est le rapport entre la distance mesurée sur la carte et celle correspondant dans la réalité.

mm ne peut plus représenter un élément zonal. Cela revient à associer une échelle cartographique à la résolution spatiale. On admet qu'une résolution de 10m par exemple correspond à une perception spatiale de l'ordre du 1:10'000. Cette règle produit un ordre de grandeur, il convient donc de l'exploiter avec circonspection. Cette règle n'est pas valable pour l'affichage ou l'impression d'image numérique, car un flou, désagréable d'un point de vue visuel, apparaît dès que le côté du pixel dépasse les 0.3 à 0.4 mm.

Exercices



Voici 3 cartes à 3 échelles différentes:



Carte nationale au 1:25'000 (source SwissTopo)



Carte nationale au 1:100'000 (source SwissTopo)



Carte nationale au 1:500'000 (source SwissTopo)

Notez et commentez les différences que vous observez. Quelle échelle choisiriez-vous pour représenter votre territoire si vous étiez:

- un aigle,
- un promeneur,
- un cultivateur de céréales,
- une souris?

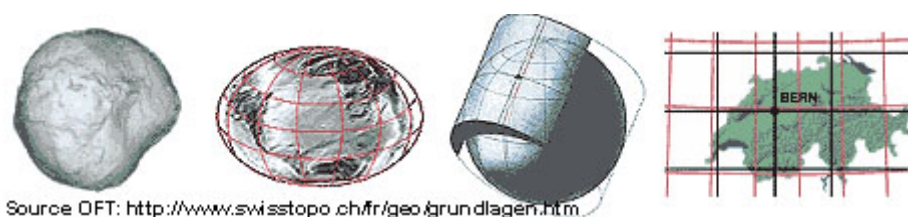
Commentez vos choix.

Solution

Les solutions aux questions seront discutées lors du prochain cours.

1.2. Géoréférencement: positionnement et projections

La localisation des objets dans un espace décrit à la fois leur position dans un endroit de cet espace et leur situation par rapport aux autres objets. Elle inclut donc les 2 notions de **position** et de **voisinage**. Dans la vie quotidienne, on utilise fréquemment la notion de voisinage pour localiser des objets; on dira par exemple que *l'épicerie du village se situe près de l'église*. Dans cet exemple, la localisation fait appel à la notion de voisinage, une mesure de proximité, en relation à un objet de référence dont la position est implicitement perçue. A l'évidence, une telle localisation ne convient pas à la description d'un ensemble d'objets complexe tel que ceux exploités dans le cadre des SIG. Les exigences sont bien plus élevées comme elles étaient déjà pour la cartographie conventionnelle. On parle, dans ce cas, de positionnement des objets sur la surface terrestre. Comme dans le cas cité, il est nécessaire d'établir un système de référence et une métrique pour la mesure de l'éloignement. Le système le plus simple et le plus fréquemment utilisé est le système euclidien basé sur l'hypothèse d'un espace plan, continu et d'une métrique constante, défini par un système d'axes perpendiculaires entre eux. Les systèmes cartographiques reposent sur ce principe qui est également adopté par les SIG.

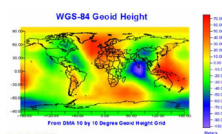


En complément, vous pouvez consulter le livre "*Datums and Map Projections for remote sensing, GIS and surveying*" (Jonathan Iliffe 2000)

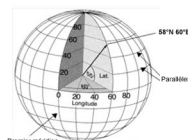
1.2.1. La géoréférence

Le problème fondamental de la localisation sur la surface de la Terre provient du fait que la surface du globe est courbe à cause du relief et de la quasi rotondité de la Terre. Pour inscrire les informations sur une surface plane, on exploite les propriétés de la projection géométrique. Divers procédés de projection ont été réalisés. La géoréférence consiste à établir un système de référence pour positionner tout objet à la surface terrestre. Le système de référence est dit universel s'il est le même pour tout endroit de la planète, il est relatif s'il ne concerne qu'une région ou un pays. La surface de la Terre étant courbe, nous souhaitons, pour des raisons évidentes de commodité, la représenter sur une surface plane. Pour l'obtenir, on a proposé des systèmes de projection de manière à établir une relation ponctuelle univoque entre la surface de la Terre et la représentation plane. Un système de projection se base sur quelques repères, résumés ici pour mémoire.

- La surface du globe est modélisée du point de vue géométrique par une surface équipotentielle de gravitation appelée le géoïde. À son tour celui-ci est approximé par un ellipsoïde de révolution. Notons que la connaissance du géoïde a été considérablement améliorée avec l'avènement des satellites. Pour assurer une uniformité dans les différentes cartes produites, les systèmes de projection nationaux se basent sur des ellipsoïdes définis de manière légale.



- En coordonnées sphériques, tout point sur la surface de la Terre s'exprime par trois paramètres: l pour la longitude, p pour la latitude et r pour la distance au centre de la Terre. Si x et y sont les coordonnées cartographiques, une projection se représente par les relations fonctionnelles suivantes: $x = f(r, l, p)$ et $y = g(r, l, p)$

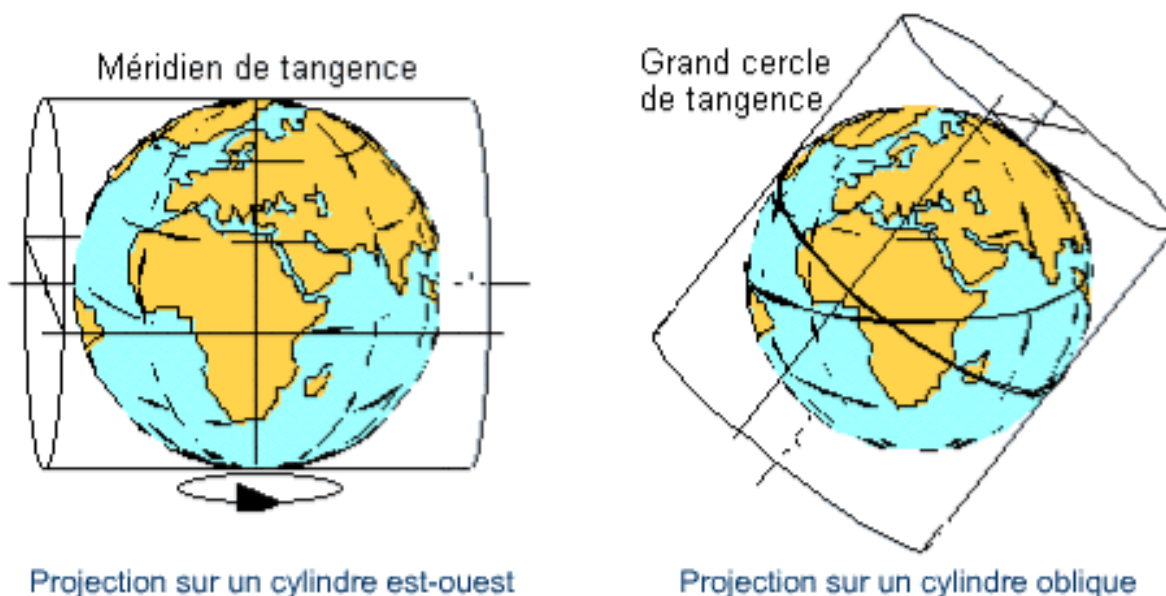


1.2.2. Les projections

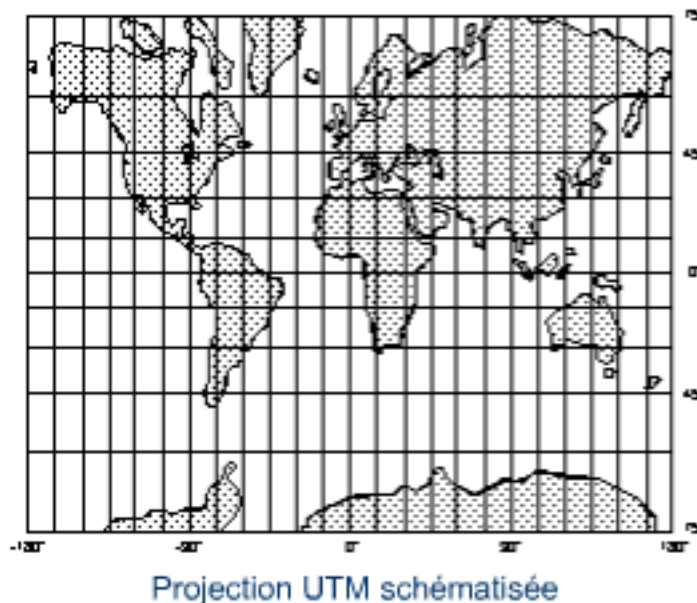
Les lois de la géométrie sphérique et euclidienne montrent que cette opération ne peut se réaliser sans perte d'information. Les sciences géodésiques proposent deux catégories principales de projection. Chacune d'elles privilégie la conservation d'une propriété au détriment des autres. Ces propriétés sont l'orientation et la surface. Une projection est dite *conforme* lorsqu'elle respecte les directions relatives, c'est-à-dire l'angle formé entre deux directions. Elle est dite *équivalente* si elle conserve les aires des objets projetés. Aucune de ces projections ne conserve réellement les *distances*.

La cartographie topographique s'établit généralement selon une projection conforme. Le mode de projection est choisi de sorte que, localement, les distances sont respectées dans un intervalle d'erreur tolérable. Il existe de nombreuses projections. Les deux les plus courantes sont la cylindrique et la conique. Nous en présentons les éléments essentiels à l'intention des lecteurs qui ne bénéficient d'aucune formation dans ce domaine. Généralement, les objets à la surface de l'ellipsoïde sont projetés, de manière orthogonale, d'abord sur une sphère de référence, puis de celle-ci projetés à nouveau sur une surface développable en un plan, le cylindre ou le cône. Les schémas présentés pour les différentes projections considèrent que la surface de référence est déjà une sphère. Plusieurs variantes de projections ont été proposées. Nous en exposons ici les principes les plus appliqués. La géoréférence nationale ensuite est, dans la plupart des cas, exprimée en mètres selon une origine qui évite des ambiguïtés entre longitude et latitude.

Projections cylindriques



Les figures ci-dessus représentent deux possibilités de projection cylindrique. A gauche, le cylindre est tangent à la sphère terrestre le long d'un méridien. C'est la projection *UTM*². Pour chaque méridien est défini un nouveau cylindre. Pour que les déformations linéaires restent acceptables, on se limite à un "couloir" de $\pm 3^\circ$ de part et d'autre du méridien. La Terre est ainsi découpée en 60 fuseaux comme sur la figure ci-dessous. Le méridien de Greenwich sépare les fuseaux 30 et 31 comptés en direction de l'est. A droite, le cylindre est tangent le long d'un grand cercle, la projection est dite de Mercator oblique.



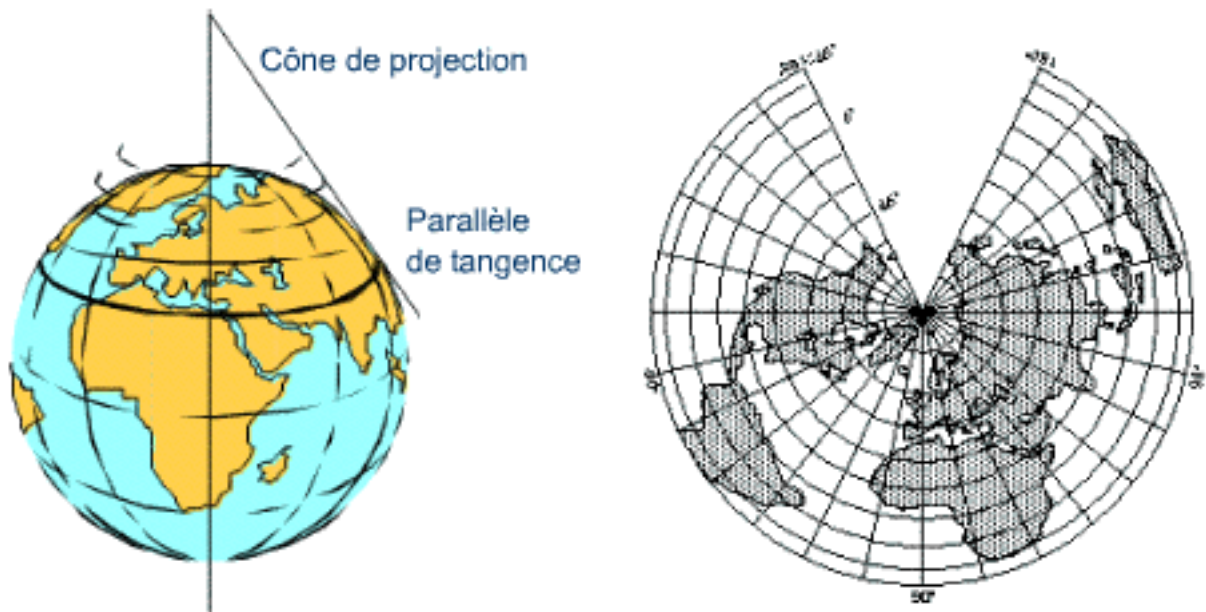
Projection UTM schématisée

Projection conique conforme de Lambert

La projection conique conforme de *Lambert*³ est le système de projection adopté notamment par la France. Un cône est tangent à l'ellipsoïde de révolution le long d'un parallèle. Un seul système n'aurait pas suffi pour maintenir les déformations linéaires dans des limites acceptables. Aussi, 4 cônes de projection ont été nécessaires, 3 en métropole, 1 en Corse. Le méridien origine, devenant l'axe des y, est celui de l'observatoire de Paris.

² "Universal Transverse Mercator" (UTM); Gerhard Mercator, 1512-1594, mathématicien flamand

³ Jean-Henri Lambert, 1728-1777, mathématicien français



La figure schématise le résultat d'une projection conique. Pour en savoir plus lisez l'ouvrage de Topométrie opérationnelle de (M. Brabant 1980)

Autres géoréférences

La géoréférence constitue la base de la cartographie du territoire et a posteriori des systèmes à référence spatiale. D'autres systèmes de référence sont également connus. Ils ne sont pas utilisés seuls. Ils se superposent à celui décrit. Parmi eux, il convient de citer en premier lieu les référentiels postaux, régionaux et routiers. Les référentiels postaux de l'Europe continentale sont basés sur un numéro qui désigne le bureau postal chargé de la distribution du courrier. A chaque numéro est ainsi assigné un espace géographique délimité selon des critères d'optimisation de la distribution. Toute personne résidente dans la zone se voit par conséquent affectée d'un même numéro. Cette géoréférence joue un rôle dans le "geomarketing". Lors d'étude de marché, on établit une correspondance entre les strates sociales présentes et la zone postale de manière à élaborer une publicité bien ciblée. Le système nord-américain est différent. Il s'établit selon un découpage en mailles régulières de l'espace (Therault 1994). Les géoréférences routières permettent de localiser de manière univoque tout événement survenant sur le réseau. Là aussi, on note des différences notoires selon les pays.



Seulement les images peuvent être représentées dans cette version! Flash, animation, son etc. sont visibles uniquement dans la version en ligne. [link]

1.2.3. Le positionnement

Le positionnement consiste à établir, au moyen de coordonnées, la position la plus exacte possible d'un point sur la surface de la Terre. Il est réalisé par les méthodes développées par la géodésie. Pour le positionnement géodésique, les précisions atteintes dépendent des moyens mis en oeuvre. Elles peuvent être très élevées,

Les concepts spatiaux fondamentaux

de l'ordre du millimètre par rapport à une référence. Ainsi la précision ne rencontre aujourd'hui aucun obstacle technique majeur. Il suffit ... d'y mettre le prix ! Dans le contexte de SIG, il s'agit donc d'exiger une précision optimale en référence à l'échelle du phénomène étudié. Les moyens conventionnels sont les levés topographiques et la photogrammétrie. Depuis quelques années, nous disposons d'un système de positionnement par satellites. Mis en place par le Département de la Défense des Etats-Unis d'Amérique, il offre des précisions de 5 à 10 m en mode direct avec des récepteurs bon marché et de l'ordre du centimètre en mode différentiel dont la mise en oeuvre est plus coûteuse. L'Europe disposera, dès 2008, de son propre système, dénommé Galileo

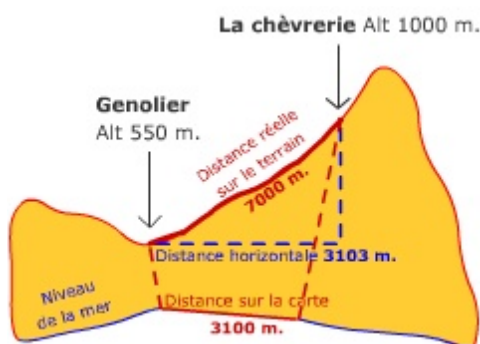


1.3. Les relations spatiales

Travailler sur des entités spatiales implique la capacité de les localiser et de les décrire individuellement, ainsi que de les appréhender collectivement en décrivant leurs relations dans l'espace. Dans le but de modéliser un territoire dans un SIG pour sa gestion et son analyse, il est primordial d'appréhender les notions de distance, de topologie et d'influence de la dynamique du milieu sur ces notions.

1.3.1. La notion de distance

Les relations spatiales recouvrent des situations fort différentes. Deux aéroports desservis par une ligne aérienne sont reliés indépendamment de leur éloignement. Dans ce cas, la proximité s'évalue en heures de vol, ou ...en une somme d'argent si l'on assume soit même le coût du billet! Deux communes de montagne, situées dans deux vallées voisines et séparées par une chaîne de montagne peuvent posséder une frontière commune et être éloignées en terme de distance qu'il faut parcourir pour aller de l'une à l'autre; la durée du trajet, dans ce cas, peut être supérieure à celle nécessaire pour relier deux aéroports fort éloignés. Un trajet peut être également soumis à la contrainte de suivre le réseau routier.



Parcours sur un croquis comportant des obstacles. Le chemin tient compte du relief et des obstacles sur le MNT (cf Gilles Gachet sur ERDAS)

1.3.2. La notion de voisinage

Les relations spatiales apparaissent également lorsque des questions courantes sont posées. La parcelle de M. Dupont jouxte-t-elle celle de M. Durant? La rivière se jette-t-elle dans le lac, la villa de M. Dubonnet est-elle à proximité de la voie de chemin de fer? Paris et Montréal ont-elles une liaison aérienne? A quelle distance de Paris se situe Lausanne? Quel est le parcours en voiture le plus court entre deux villes? etc...



Quel est le plus court chemin pour aller de Morges à Interlaken en voiture? Bien que le trajet par Jaun soit plus court en distance, il est plus rapide de prendre l'autoroute pour Bern !!! (source Swisstopo)

1.3.3. Relations spatiales entre propriétés thématiques

D'autres situations dépendent de la relation entre entités et le phénomène considéré. La relation n'est pas constante mais s'atténue en fonction de l'éloignement. Cette situation correspond bien à un phénomène qui spatialement possède une origine et une destination, telle une nuisance sonore, un panache de pollution, et qui

se disperse progressivement dans l'espace géographique. Outre la modélisation du phénomène lui-même, la question pour les SIG est de définir la limite de la proximité ou du voisinage ou encore de déclarer des classes de voisinage. A partir de quelle distance une entité n'appartient plus au voisinage d'une autre? La réponse dépend d'une décision de l'interprète et la notion même de voisinage est fonction du phénomène étudié.



Les modèles d'atténuation

Une relation spatiale identifie toute propriété que partagent des unités spatiales entre elles; elle est indissociable de la notion de voisinage ou de liaison qui rend, selon une propriété donnée, deux entités dépendantes. Elle se manifeste donc par la géométrie lorsqu'il s'agit de voisinage ou par une liaison fonctionnelle exprimée dans un attribut.

Les notions de voisinage sont examinées et définies par les relations topologiques. Elles font l'objet de la section portant sur la topologie présentée plus loin. Les liaisons fonctionnelles mettent en jeu le concept de distance qui lui-même dépend du modèle de la réalité spatiale. Celui-ci ne doit pas seulement contenir la description des entités et de leurs propriétés thématiques, mais aussi des éléments régissant la dynamique spatiale, tels que les processus de diffusion, de déplacement ou de propagation. Pour déterminer de manière quantitative ces processus, il est nécessaire de considérer les effets dynamiques de l'espace.

1.4. La topologie, concept fondamental

Les relations géométriques de proximité entre les entités peuvent être décrites au niveau quantitatif par une métrique: la distance (comme on vient de le voir dans l'unité précédente), et au niveau qualitatif par la topologie. C'est le concept de topologie que nous abordons dans cette unité.

Temps estimatif: 20 minutes

1.4.1. Les relations topologiques

Le concept de topologie, bien qu'il nous paraisse abstrait, se rapporte à une démarche courante de notre esprit pour appréhender la réalité. Notre perception visuelle est topologique !

Lorsque nous observons un paysage, un lieu, ou encore lorsque nous consultons une carte, un plan cadastral, notre perception immédiate est globale. Les objets tels que bâtiment, portion de forêt, une agglomération sont "vus" dans leur contexte. La notion de voisinage est implicite: *la rivière traverse l'agglomération, la parcelle de M. Dupont jouxte celle de M. Schmidt.*

Au sens de notre appréhension de l'espace géographique, la topologie est donc l'ensemble des relations perçues qui nous permettent de situer les objets les uns par rapport aux autres. Le "voisinage" est donc une notion spatiale "qu'est-ce qui est à côté de quoi?" Pour les réseaux, la question devient "qu'est-ce qui est connecté à?" La notion de topologie est un élément fondamental de l'analyse spatiale. Sans elle, il serait impossible d'extraire de la base de données des informations sur le voisinage d'une unité, sur les branchements d'un réseau hydrographique ou encore sur le sens d'écoulement de l'eau dans une rivière. La notion de topologie est également présente dans plusieurs disciplines.

Les mathématiques en donnent une définition rigoureuse "Propriétés des êtres géométriques subsistant après une déformation continue, et qui fait abstraction de la notion de distance". Elle est parfois appelée de manière raccourcie: une géométrie sans métrique. Pour les autres disciplines, le sens est plus large. En sciences humaines, la topologie signifie un arrangement, une configuration d'un groupe de notions et de leurs relations.



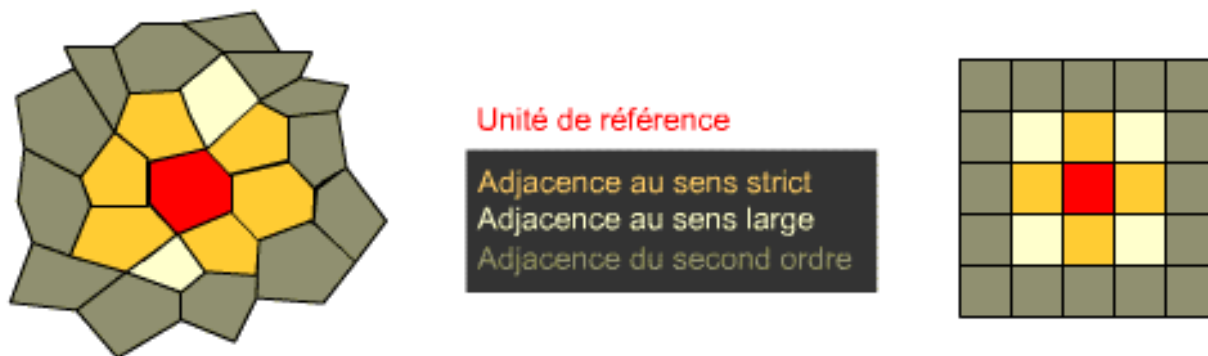
Les situations a, b et c de la figure sont équivalentes du point de vue topologique.

Dans le cadre des SIG, on fait appel à la topologie pour rendre compte de façon sommaire mais synthétique de la proximité entre les entités. Les relations topologiques exploitées dans ce contexte sont l'adjacence, la connectivité, l'inclusion et l'intersection.

1.4.2. L'adjacence

La notion d'adjacence (ou contiguïté) implique que les unités spatiales possèdent en commun un côté ou un sommet. On dénomme une adjacence au sens strict si seule une ligne frontière est commune, au sens large si au moins un sommet est commun comme l'illustre la figure. Elle répond à la question "Qu'est-ce qui est à côté de quoi?"

La topologie apporte cependant des nuances dans la notion d'adjacence. Dépourvue de métrique, elle prend en compte seulement l'ordre dans lequel des unités spatiales se rencontrent en s'éloignant de l'unité cible. L'adjacence est dite de 1er ordre si les deux entités sont en contact, de 2ème ordre si une entité s'intercale (figure) et ainsi de suite. L'ordre d'adjacence intervient, par exemple, dans les transports pour déterminer le nombre de transbordements nécessaires pour déplacer des biens ou des personnes d'un endroit à un autre.



1.4.3. La connectivité

La connectivité exprime l'adjacence pour des réseaux linéaires. Elle met en liaison les segments constitutifs du réseau. La connectivité peut être orientée. C'est le cas de la modélisation d'un réseau de distribution de fluides (gaz, eau, électricité), de biens ou de personnes. En revanche, un réseau routier est parcouru dans les deux sens. Les "Sens unique" sont les exceptions!

La connectivité est décrite au moyen de graphe et de matrice pour indiquer au moment de la conception du système qu'est-ce qui est relié à quoi. (Theriault 1994)

1.4.4. L'inclusion

Inclusion

L'inclusion se rencontre lorsqu'une unité spatiale est totalement située à l'intérieur d'une autre, telle une enclave ou un îlot, les départements ou provinces à l'intérieur d'un pays. En termes topologiques, il s'agit d'un cas particulier d'adjacence

1.4.5. L'intersection

L'intersection exprime le point ou la surface commune à deux entités.

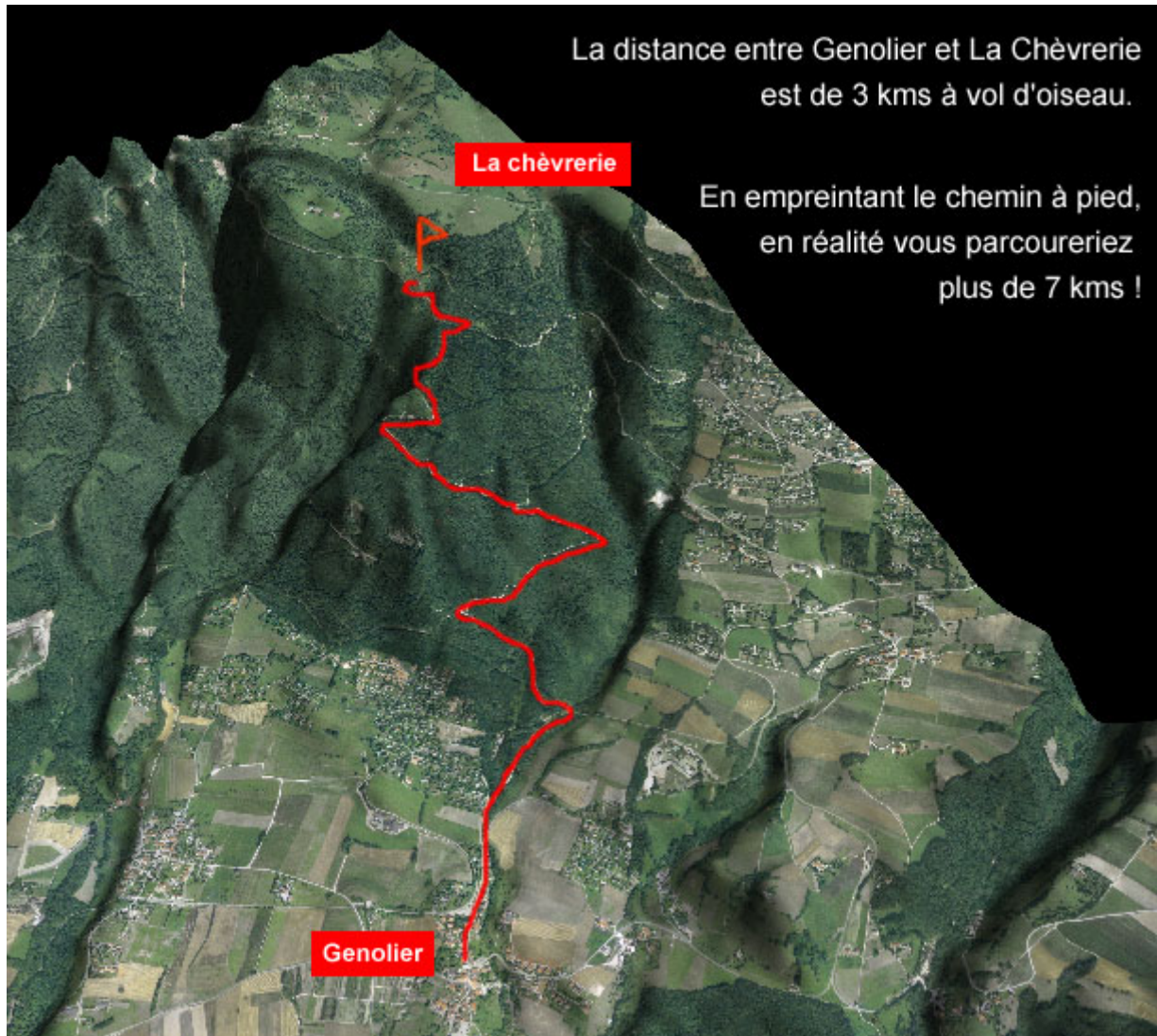
1.4.6. QCM

Faites le QCM suivant pour tester vos connaissances sur les relations topologiques

Seulement les images peuvent être représentées dans cette version! Flash, animation, son etc. sont visibles uniquement dans la version en ligne. [\[link\]](#)

1.5. Distance spatiale et propriétés du milieu

Notre modèle de la réalité spatiale ne doit pas seulement contenir la description des entités et de leurs propriétés thématiques, mais aussi des éléments régissant la dynamique spatiale, tels que les processus de diffusion, de déplacement ou de propagation. Nous avons vu que l'espace pouvait être considéré de manière simple dans sa dimension plane, ou encore avec la prise en compte de propriétés telles que l'altitude ou la nature du couvert à la surface du sol, ou encore de l'influence directionnelle de forces modératrices ou accélératrices. Bien que ce thème du mouvement dans l'espace fasse l'objet d'un développement relatif à l'exploitation, il nous semble judicieux de l'introduire ici en tant que concept fondamental de la modélisation de l'espace.



1.5.1. Dynamique de l'espace

L'espace peut être modélisé à des niveaux de complexité différents, selon les propriétés que l'on souhaite retenir, en fonction des finalités de la modélisation. Pour illustrer le crescendo de cette richesse, prenons l'exemple du promeneur qui se déplace dans l'espace. La vision la plus simple de l'espace est celle d'une surface plane et homogène. Le promeneur peut se déplacer dans n'importe quelle direction avec la même aisance, l'éloignement à sa destination ne sera fonction que de la distance euclidienne plane mesurée à son point de départ. Son trajet

correspondra ainsi à une ligne droite connectant ces deux lieux, il en exprimera aussi l'éloignement. L'espace est ici décrit comme une **surface plane et isotrope**. Elle est plane car la proximité est mesurée en terme de coordonnées dans le plan de projection ; elle est isotrope parce que les propriétés de l'espace, qui sont absentes donc homogènes, ne varient pas en fonction de la direction. Si cette vision de l'espace rend bien compte d'une situation dans laquelle le terrain est plat et dépourvu d'obstacles ou d'éléments modifiant le comportement et la trajectoire du marcheur, elle nous apparaît cependant limitée à la description de situations réelles courantes. Imaginons maintenant que notre promeneur se déplace dans un terrain toujours plat, mais dont la surface est composée d'éléments hétérogènes, tels que les différents couverts végétaux, minéraux et aquatiques que l'on trouve dans les paysages terrestres. On constate que l'éloignement et le trajet du marcheur seront influencés par ces éléments dits de friction. L'espace est différencié par des propriétés spécifiques et localisées, donc considéré comme hétérogène. Pour rendre compte de cette situation, l'espace doit être considéré comme une **surface gauche isotrope**; cette dernière caractéristique indiquant comme précédemment que ses propriétés ne sont pas directionnelles. On réalise que dans ce contexte, la distance euclidienne plane n'est plus apte à décrire l'éloignement entre deux points de l'espace. Il est nécessaire de faire appel à une autre unité de mesure telle que le temps de déplacement ou la quantité d'énergie nécessaire à ce mouvement; le concept utilisé est celui de la **distance pondérée**. Pour rendre compte de cette hétérogénéité à la surface du sol, il faut non seulement considérer les aspects géométriques des entités qui composent l'espace, mais aussi leurs propriétés. Un élément de la surface composé de forêt n'aura pas la même influence sur le déplacement qu'une entité marécageuse. Considérons ensuite ce promeneur se déplaçant dans un terrain accidenté. Aux effets de friction du couvert de la surface viennent s'ajouter ceux de la topographie. On imagine aisément que l'expression de l'éloignement entre deux lieux sera différente suivant le sens de la pente empruntée par le promeneur. La topographie agit comme une force gravitaire, fonction de la pente, qui influence sa démarche et certainement aussi sa trajectoire. A cette force est attachée une notion de direction, avec un contenu d'orientation, exprimant le sens du déplacement. Cette vision de l'espace comme une **surface gauche anisotrope**, permet aussi de rendre compte de l'influence d'autres phénomènes sur le comportement de notre promeneur, telle que celle du vent agissant comme un accélérateur ou un frein, ou de tout autre force extérieure pourvue d'une direction et d'une orientation.

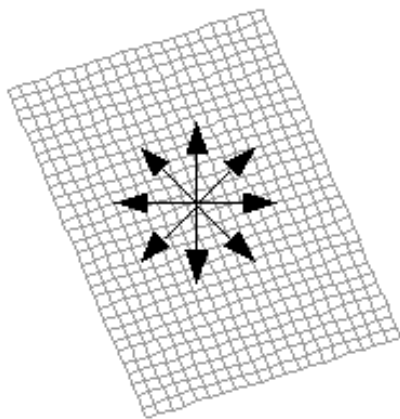
1.5.2. Les propriétés de l'espace

Nous venons d'introduire un certain nombre de notions et concepts que nous pouvons résumer et relier de la façon suivante:

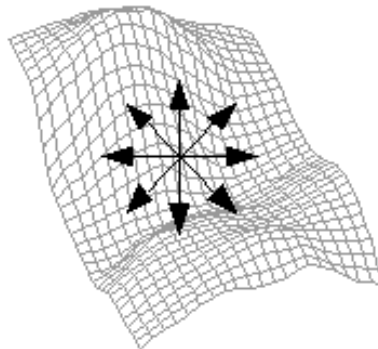
- Espace plan isotrope: surface homogène, distance euclidienne plane, trajet implicite.
- Espace gauche isotrope: surface hétérogène, distance pondérée, propriétés de friction non directionnelles, trajet rattaché à la notion de distance pondérée cumulée.
- Espace gauche anisotrope: surface hétérogène orientée, distance pondérée, propriétés de friction directionnelles, trajet rattaché à la notion de distance pondérée cumulée.

Ces 3 niveaux de modélisation de l'espace sont illustrés graphiquement ci-dessous. A tous les niveaux de ces modèles, c'est la distance qui est à la base de la mesure de la proximité, de l'éloignement, ou de l'accessibilité. Dans le modèle de friction et celui anisotrope, la distance euclidienne plane du premier niveau est simplement pondérée par les propriétés des entités positionnées dans l'espace. L'effet directionnel des propriétés de l'espace est exprimé par une variation de ces propriétés en fonction de l'orientation. Ainsi, l'effet de friction de l'attraction gravitaire à la montée d'une pente se transforme en une force dans le sens de la descente, ou se neutralise lorsqu'elle est parcourue transversalement. Nombre de processus spatiaux pourront être modélisés à l'aide de ces quelques notions. L'élément en mouvement peut posséder une force de déplacement propre, ou être mû par

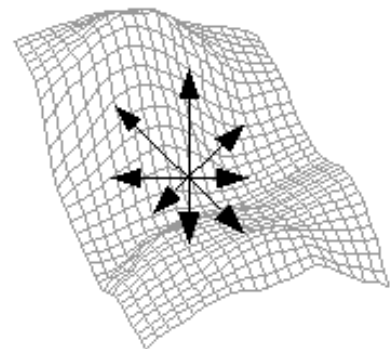
une force extérieure. Il faut garder à l'esprit que cette modélisation de l'espace terrestre vise à ramener à deux dimensions spatiales une réalité qui en contient trois. Cette troisième, dans notre exemple la topographie, est traduite en une composante thématique: les propriétés de friction.



Surface plane isotrope



Surface gauche isotrope

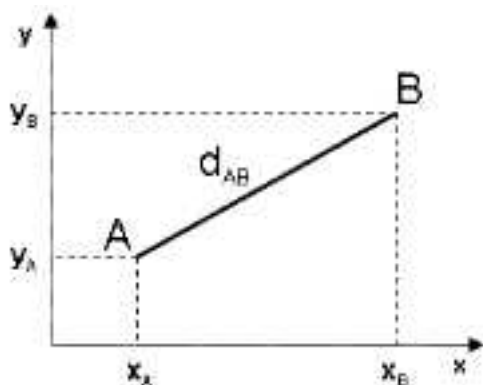


Surface gauche anisotrope

3 niveaux de modélisation des propriétés spatiales

1.5.3. Influence de la dynamique de l'espace sur la distance spatiale

La modélisation de la distance dépend directement du modèle de l'espace. En géométrie purement euclidienne, elle rend compte de la longueur en ligne droite séparant deux points. Elle se calcule selon les coordonnées des deux points comme l'illustrent la figure et l'équation ci-dessous.



$$d_{A,B} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

Si le parcours est contraint de suivre un réseau linéaire et que les segments qui le composent présentent des dépenses d'énergie diverses, en d'autres termes si les coefficients de friction varient d'une unité spatiale à l'autre (d'un segment à l'autre sur un réseau routier), on calcule sa distance pondérée exprimée par l'équation suivante:

$$d_{A,B} = \omega_i d_i$$

où ω_i est la friction accordée au segment i et d_i la longueur du segment i .

Le principe de calcul est le même dans le cas du marcheur libre de choisir son chemin. Le coefficient de friction devient un attribut de chaque maille. Le cours d'analyse spatiale expose deux problèmes illustrant ces notions: celui du marcheur et du voyageur de commerce.

1.6. Glossaire

Echelle:

L'échelle est le rapport entre la distance mesurée sur la carte et celle correspondant dans la réalité.

lambert:

Jean-Henri Lambert, 1728-1777, mathématicien français

UTM:

”Universal Transverse Mercator” (UTM); Gerhard Mercator, 1512-1594, mathématicien flamand

1.7. Bibliographie

- **Jonathan Iliffe**, 2000. *Datums and Map Projections for remote sensing, GIS and surveying..* CRC Press LLC Boca Raton, USA: Whittles Publishing.
- **M. Brabant**, 1980. *Topométrie opérationnelle*. Technique et Vulgarisation, Paris.
- **Theriault**, 1994.