






A la découverte de la Cartographie



Administration du
Cadastre et de
la Topographie

Sommaire

- 
- 
- Page 3 **Éléments de base de la cartographie**
Définition de la forme de la terre
- Page 4 Localisation d'un point sur la surface terrestre
- Page 6 Les systèmes géodésiques sur la carte
- 
- Page 9 **Production d'une carte**
Saisie des données
- Page 12 Représentation graphique
- Page 15 Mise à jour
- 
- Page 16 **Utilisation d'une carte**
Orienter une carte
- Page 17 L'étoile polaire
- Page 18 La carte et la boussole
- Page 19 Mesurer sur une carte
- Page 21 Le système GPS
- 
- Page 22 **Cartographie numérique**
La carte digitale
- Page 23 La base de données topographique

I M P R E S S U M

Edition: Administration du Cadastre et de la Topographique (ACT) en collaboration avec le Service Information et Presse (S.I.P.)
Rédaction: André Majerus, Liliane Reuter
Réalisation graphique: © BURTON Design
Impression: Imprimerie Offset Moselle
Sources photos: ACT, ONT



La présente brochure a été éditée à l'occasion de l'exposition «A la Découverte de la Cartographie» au Musée d'Histoire de la Ville de Luxembourg du 26.02 au 26.03.2000

© Origine ACT: Droits réservés à l'Etat du Grand-Duché de Luxembourg
Toute reproduction est autorisée sous réserve de l'indication de la source

Elements de base de la cartographie

Définition de la forme de la terre

Problème fondamental

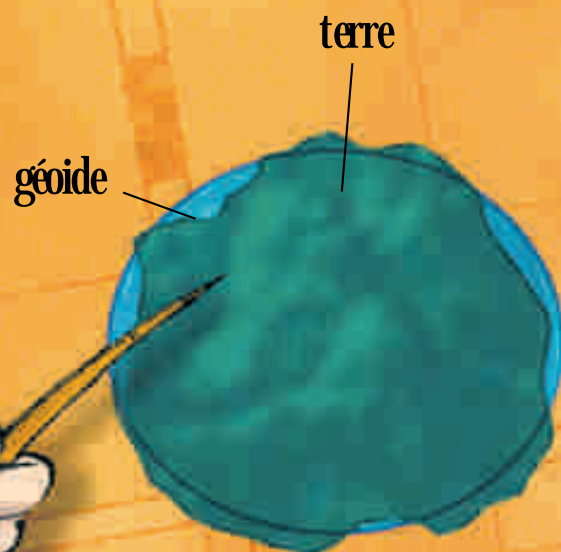
La terre est ronde, la carte est plate.
Comment peut-on représenter une partie de la forme sphérique irrégulière de la terre sur une planche de papier plane ?

Pour être à même de donner une description fiable d'un territoire et de localiser les objets dans l'espace, il est essentiel de connaître la forme exacte de la terre.



C'est l'objet de la géodésie (science de la terre) et des travaux cartographiques.

La géodésie est la science qui a pour objet la définition de la forme de la terre, la mesure de ses dimensions ainsi que l'établissement de cartes.



Forme de la terre

La forme mathématique la mieux adaptée pour représenter la terre est l'ellipsoïde. Une telle surface de référence «théorique» est indispensable pour exécuter les calculs nécessaires, si on veut localiser des objets topographiques à l'aide de mesures.

La figure physique qui représente le mieux la forme de la terre s'appelle «géοide». C'est la forme que prend le niveau moyen des mers, si on se l'imagine prolongé sous les continents.

Après la localisation de chaque point dans l'espace par mesures d'angles et de distances, des calculs des projections permettent de passer de la réalité en 3 dimensions vers la représentation plane.

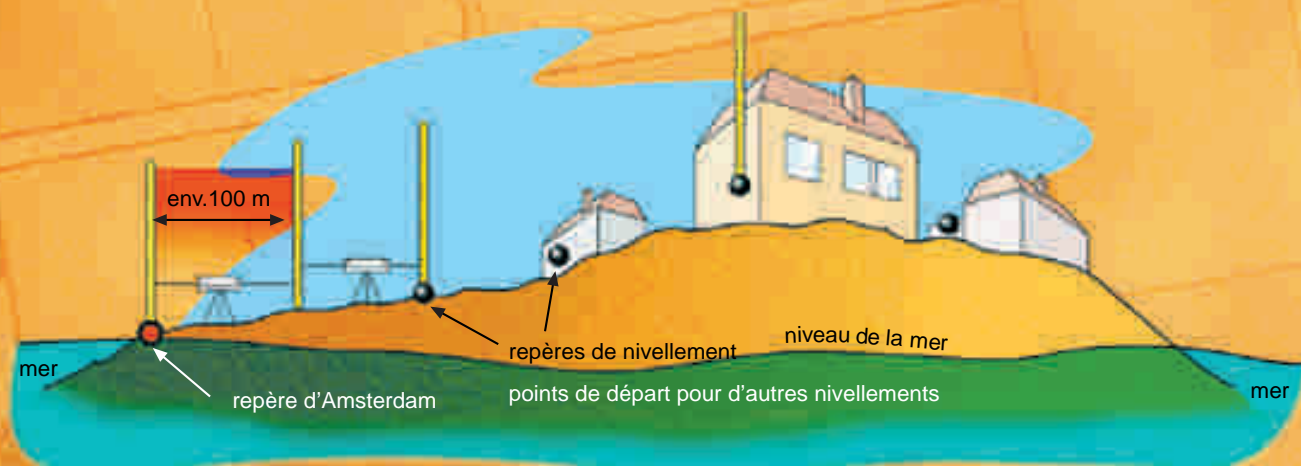
Elements de base de la cartographie

Localisation d'un point sur la surface terrestre

L'altimétrie ou la définition de la hauteur d'un point

La hauteur d'un point est exprimée par la différence de hauteur entre le point et une surface de référence (en général: le niveau de la mer).

La surface de référence pour les observations altimétriques est le géoïde. Les hauteurs luxembourgeoises sont calculées dans un système de référence dont l'origine est le zéro de l'échelle marémétrique du port d'Amsterdam (identique à celui de l'Allemagne). Différents pays peuvent avoir différents niveaux de référence.



BELGIQUE

Niveau moyen des basses mers à Ostende

différence Bel - Lux = 2,3 m

FRANCE

Niveau moyen de la mer à Marseille

différence Fra - Lux = 6 cm



La mesure des hauteurs appelée nivellement se fait par lignes, dont les points intermédiaires sont repérés à l'aide de chevilles implantées dans les façades d'immeubles.

L'ensemble de ces repères constitue le réseau de nivellement du Grand-Duché (NG).

Toutes les informations sur ces repères sont répertoriés auprès de l'Administration du Cadastre et de la Topographie.



Le réseau de nivellement du Grand-Duché (NG) a été révisé et densifié entre 1992 et 1995

Caractéristiques:

Distance totale des lignes nivelées	2058 km
Nombre de repères	3813
Erreur moyenne kilométrique (=Précision)	1.01 mm
nombre de stations de mesure	108013
temps d'observation pour toutes les mesures	3642,51 heures



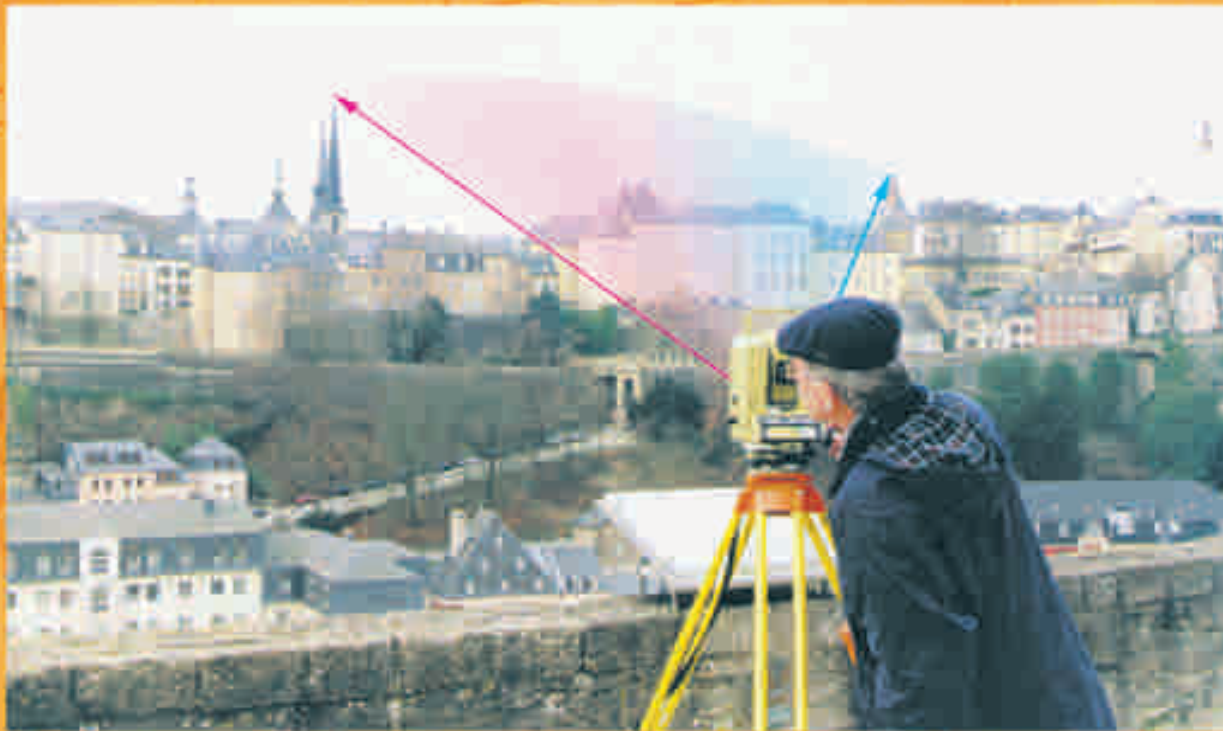
Éléments de base de la cartographie

Les coordonnées planes d'un point

La localisation exacte des objets topographiques dans l'espace se fait à l'aide de coordonnées.

Ces coordonnées sont calculées au centimètre près à l'aide de triangles, dont on a mesuré les angles et les distances avec des tachéomètres. (voir photo)→

Pour orienter leurs observations, les géomètres ont déterminées les coordonnées des clochers ou châteaux d'eau, qui représentent des repères bien visibles de loin.



Observation à l'aide d'un tachéomètre.

L'Administration du Cadastre et de la Topographie gère le réseau de base géodésique.

Ceci se compose de quelques 4000 points qui sont matérialisés, outre les clochers, et châteaux d'eau par des bornes en pierre.



Un point matérialisé par une borne en pierre.



Le système de positionnement par satellites GPS permet aujourd'hui la détermination rapide et précise des coordonnées (voir page 21)

Elements de base de la cartographie

Les systèmes géodésiques sur la carte

Pour pouvoir confectionner une carte ou un plan à partir des données mesurées, on calcule une projection mathématique. Le système de coordonnées luxembourgeois est basé sur une projection cylindrique reposant sur les principes inventés par MERCATOR au XVIème siècle et affinées par le savant allemand Carl Friedrich Gauss.

Les systèmes de coordonnées

Toute carte topographique présente les informations sur les différents systèmes de coordonnées, qui permettent de définir la position d'un point.



Coordonnées rectilignes X (nord) et Y (est):
Ces coordonnées sont issues de la projection Gauss-Luxembourg, et sont exprimées en km.

Coordonnées géographiques
La latitude et la longitude sont exprimées en degrés, minutes, secondes et se rapportent au méridien de Greenwich ainsi qu'à l'équateur. Elles sont définies à partir d'un ellipsoïde de référence.

Origine de la projection (situé près de Stegen):

coordonnées géographiques	coordonnées rectilignes
longitude: 6°10' Est de Greenwich	Est (Y) = 80 000 m
latitude: 49°50' Nord de l'équateur	Nord (X) = 100 000 m

Il existe une multitude de systèmes géodésiques, chacun au mieux adapté à la surface terrestre concernée.

Un système important est le WGS84, qui est la base du système GPS. Comme il est particulièrement intéressant

pour les utilisateurs de récepteurs GPS de connaître les paramètres de conversion entre le système luxembourgeois et le WGS84, ces informations sont également indiquées dans le cadre de la carte topographique.

Transformation du système national au système WGS84	
↳ WGS = X + 51	↳ WGS = Y + 43
Transformation du système national au système EUREF84	
↳ EUREF84 = X - 51	↳ EUREF84 = Y + 216

Elements de base de la cartographie

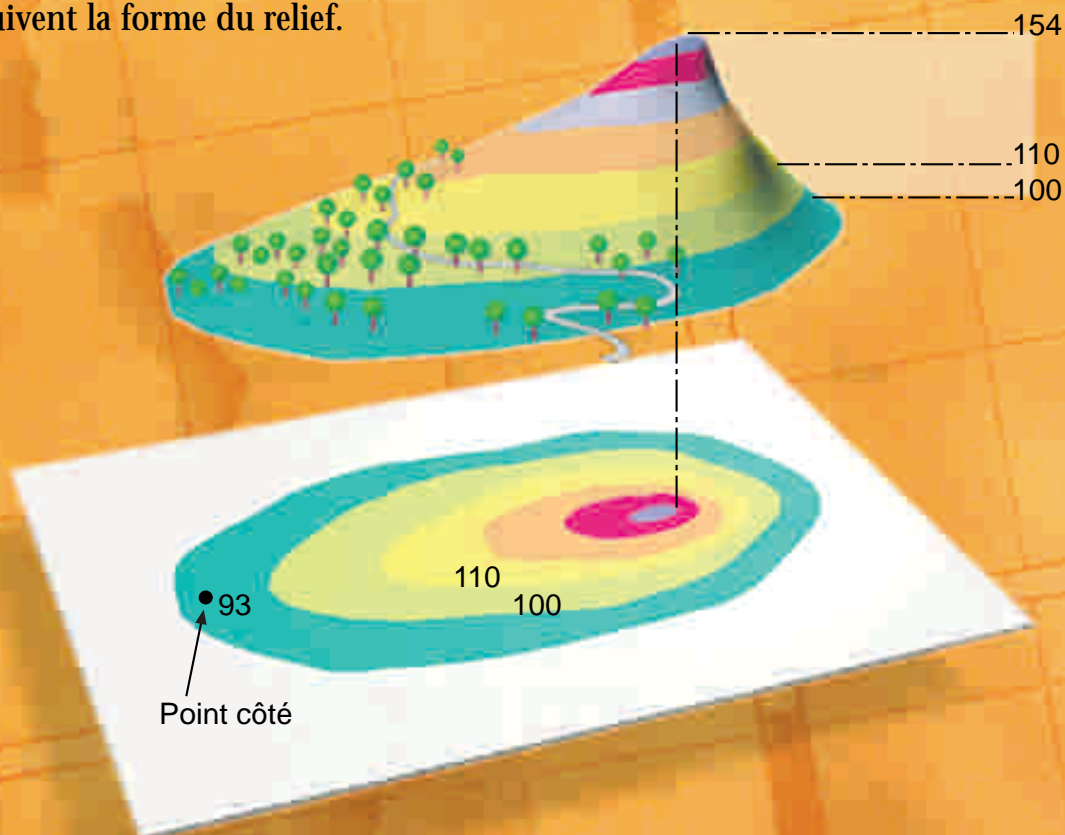
Les courbes de niveau

Le relief de la terre est représenté sur une carte plane par des courbes de niveau et des points côtés.

La courbe de niveau est une ligne qui passe par les points de terrain situés à la même altitude.



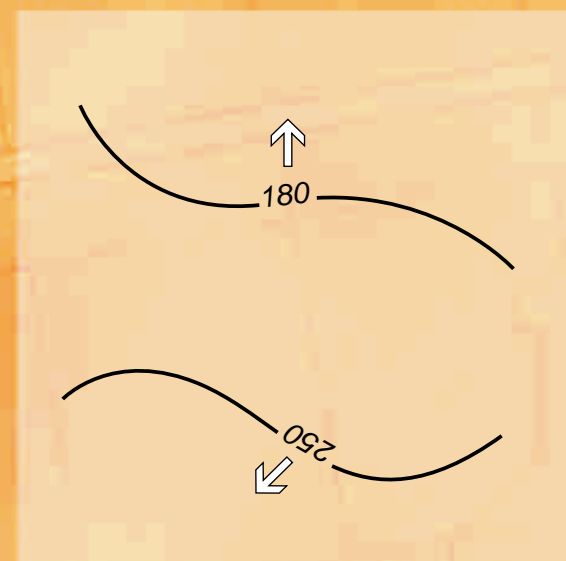
Si l'on représente une colline coupée en plaques horizontales d'épaisseur égale, les contours de ces plaques - vue du dessus - dessinent les courbes de niveau, qui suivent la forme du relief.

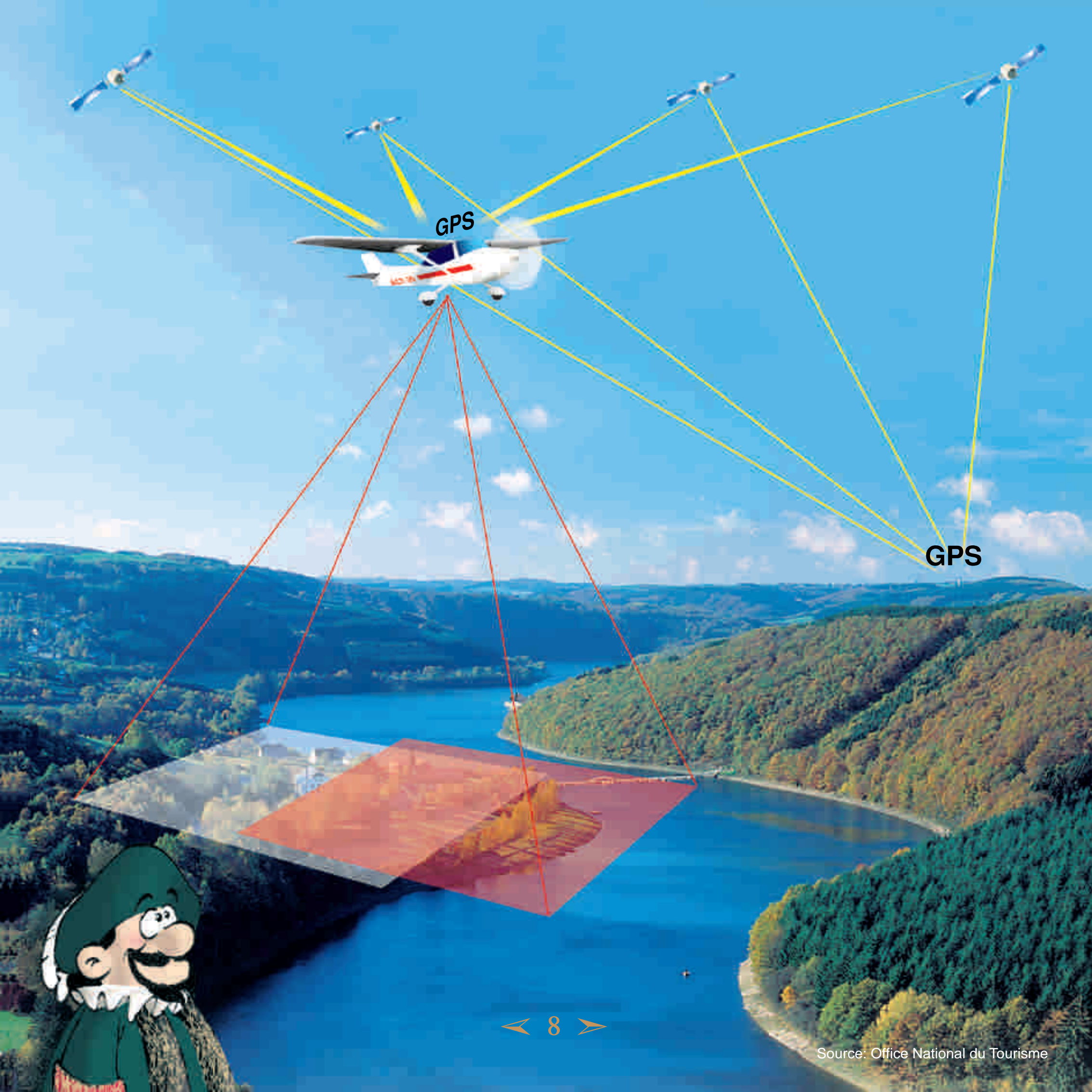


La disposition des courbes de niveau sur la carte renseigne sur la forme du relief:

- ✗ Si les flancs d'une colline sont plus raides, les courbes de niveau sont plus rapprochées.
- ✗ Une pente plus douce est représentée par des lignes plus espacées.
- ✗ La distance entre les courbes de niveau est définie par une différence de niveau fixe et est choisie en fonction de l'échelle de la carte.
- ✗ Le point coté est un point bien défini pour lequel la hauteur au-dessus du niveau de référence est indiquée.

La valeur des hauteurs d'une courbe est inscrite sur la courbe de niveau. L'orientation des chiffres renseigne sur la direction de la pente. Les chiffres sont toujours orientés en amont.





GPS

GPS

Production d'une carte

Saisie des données

La photogrammétrie

La photogrammétrie est une technique cartographique, qui permet de "mesurer" tous les éléments visibles à partir de photos aériennes du territoire.

A partir d'un avion équipé d'une caméra spéciale, des photos aériennes sont prises à intervalles très courts, de manière à ce que 2 photos successives se couvrent à 60% en direction du survol. Grâce au principe de la stéréoscopie, on peut mesurer et restituer tous les éléments situés à l'intérieur des 60% de couverture à partir d'un couple de photos aériennes.

- Le format des photos fait usuellement 23 x 23 cm.
- La hauteur du survol dépend de l'échelle de la carte qu'on veut produire.

Aujourd'hui les avions de photogrammétrie sont équipés du système GPS (voir page 21). Ceci permet de définir avec haute précision sa position lors de chaque déclenchement de la caméra.



Une relation entre la terre et la photo aérienne est établie par la signalisation des points connus sur le terrain. Ces points peuvent être détectés sur la photo, ce qui permet de calculer tous les points de la photo dans le système de coordonnées souhaité. ➔



Point signalisé.

Production d'une carte

La restitution

Pour rétablir le relief tridimensionnel à partir des photos aériennes, le cartographe se sert d'un don naturel de l'homme: la faculté de voir en 3 dimensions.

Stéréoscopie:

En raison du léger écart entre les deux yeux humains, ceux-ci captent des images légèrement décalées l'une de l'autre. Ces deux images se confondent dans l'esprit de l'homme en une seule image tridimensionnelle.

Lors de la restitution photogrammétrique, les photos aériennes sont installées par couples dans un appareil restituteur.

Des dispositifs optiques permettent d'associer ainsi à chaque œil de l'observateur une image distincte.

Grâce à l'écart ainsi rétabli entre les deux photos aériennes, il est possible de rendre visible les variations de hauteur du relief photographié.

Les restituteurs complexes permettent de rétablir un modèle du relief et de saisir numériquement tous les éléments visibles pour les stocker dans une banque de données.



La restitution représente une phase importante dans la chaîne de production d'une carte:

ses principaux défis sont:

- la saisie de tous les éléments prévus
- l'interprétation correcte des objets saisis
- la garantie de la précision géométrique exigée

Production d'une carte

Le complètement

La restitution à partir des photos aériennes permet de générer une première image de la carte.

La photo aérienne ne peut toutefois livrer toutes les données nécessaires à la réalisation d'une carte actuelle, complète et informative. Le résultat de la restitution doit donc être contrôlé et complété par des informations à caractère descriptif, nominatif et administratif, dont:

- la nature d'un bâtiment (agricole, commerciale, industrielle)
- ses attributs (école, mairie, réservoir..).
- les noms des rues et les toponymes (lieux-dit, lieux habités).
- les limites administratives et autres.

Toute restitution doit être contrôlée et complétée sur le terrain



Être complètement dedans...



Production d'une carte

Représentation graphique

L'échelle

L'échelle d'une carte exprime le rapport de réduction entre la réalité et la représentation sur la carte.

On parle de grande échelle (1/5000), si on dispose d'une grande surface pour représenter une partie définie du territoire.

Une carte à grande échelle permet de représenter beaucoup de détails, tandis qu'une carte à petite échelle nous donne un meilleur aperçu général sur toute une région.

Echelle 1/20 000

1 cm sur la carte = 20 000 cm en réalité
= 200 m en réalité



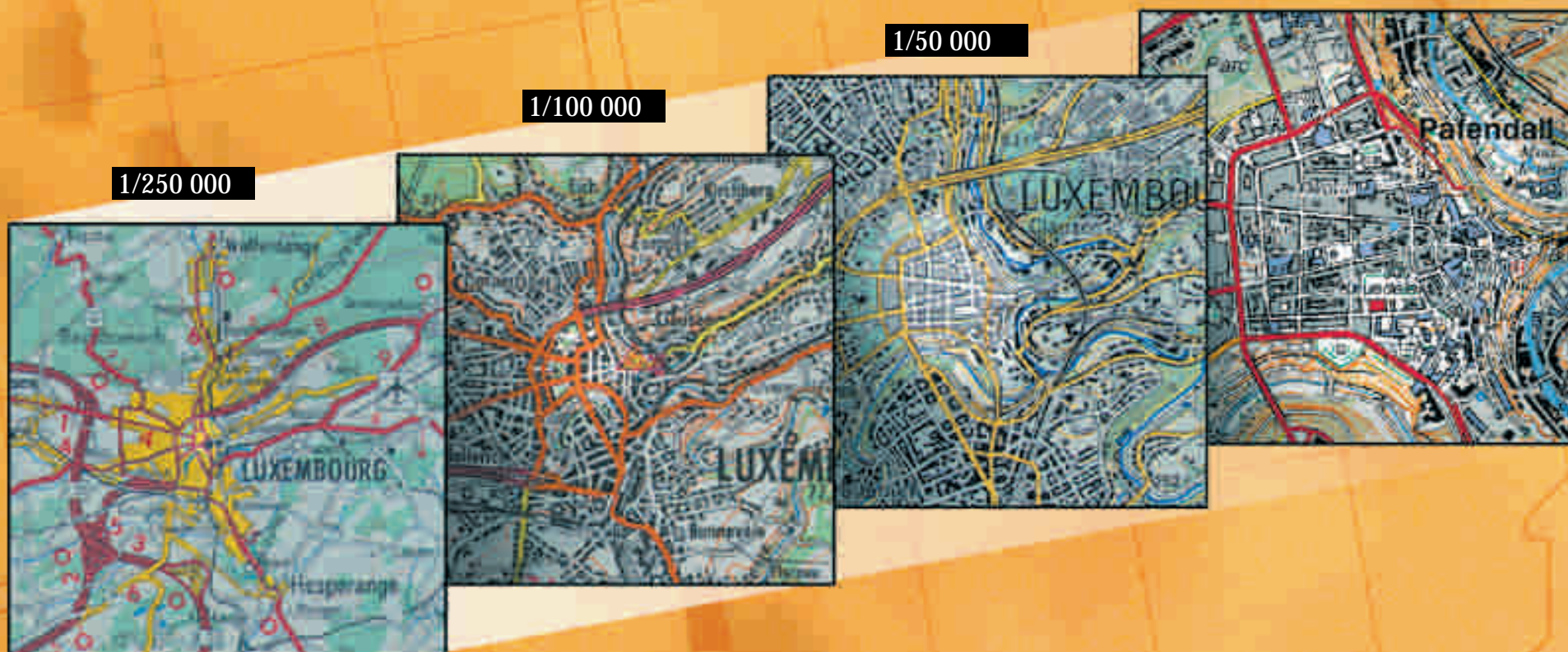
Ainsi différentes applications nécessitent des cartes à différentes échelles:
l'échelle 1/20 000: pour des études détaillées et des localisations de sites ponctuels
l'échelle 1/50 000: pour les amateurs de randonnées pédestres et équestres
l'échelle 1/100 000: sous forme de carte routière avec aperçu général sur une région
l'échelle 1/250 000: pour les représentations thématiques ou transfrontalières

1/20 000

1/50 000

1/100 000

1/250 000



Production d'une carte

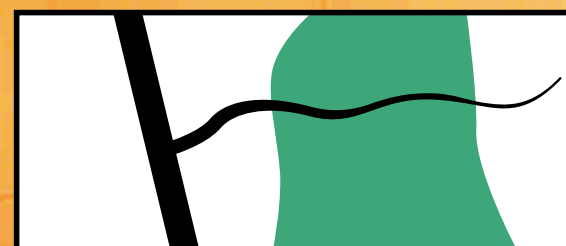
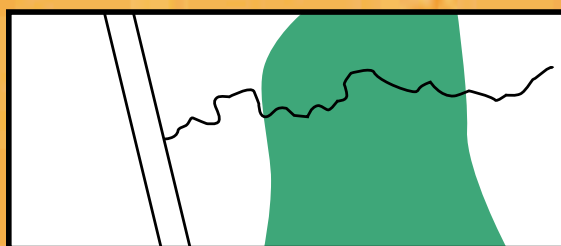
La généralisation

Sur une carte à petite échelle, il est impossible de représenter tous les objets dans des proportions réelles sans perdre la lisibilité.

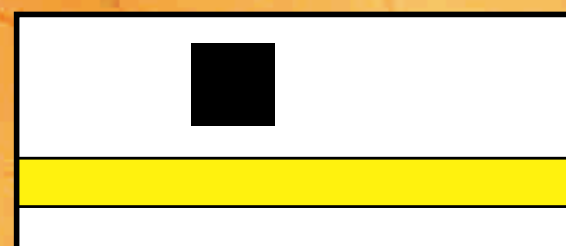
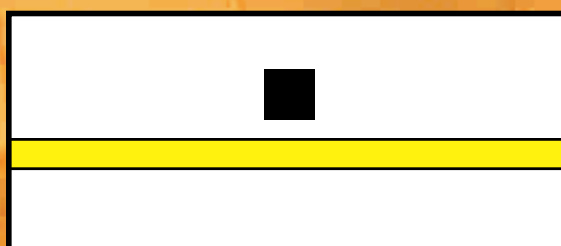
Généraliser une carte veut dire:

- 1 simplifier (tracé d'un cours d'eau, d'une route...)
- 2 agrandir et déplacer, (en élargissant une route, les bâtiments sont décalés)
- 3 regrouper (les maisons individuelles sont regroupés en blocs bâtis)
- 4 supprimer (dans chaque catégorie les objets moins importants ne sont plus représentés)

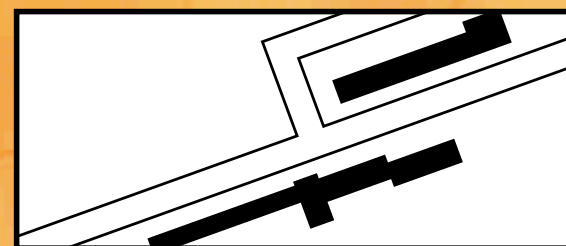
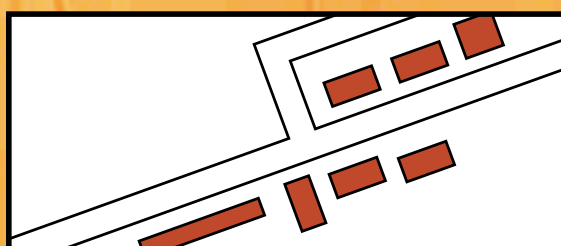
1



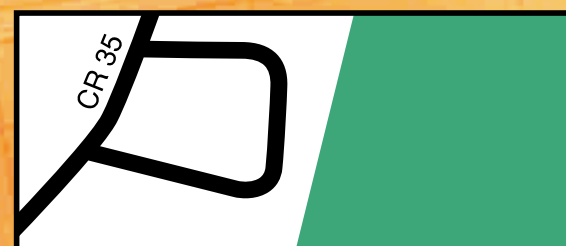
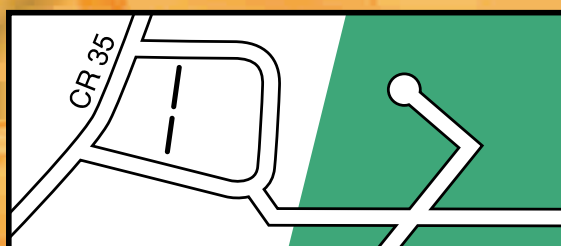
2



3



4



Production d'une carte

La carte topographique est une représentation aussi fidèle que possible de la réalité. Pour y arriver, le cartographe transforme les informations en une image cartographique lisible et compréhensible. Ses instruments sont des symboles, des signatures, des couleurs et des textes.

La légende

Les éléments graphiques utilisés dans la carte sont regroupés et expliqués dans la légende de la carte.



Le choix des symboles et des couleurs est guidé par le principe de rapprocher au mieux la représentation graphique à la réalité:

Utilisation /du bleu pour les cours d'eau
du vert pour la végétation
de symboles pour les
campings, les sport... ❶

Différents objets d'une même catégorie sont représentés par différentes couleurs (suivant leur utilisation) ❷

Les symboles et pictogrammes permettent d'enrichir la carte par des informations descriptives ou thématiques. ❸

L'ajout de toponymes ainsi que la variation des types d'écritures permet de différencier les objets suivant leur importance. ❹

La bonne lisibilité de la carte résulte d'une combinaison adéquate des outils cartographiques.

Production d'une carte

La mise à jour

La carte topographique est un document historique.

Elle représente un instantané d'une région au moment de la prise de vue photogrammétrique.

Une analyse de différentes éditions d'une carte permet de retracer en détail l'évolution tant spatiale qu'économique du territoire.

L'atout majeur de toute carte est son actualité.

Vu la complexité et la durée de la production, les cartes ne peuvent être mises à jour que périodiquement.

Des révisions partielles sont éditées en moyenne tous les 5 à 7 ans, une réédition complète est réalisée tous les 7 à 10 ans.

Les informations sur la date et la forme de la mise à jour de l'édition sont indiquées dans la légende de la carte.



Le sort de toute carte topographique est d'être rapidement dépassé par la réalité. Toutefois, l'intégration de projets en cours permet de maintenir un certain degré d'actualité



extrait 1990



extrait 1999



Utilisation d'une carte

Orienter une carte

Avant d'utiliser une carte sur le terrain, il faut l'orienter.

Orienter une carte signifie faire correspondre sa position aux réalités du terrain.

Pour y arriver, il faut placer les lignes de la carte parallèlement aux lignes correspondantes du terrain.

On fait donc coïncider le Nord de la carte avec le Nord du terrain.

Le NORD de la carte est donnée par les écritures: il est en haut quand les noms sont dans le sens de la lecture.

Pour trouver le NORD sur le terrain, on peut envisager différents cas:

❶ Si on se trouve sur un alignement bien définie (une route vers un village), on fait tourner la carte jusqu'à ce que le tracé de la route sur la carte coïncide avec l'alignement de la route en réalité.

❷ Si on se trouve sur un point connu, et si dans une certaine distance on peut définir un point de repère bien défini, on relie les deux points sur la carte et on fait de nouveau coïncider la ligne sur la carte avec la direction sur le terrain.

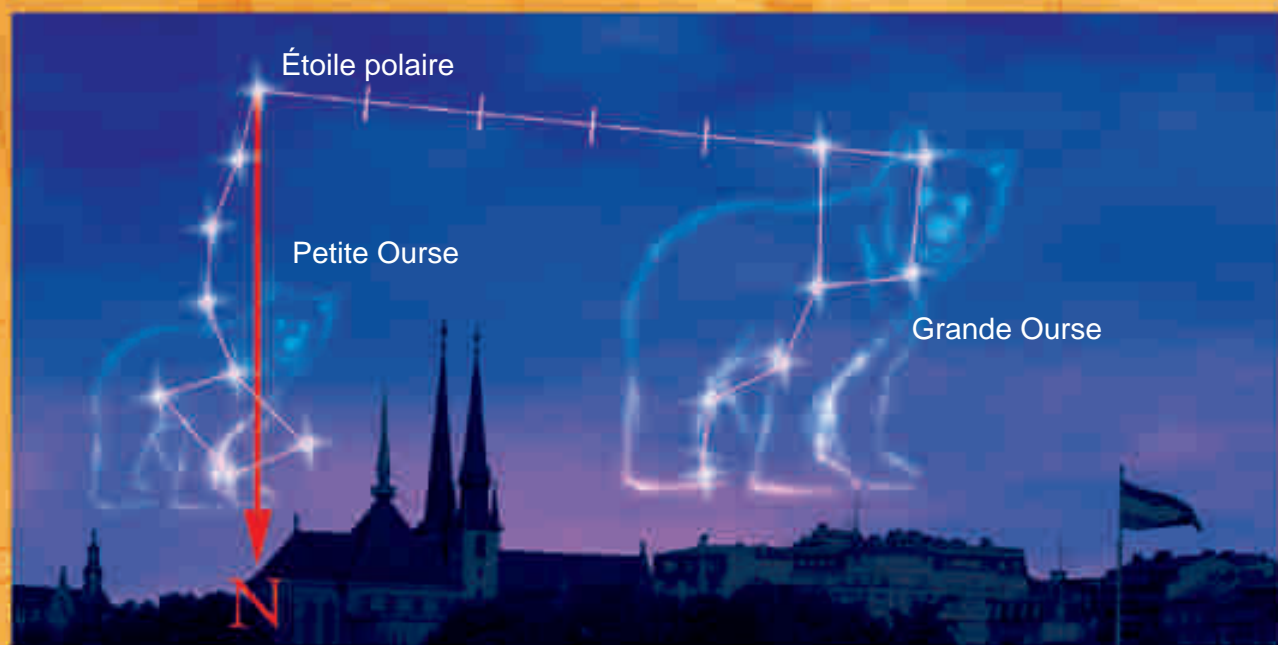
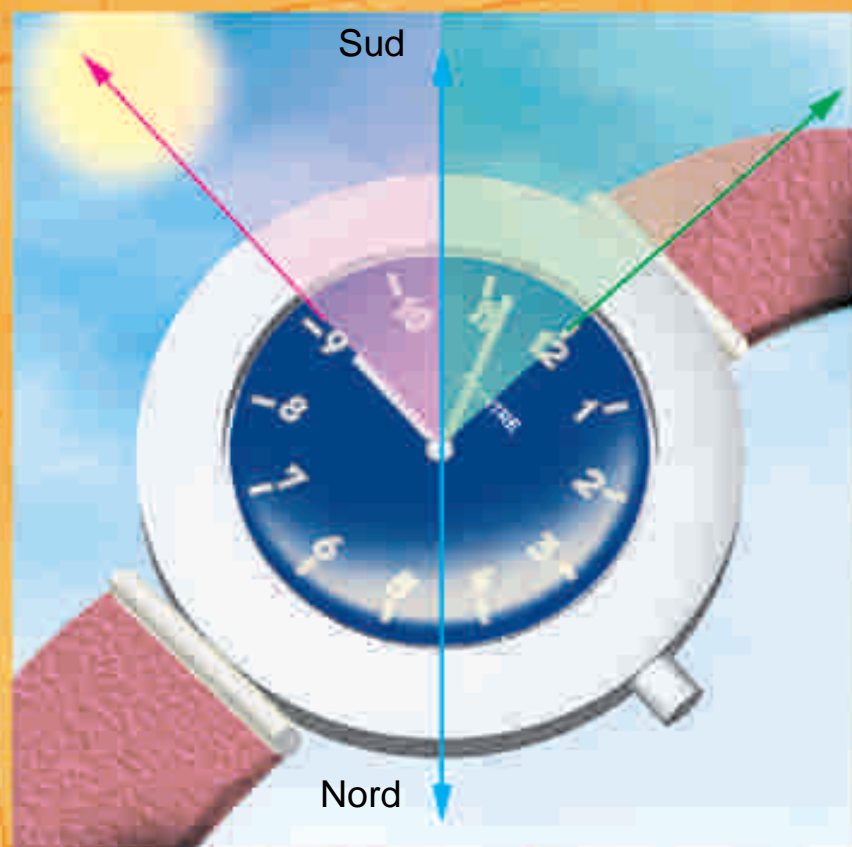
Un deuxième point de repère permet d'ailleurs de vérifier la position.



Utilisation d'une carte

- ③ Si on est situé sur un point inconnu et qu'on ne trouve pas de point de repère, la montre permet de retrouver le Nord à l'aide de la position du soleil et de l'heure solaire:

Avec la montre en position horizontale on vise le soleil avec la petite aiguille de la montre. La bissectrice (=direction qui passe par le milieu) de l'angle formé par la petite aiguille et le 12 est dirigée vers le Sud; la direction opposée montre donc vers le Nord.



L'étoile polaire

En une nuit claire et étoilée il est possible de s'orienter à l'aide de l'Étoile polaire

Il faut repérer la constellation de la Grande Ourse.

Du fait que cette formation ressemble à un chariot, elle est appelée aussi Grand Chariot.

En prolongeant 5 fois son extrémité, on tombe sur l'Étoile polaire.

Cette étoile donne la direction du Nord.

Utilisation d'une carte

La carte et la boussole

Toute boussole ordinaire permet d'orienter une carte d'une manière précise.

La boussole montre le Nord magnétique, qui diffère légèrement du Nord géographique.

Cette différence, appelée déclinaison magnétique, est indiquée dans la légende de la carte topographique.

Etant très faible, elle peut toutefois être négligée dans le cadre d'orientation d'une carte.

Marche à suivre

- ❶ Faire coïncider la marque "N" (Nord) du cadran Est avec l'index;
- ❷ poser la boussole sur la carte avec son cadre le long d'une ligne de coordonnées Nord-Sud (l'index de direction de la boussole montre vers le haut de la carte):
- ❸ Tourner la carte ensemble avec la boussole jusqu'à ce que l'aiguille de la boussole coïncide avec l'index.

La carte est orientée et on voit le paysage dans la même position que la représentation sur la carte

Conseils pratiques d'orientation

- ☞ Le soleil ne se trouve jamais au Nord.
En général la corse des arbres solitaires est couverte de mousse sur leur côté Nord-Ouest.
- ☞ Les antennes paraboliques de télévision sont généralement orientés vers le Sud.
- ☞ Pour toute ballade ou randonnée dans une région non familière, il est vivement conseillé d'emmener une carte de la région qui permet de localiser le chemin emprunté.



Utilisation d'une carte

Mesurer sur une carte

La carte topographique a le grand avantage de permettre la mesure des éléments représentés et de les transposer dans la nature. Les mesures sont d'autant plus exactes que l'échelle est grande, c'est à dire que les éléments représentés sont grands.

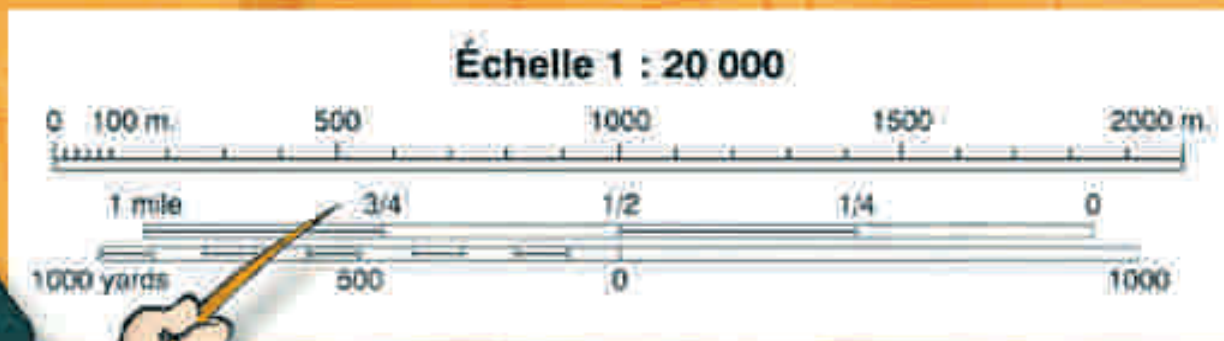
Les distances

Une carte représente un plan horizontal. Une distance mesurée sur la carte est donc aussi une **distance horizontale**.

En nature, il faut tenir compte des **dénivellés du terrain**.

Un trajet entre deux points sur le terrain est donc plus long que sa représentation sur la carte.

Lors de la préparation sur une carte d'un trajet entre deux repères fixes, on doit donc prendre en considération que le chemin est en réalité plus long et peut être plus fatiguant dû aux dénivellés du terrain.



Avec une règle ordinaire on mesure la distance voulue et on la multiplie avec le facteur de l'échelle.

Exemple pour l'échelle 1/20 000:
5 cm sur la carte x 20 000 = 100 000 cm = 1000 m en réalité.

Si on ne dispose pas de règle, on définit la distance sur la carte avec un bout de papier et on le compare avec la règle dessinée dans la légende de la carte.

Utilisation d'une carte

La pente

A partir des courbes de niveau et des points cotés sur la carte, on peut définir la pente d'un chemin ou d'une colline.

La pente est la relation entre la distance et la différence de hauteurs entre 2 points, exprimée en pourcentage

On calcule la pente à partir de 2 points bien définis.

Hauteur du point A: 284 m

Hauteur du point B: 298 m



1. Mesurer la distance entre A et B: 680 m
2. Différence de hauteur entre A et B: 14 m
3. Pente: $\frac{14 \times 100}{680} = 2\%$



Utilisation d'une carte

Le système GPS

Le GPS (Global Positioning System) est un système américain des satellites, qui permet le positionnement à tout moment en presque tout point de la terre.

24 satellites sont positionnés sur des orbites terrestres à une altitude de 20 000 km et émettent des signaux, qui sont captés par les récepteurs des utilisateurs du système.

Les signaux captés par le récepteur sont transformés et calculés en coordonnées tridimensionnelles dans le système mondial WGS84.

Pour déterminer sa position exacte sur une carte, l'utilisateur doit transformer les coordonnées WGS84 du récepteur dans le système national du pays où il se trouve.

En ce qui concerne le Grand-Duché, les formules de transformation entre le système WGS84 et le système de coordonnées luxembourgeois sont disponibles auprès de l'Administration du Cadastre et de la Topographie.

Elles peuvent aussi être consultées sur Internet:

<http://www.etat.lu/ACT>



Cartographie numérique

La carte digitale

Pour pouvoir utiliser les cartes traditionnelles, appelées aussi cartes analogues, dans le cadre d'applications informatiques, il faut les transformer en cartes digitales.

Une carte digitale peut se présenter sous deux formes:

la carte raster et la carte vecteur.

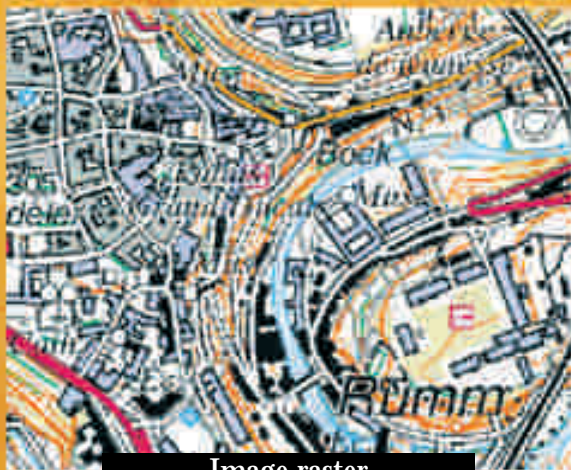
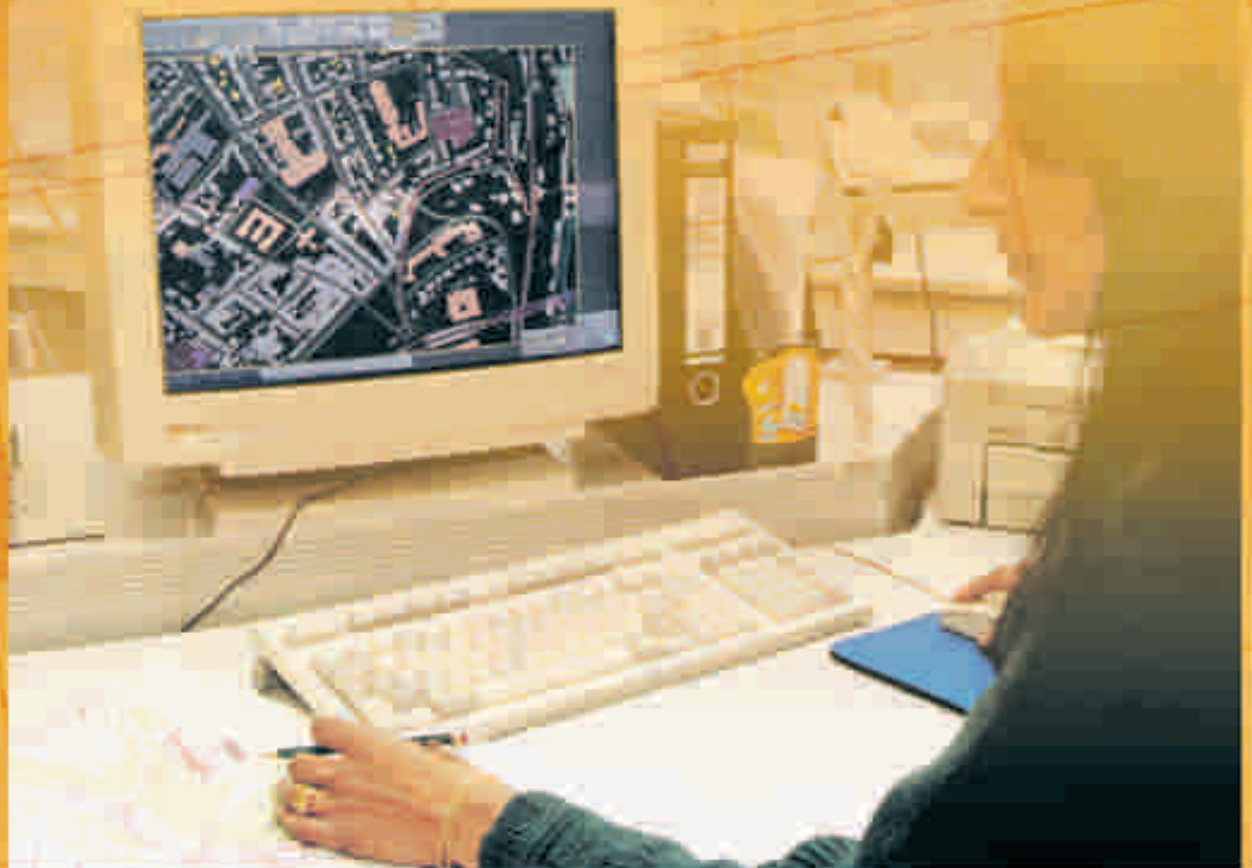


Image raster

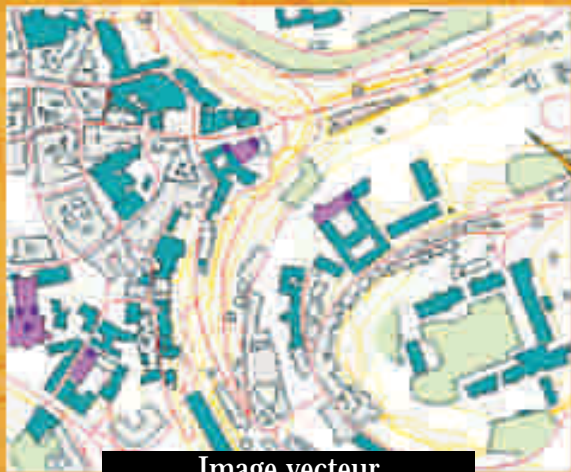


Image vecteur

La carte raster:
Par le procédé de scannage, la carte est transformée en une multitude de points singuliers, appelés pixels. Ces points sont stockés sous forme de valeurs numériques avec une information codée sur la couleur du point.

ces données est très limitée du fait que les données ne sont pas structurées. D'autre part, ce format génère généralement des fichiers de taille importante.

La procédure de scannage est rapide et peu couteuse et la représentation à l'échelle de scannage est très précise. En revanche, l'utilisation de

La carte vecteur:
Dans le mode vecteur, la géométrie de l'image de la carte est décrite par les éléments: point, ligne et surface. A chacun de ces éléments peut être associé une ou plusieurs informations (ligne=route, surface=bois). A partir de ces éléments et leurs attributs on peut faire des sélections selon des critères multiples. On parle aussi de cartes intelligentes

Cartographie numérique

La base de données topographique

Disponible jusqu'à présent sous forme de cartes et plans, l'information géographique se présente désormais sous forme de base de données informatiques, qui permettent des échanges de données plus efficaces, ainsi qu'une exploitation et une mise à jour beaucoup plus rationnelles.

Le mot clef dans le domaine de la cartographie est:
SIG - Système d'Information Géographique

SIG = Système d'Information Géographique: ensemble de données, repérées dans l'espace, structurée de façon à pouvoir en extraire des synthèses, utiles à la décision.

Un SIG est donc censé être beaucoup plus performant qu'une carte traditionnelle.

On attend de lui qu'il donne une réponse à de nombreuses questions à la fois:

- Où se trouve quel objet ?
- Pourquoi ?
- Quel est sa relation avec un autre objet ?
- A quel moment est intervenu un changement ?

Pour trouver ces réponses, les SIG sont structurés, c'est-à-dire les données sont organisées dans différentes couches. Le logiciel adéquat permet alors d'établir des relations entre les différentes couches et de trouver les réponses souhaitées.

Depuis 1994, l'Administration du Cadastre et de la Topographie a mis en place une base de données topographique en collaboration avec l'Institut Géographique National France (IGN-F)

Cette base est subdivisée en 10 thèmes:

- ① Routes et chemins
- ② Voies ferrées et lignes électriques
- ③ Cours d'eaux, bassins, étangs
- ④ Bâtiments et constructions diverses
- ⑤ Végétation
- ⑥ Orographie (talus, etc.)
- ⑦ Altimétrie
- ⑧ Limites administratives
- ⑨ Points géodésiques
- ⑩ Toponymie (noms)



Toutefois, même si les SIG représentent l'instrument géographique du futur, les cartes topographiques classiques resteront un outil fiable et irremplaçable dans les années à venir.

LA CARTE TOPOGRAPHIQUE À L'ÉCHELLE 1/20 000

SÉRIE TC

Le Luxembourg
en 21 feuilles

