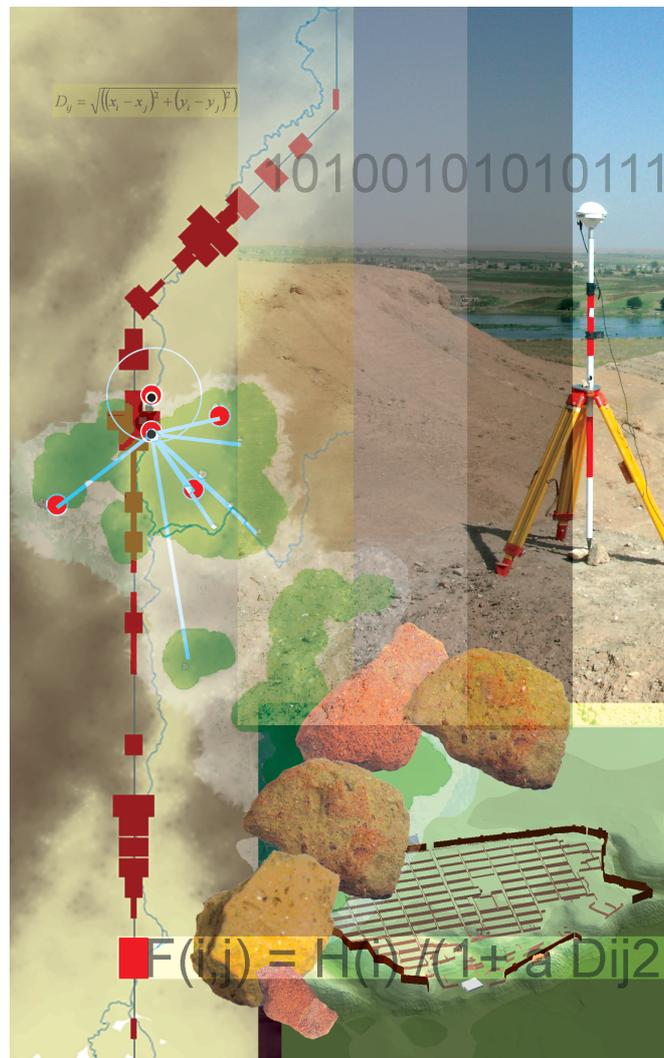


Géomatique, Analyse & Modélisation Spatiale en Archéologie

Réseau **ISA**
Information Spatiale et Archéologie
<http://www.univ-tours.fr/isa>

du 12 au 17 septembre 2005
à Messigny et Vantoux (Côte d'Or)

Support de cours - Géoréférencement, redressement de photos obliques (O. Barge, L. Saligny)

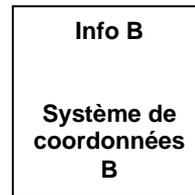
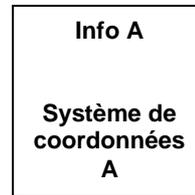


Redressement de photos obliques, géoréférencement

Olivier Barge, Laure Saligny

Intérêt du géoréférencement

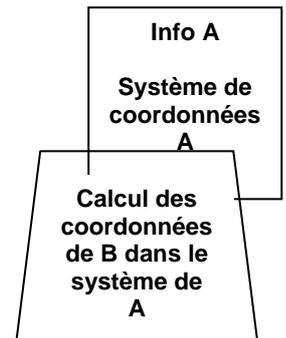
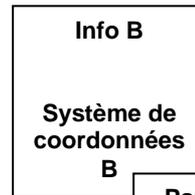
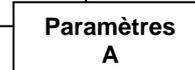
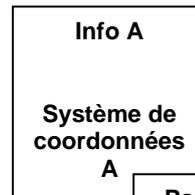
Deux couches d'information ne sont pas superposables si elles sont issues de deux systèmes de coordonnées différents, même si elles concernent le même espace géographique.



2 systèmes indépendants :
Superposition impossible

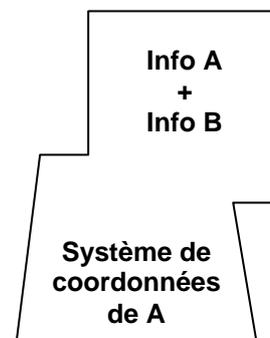
Dés lors que l'on connaît les paramètres des systèmes de coordonnées utilisés, les logiciels de SIG permettent :

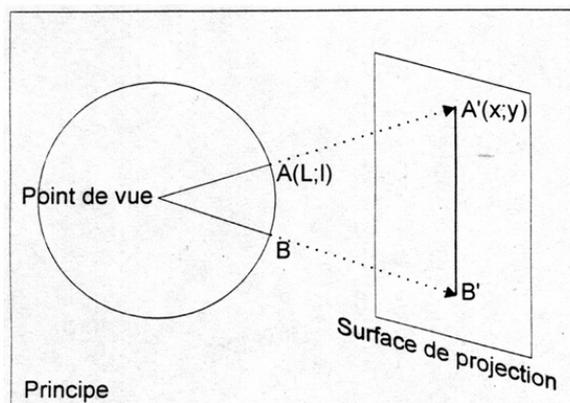
- o de positionner les informations à la surface de la terre,
- o de transformer les coordonnées d'une couche d'information d'un système vers un autre.



Des informations d'origines diverses peuvent alors être affichées conjointement dans un système de coordonnées commun.

Les projections

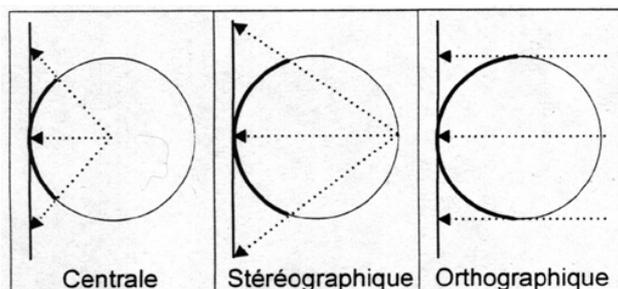




Coordonnées géographiques

Coordonnées cartographiques

Une projection est une transformation géométrique qui permet de passer des coordonnées géographiques (latitude, longitude exprimées en degrés) aux coordonnées cartographiques (planes, exprimées en mètres).



	Cylindrique	Azimutale	Conique
tangente			
sécante			

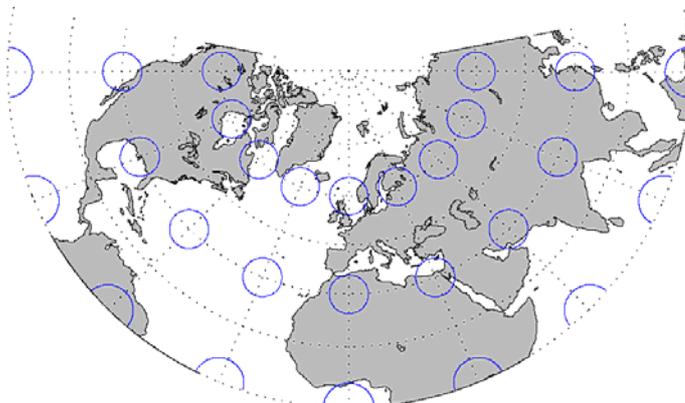
Il existe de très nombreuses projections en fonction du type, de la surface développable et de sa position par rapport à l'ellipsoïde.

Les projections présentent nécessairement des déformations par rapport au terrain, puisque l'on passe d'une sphère (en réalité d'un ellipsoïde) à un plan. Certaines ont la propriété de conserver les angles (au détriment des surfaces) ; On dit quelle sont conformes. D'autres ont la propriété de conserver les surfaces (au détriment des angles) ; On dit quelle sont équivalentes. Enfin, d'autres ne conservent ni les angles, ni les surfaces, mais établissent un compromis (par exemple, projection de Eckert IV).

L'indicatrice de Tissot est une manière de se représenter les déformations : un cercle au centre de la projection est représenté selon la déformation (en taille et en forme) induite par la projection en différents lieux. Si la forme circulaire est conservée, la projection est conforme, si la surface du cercle est conservée, la projection est équivalente.

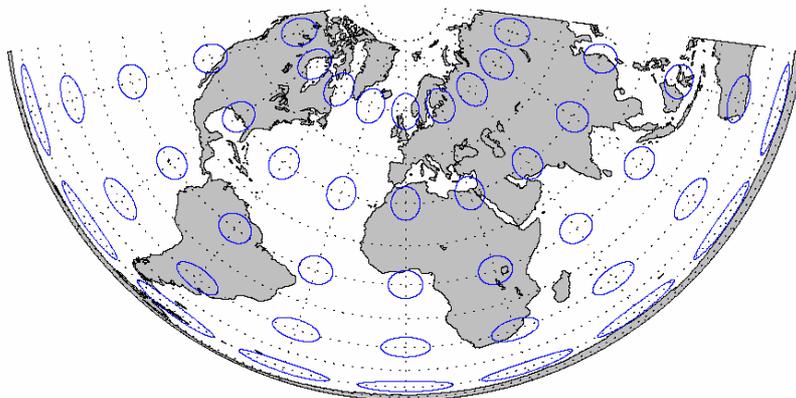
On trouvera en annexe un tableau récapitulatif des propriétés et des usages des projections.

Quelques exemples de projections :



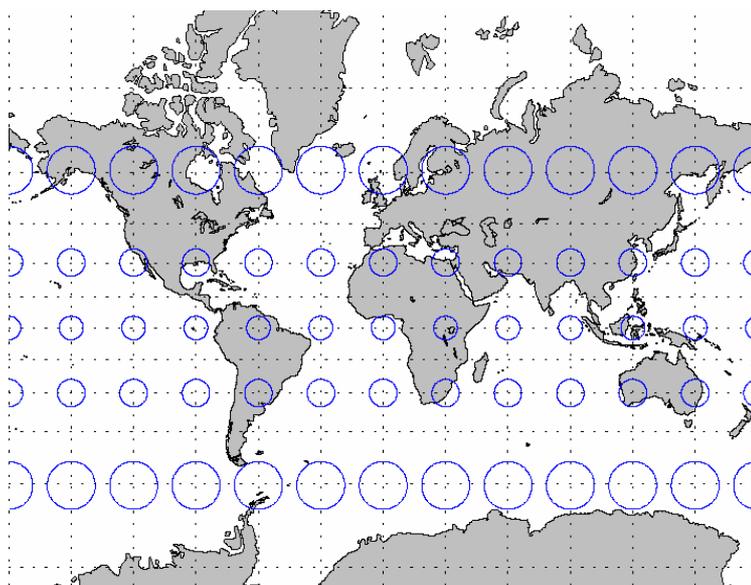
P.Sillard, IGN 2000

La projection conique conforme de Lambert



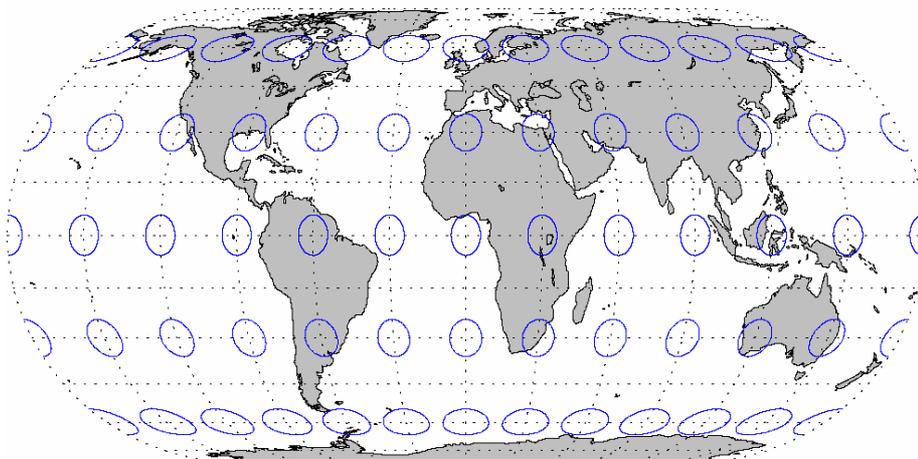
P.Sillard, IGN 2000

La projection de Albers (équivalente)



P.Sillard, IGN 2000

La projection de Mercator (conforme)



P.Sillard, IGN 2000

La projection de Eckert IV

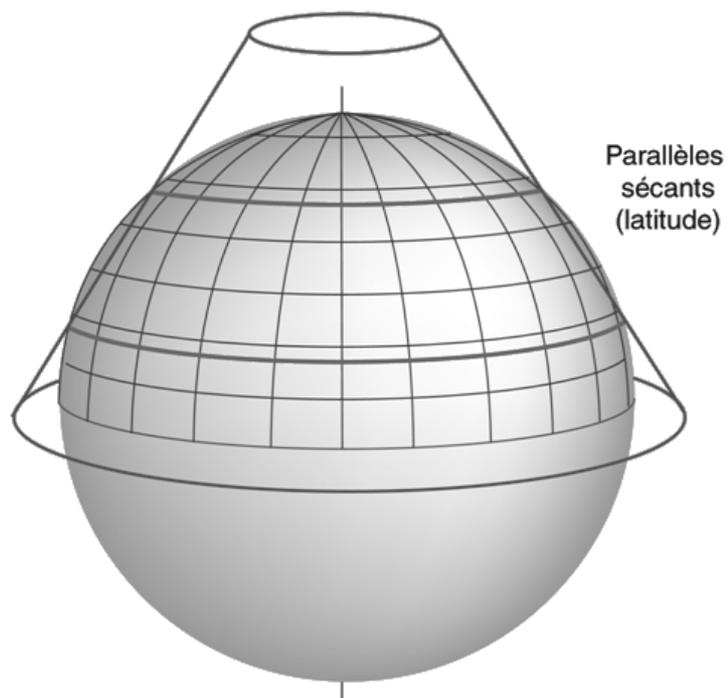
Description d'un système de coordonnées dans les SIG

A titre d'exemple, voici la définition d'une projection Lambert conforme conique dans IDRISI

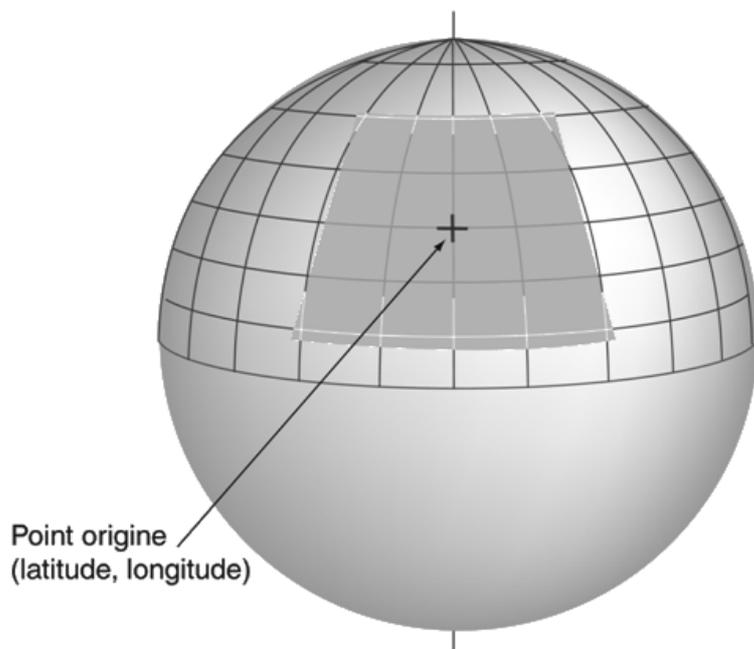
Dans IDRISI, chaque projection est décrite dans un fichier .ref, que l'on peut éditer pour décrire sa propre projection.

```
ref. system : California State Plane Coordinate System Zone IV (I1)
projection  : Lambert Conformal Conic (I2)
datum      : NAD27 (I3)
delta WGS84 : -8 160 176 (I4)
ellipsoid   : Clark 1866 (I5)
major s-ax  : 6378206.4 (I6)
minor s-ax  : 6356583.8 (I7)
origin long : -119.00000000 (I8)
origin lat  : 35.3333333333 (I9)
origin X    : 2000000 (I10)
origin Y    : 0 (I11)
scale fac   : na (I12)
units       : ft (I1)
parameters : 2 (I13)
stand In 1  : 36.00000000 (I14)
stand In 2  : 37.25000000 (I15)
```

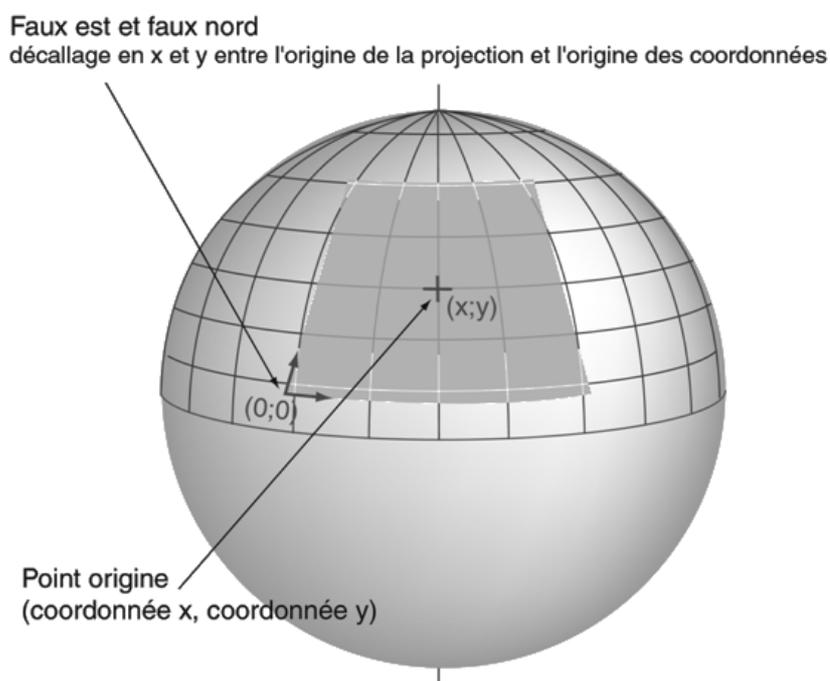
Exemple d'un fichier .ref



La projection est d'abord décrite par la latitude des parallèles sécants (lignes 13, 14 et 15)



On indique ensuite les coordonnées géographiques (en degrés décimaux) du centre de la projection (lignes 8 et 9).



On indique l'origine du système de coordonnées. Généralement, il est situé loin à l'ouest et au sud de la zone concernée, de manière à éviter les coordonnées négatives. On inscrit (ligne 10 et 11) les coordonnées cartographiques du centre de la projection dans ce système : c'est ce que l'on appelle le faux est et le faux nord.

Le système de coordonnées est souvent appelé improprement projection. En fait, il comprend la projection et le datum.

Le datum contient les éléments de géodésie du système de coordonnées. La surface de la terre qui est projetée sur la carte est assimilée à un ellipsoïde qui est défini par son demi grand axe et son demi petit axe : c'est une simplification, la surface de niveau 0, appelée géoïde est en réalité bosselée. Historiquement, chaque pays a défini son (ses) propre(s) système(s) de référence adapté(s) à la zone à cartographier, à partir d'ellipsoïdes qui n'étaient pas parfaitement géocentriques. Ces derniers sont apparus avec les techniques spatiales (GRS80 ou WGS84 par exemple) ; les SIG gèrent directement ces systèmes mais permettent d'utiliser d'autres systèmes, connaissant le décalage entre le centre de la terre et le centre de l'ellipsoïde utilisé.

Dans le fichier d'IDRISI, on indique la taille de l'ellipsoïde par son demi petit axe et son demi grand axe (lignes 6 et 7). On renseigne sa position par l'écart que fait son centre avec le centre de l'ellipsoïde de référence WGS84, en x, y et z (ligne 4).

Le plus souvent, il suffit d'indiquer le système de coordonnées de la carte avec laquelle on travaille, car les systèmes de coordonnées couramment utilisés sont implémentés dans les logiciels.

ArcGis (ArcView, ArcInfo) gère les systèmes de coordonnées à partir des informations stockées dans des fichiers (.prj) analogues à ceux d'IDRISI. Il est également possible de définir des systèmes personnalisés.

Dans MapInfo, tous les systèmes de coordonnées (appelés projections !) sont décrits dans le fichier MapInfo.prj, chacun par une ligne. On peut également définir son propre système en ajoutant une ligne dans ce fichier texte. Il faut indiquer à la suite (dans un ordre précis) les paramètres vus ci-dessus, certains obéissant à une codification propre à MapInfo (voir manuel de l'utilisateur).

Dans ErMapper, on indique le datum et la projection des documents utilisés, mais il est impossible de créer un système personnalisé.

Références :

La documentation des logiciels consacre toujours un chapitre sur les systèmes de coordonnées ; il décrit la manière dont le logiciel les gère, mais on trouve souvent un exposé théorique sur la question. Par exemple :

M. Kennedy, S. Kopp, 2000, ArcGIS 8, Understanding Map Projections, 110 p.

J.R. Eastman, 1999, IDRISI 32, Guide to GIS and image processing, volume 1, p.p. 149, 162

J.R. Eastman, 1995, traduit par C. Collet, IDRISI, Un SIG en mode image, p.p. 2-23, 2-36

On trouvera aussi une documentation importante sur le web, et notamment à :

http://www.ensg.ign.fr/Formation/Formation_Continue/Formation_interne/Supports_de_cours/PDF/Math.pdf/projections.pdf

Notions préliminaires au redressement et au géoréférencement

Les types de photographies aériennes :

- *en fonction de l'angle d'observation :*

- o Les verticales : elles sont les meilleures pour une bonne lecture, la cartographie et l'interprétation. Elles autorisent les mesures : distances, dimensions, hauteurs et relief (par vision stéréoscopique). L'axe optique est perpendiculaire au sol.
- o Les obliques : leur avantage est de présenter une plus grande superficie que les clichés verticaux pour une même altitude. Elles sont déconseillées pour les mesures.
- o Les panoramiques : l'horizon est apparent sur le cliché. La vue est identique à celle prise à partir d'un poste d'observation. Comme pour les obliques, elles sont déconseillées pour les mesures. Par contre, les traitements type redressement réalisables sur les obliques sont impossibles avec ces dernières.

- *en fonction des types d'émulsion :*

Le choix de l'émulsion se fait en fonction du but recherché, puisque certaines surfaces au sols réagissent différemment selon le spectre lumineux.

- La photo panchromatique : c'est la plus courante. Les teintes vont du blanc au noir.
- La photo couleur : peut-être considérée comme la plus intéressante pour la photo-interprétation (plus de détails et davantage de distinction entre les formes/objets)
- L'infrarouge en noir et blanc : il faut faire attention, certains la confondent avec un négatif. Elle est créée à partir d'un filtre de prise de vues pour arrêter les ultras-violet et la lumière visible (spectre visible). Elle est très utile pour étudier les surfaces végétales, les surfaces humides et en eau.
- L'infrarouge couleur ou fausse couleur : il faut faire attention puisque les couleurs ne correspondent pas à la réalité visible. Elle associe les avantages de la couleur et de l'infrarouge en noir et blanc.



Photo panchromatique



Photo infrarouge noir et blanc

blanc

(extrait

: <http://pse.ensg.ign.fr/sommques.php3?>)

Définition d'une image :

Une image n'est pas une photographie. Cette dernière est en format papier alors qu'une image est au format numérique.

Une image est une matrice de pixels. Elle est définie par le nombre de pixels en ligne et en colonne. Chaque pixel est codé en fonction de l'information de la grandeur physique enregistrée.

Les prétraitements des images :

Il s'agit d'opérations effectuées sur les images (satellitaires ou aériennes) avant traitement (photo-interprétation, intégration dans un SIG, calcul d'indices, classifications, etc... cf. télédétection pour ces deux dernières notions).

Ces prétraitements pour les images aériennes correspondent aux corrections géométriques que l'on nomme redressement et géoréférencement.

- Le redressement consiste à rectifier une image oblique pour obtenir en sortie une image verticale corrigée de toutes ou la plupart des déformations inhérentes à la prise de vue (angle, mouvement de plateforme type roulis, etc.) et aux distorsions causées par l'environnement (courbure de la terre dans le cas des images à petites échelles, variation d'altitude au sol, etc.)
- Le géoréférencement consiste à appliquer un système de coordonnées à ces images afin de les mettre à l'échelle (dans un système donné). Ces images doivent être naturellement redressées au préalable.

Selon les logiciels utilisés, certains ne feront que le géorefèrencement (Géoreflmage _ extension pour ArcView ,ou MapInfo) d'autres le redressement, et les derniers feront les deux soit simultanément (ArcGis, ERMapper), soit en deux temps distincts (AirPhoto).

La succession d'étapes est identique pour le redressement ou le géorèfèrencement. La différence se fera selon les modèles de déformation (cf. ci-après) utilisés / implémentés dans les logiciels.

Cette méthode commune est appelée : la méthode polynomiale par prise de points d'appui. Il s'agit de retrouver pour tout point d'une image sa nouvelle position dans un système de référence.

- 1^{ère} étape : Repérer les points d'appui communs appelés aussi points de calage ou points d'amer, à l'image à corriger et la source de référence.

Cette source de référence peut être un ensemble de points connus (point GPS), une carte, un cadastre, ou une autre image déjà corrigée, etc.

Attention ces points doivent être répartis uniformément autour de l'image ou au moins autour de la zone à rectifier.



- 2^{ème} étape : Calculer la relation entre les points de calage de la source et de la référence et appliquer le polynôme de déformation*.

Plus la déformation est importante, plus le modèle de déformation* est élevé, et plus le nombre de points d'amer est important.

* *Les modèles de transformation, appelés aussi polynômes de déformation ou transformations polynomiales* sont à choisir lors du processus.

Il en existe trois :

- *Transformation ou polynôme du 1^{er} ordre* : il s'agit d'une transformation simple, linéaire (concerne les translations, les rotations, etc.). = Géorèfèrencement. 3 ou 4 points sont généralement nécessaires.

- *Transformation ou polynôme du 2^{ème} ordre* : elle concerne les modifications géométriques = Redressement d'images. Elle emploie 6 à 7 points d'amer.

- *Transformation du 3^{ème} ordre* : elle concerne aussi les modifications géométriques = redressement d'images avec dénivelé important ou corrections nombreuses. Elle emploie entre 10 à 15 points d'amer et nécessite selon les logiciels l'utilisation de MNT.

Il est nécessaire avant l'emploi d'un logiciel de bien lire la notice jointe. Ces transformations peuvent être nommées différemment, certaines peuvent exister, d'autres pas et enfin, certaines peuvent être décomposées en « sous-types ». Les notices permettent ainsi de savoir à quelles types de corrections et à quelles types d'images correspondent les transformations proposées.

Dans *AirPhoto*, par exemple, les transformations proposées sont de 4 sortes adaptées à des types d'images (aériennes petites/grandes échelle, satellitaires) et au type de dénivelé du terrain visible sur l'image. La première serait du « 1^{er} ordre et demi » puisqu'elle permet de géoréférencer et de redresser des images avec peu de déformations sur terrains plats. Les deuxième et troisième sont du deuxième ordre (pour les images à petites échelles et/ou à fort dénivelé). Et la dernière du 3^{ème} ordre oblige de connaître les paramètres de prise de vues (angle, focal, etc.) et d'utiliser un MNT.

- 3^{ème} Etape : Interpréter l'Erreur Quadripartite Moyenne (EQM) ou Root Mean Square (RMS).

Après avoir choisi le polynôme de déformation, le logiciel va calculer une moyenne (EQM ou RMS) permettant de juger de la qualité de la correction. Ce coefficient représente l'écart moyen entre les coordonnées souhaitées d'un point et ses coordonnées calculées par la correction. Ce coefficient se mesure mathématiquement par la comparaison de l'emplacement réel de la coordonnée géographique à la position transformée dans l'image.

La distance entre deux points est appelée erreur résiduelle. Ainsi chaque point d'amer va avoir sa propre RMS (moyenne des erreurs résiduels) et la RMS totale est calculée à partir des différentes RMS.

La RMS s'exprime en unité de l'unité de référence. Si cette dernière n'est pas projetée, la RMS sera en pixel.

La RMS totale décrit l'homogénéité de la transformation entre les différents points de calage. Mais attention, une valeur estimée correcte peut cacher des erreurs significatives pour un point.

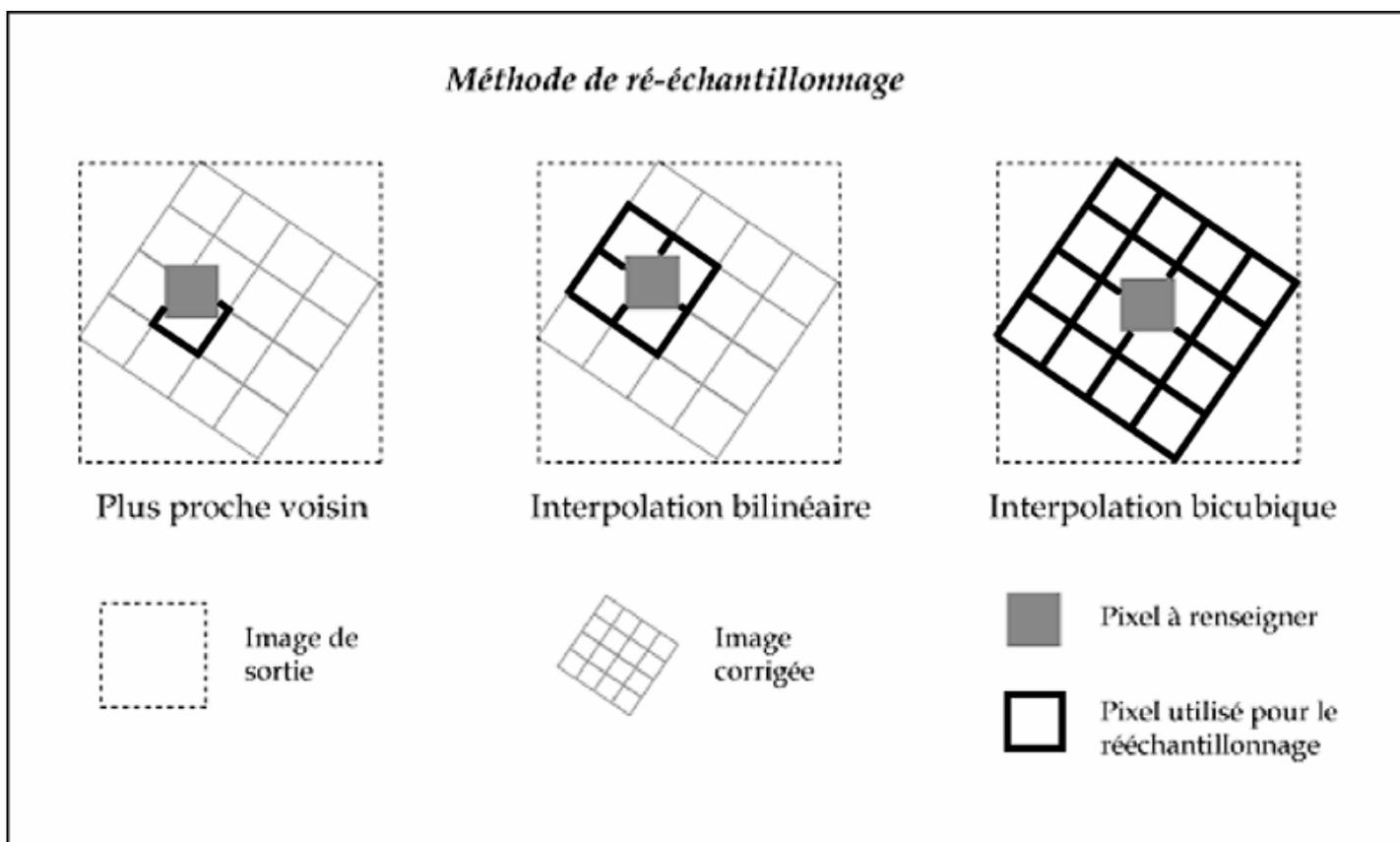
- 4^{ème} étape : Création d'une nouvelle image en sortie. Le ré-échantillonnage

Après les déformations subies par l'image, la matrice de pixel résultante ne correspondant plus à la matrice d'origine, il est nécessaire de réaffecter une valeur à chaque pixel la plus proche possible du pixel d'origine. Pour cela on utilise des *algorithmes de reventilation ou techniques de ré-échantillonnage*.

Il existe 3 techniques :

- *Le plus proche voisin* : à chaque pixel de la nouvelle image est affecté la valeur du pixel le plus proche dans l'ancienne image. Cette méthode est rapide mais provoque un effet de marches d'escalier sur les diagonales. Elle convient aux données catégoriques ou thématiques.
- *L'interpolation bilinéaire* : elle affecte à chaque pixel de la nouvelle image la valeur des 4 plus proche voisins (2x2) dans l'image d'origine.
- *L'interpolation bicubique ou convolution cubique* : elle affecte chaque pixel de la nouvelle image la valeur des 16 plus proches voisins (4x4) dans l'image d'origine.

Ces deux dernières techniques utilisent une méthode de moyenne pondérée pour calculer la valeur de sortie de la cellule transformée et par conséquent, elles conviennent principalement aux données continues telles que l'altitude, la pente et autres surfaces continues. La première est surtout utilisée pour les images photographiques et la deuxième en télédétection.



Glossaire...

(issu de <http://image.univ-lyon1.fr/SAFE-TIMES/cours/Delacourt/CHAP4/help.html#correcg%E9om>)

Correction géométrique : Modification de l'arrangement spatial des objets, de leurs relations géométriques sans changement substantiel du contenu des données.

Points d'appuis ou points de calage ou points d'amers, sont des couples de points dont on connaît la position à la fois sur l'image de référence et sur l'image à rectifier.

Orthorectification : Projection d'une image dans un repère géodésique donné en tenant compte de la topographie. Nécessité d'avoir un MNT.

Registation/Recalage : Mise en correspondance pixel à pixel de 2 images (pas de notion de système géodésique) .

Rectification : Projection d'une image dans un repère cartographique donné sans tenir compte des effets topographique.

Quelques références bibliographiques et web

Cours de télédétection où on retrouve toutes les notions abordées :

<http://perso.club-internet.fr/tpouchin/sommaire/sommaire.htm>

Airphoto

<http://www.uni-koeln.de/~al001/airphoto.html>

Cours sur le recalage d'image et la correction d'erreurs :

<http://image.univ-lyon1.fr/SAFE-TIMES/cours/Delacourt/CHAP4/cours4.html>

Les spatiocartes : méthodes et exemples de réalisation :

<http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-00b2/ceos1/science/gdta/fr/a1fr/7.htm>

Cours en ligne de l'ENSG sur les photographies aériennes et images satellitaires (en construction) :

<http://pse.ensg.ign.fr/sommques.php3?>

Site assez compliqué sur le rééchantillonnage mais beaucoup d'exemples pour voir les résultats avec les différentes méthodes :

<http://www.raceme.org/imac/redim/>

Sur la photographie aérienne en archéologie, plusieurs exemples de traitements sur les photographies aériennes appliqués à l'archéologie

<http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/index.htm#TOC>

Archiving Aerial Photography and Remote Sensing Data: A Guide to Good Practice

<http://ads.ahds.ac.uk/project/goodguides/apandrs/>

H.Bakys & M.Bonin, La photographie aérienne et spatiale, Que sais-je ?, PUF, Paris, 2000

