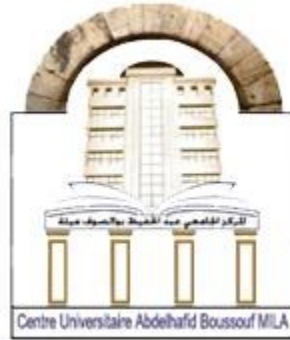


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila –
Institut des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de l'Ecologie et de L'environnement



POLYCOPIE DE COURS

Cartographie de l'environnement

Master1 : Protection des Ecosystèmes

Elaboré par

Dr. OMAROUAYACHE ZINEDDINE

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : NOTIONS GENERALE	2
1. Introduction.....	2
2. Histoire de la cartographie.....	2
2.1. Les grandes époques de l’histoire de la cartographie.....	2
2.1.1. Cartographie Antique (avant notre ère)	2
2.1.2. Grèce et Rome (Ve siècle avant notre ère - Ve siècle de notre ère).....	2
2.1.3. Âge Moyen (Ve - XVe siècle)	2
2.1.4. Renaissance (XVe - XVIIe siècle)	3
2.1.5. Ère des Grandes Découvertes (XVe - XVIe siècle).....	3
2.1.6. Révolution Cartographique (XVIIIe siècle).....	3
2.1.7. Ère Moderne (XIXe - XXe siècle).....	3
2.1.8. Ère Contemporaine (XXe siècle à aujourd'hui).....	3
3. Définitions.....	3
3.1. Cartographie.....	3
3.1.1. L’ONU en 1949 définit la cartographie comme.....	3
3.1.2. La cartographie.....	3
4. Une Carte.....	4
4.1. Contenu d’une carte.....	4
4.2. Les principaux éléments de la carte.....	4
4.3. Importance et fonctions de carte.....	4
4.4. Classification des cartes.....	5
4.4.1. Selon l’échelle.....	5
4.4.2. Selon le contenu.....	5
4.4.2.1. Cartes thématiques.....	5
4.4.2.2. Cartes topographiques.....	5
4.4.3. Selon l'objectif.....	6
4.4.4. Selon la projection.....	6
4.4.5. Selon la technologie.....	6
4.4.6. Selon le contenant (mode d'expression)	6
5. Les cartes topographiques.....	7
5.1. Définition de la topographie.....	7
5.2. Définition de la carte topographique.....	7
5.3. Définition selon Comité Français de Cartographie.....	8
5.4. Les principaux éléments de la carte topographique.....	8
5.5. Elaboration des cartes.....	8
5.5.1. Levés Topographiques.....	9
5.5.2. Restitution Cartographique.....	9
5.5.3. Édition Cartographique.....	9
5.6. Décryptage et lecture des cartes.....	9
5.7.1. Les courbes de niveau.....	9
5.7.2. L'équidistance.	10
5.7.3. L'estompage.....	10
5.7.4. Les figurés spéciaux.....	10
5.7.5. Les points cotés.....	11

5.8.	Les éléments de la planimétrie.....	11
5.8.1.	Éléments de la végétation.....	11
5.8.2.	Hydrographie.....	11
5.8.3.	Éléments de l'occupation humaine.....	11
5.8.4.	Éléments abstraits.....	11
5.9.	Les éléments de la toponymie.....	12
5.9.1.	Les noms à position.....	12
5.9.2.	Les noms à disposition.....	12
6.	Habillage de carte.....	12
6.1.	Le Titre.....	12
6.2.	Les Coordonnées.....	12
6.3.	La Direction du Nord.....	12
6.4.	Les Dates.....	13
6.5.	Les Informations Techniques.....	13
6.5.1.	Le géoïde.....	13
6.5.2.	Ellipsoïde.....	13
6.6.	La Carte (Signes Élémentaires).....	13
6.6.1.	Signes Élémentaires.....	13
6.6.1.1.	Les points.....	14
6.6.1.2.	Les lignes.....	14
6.6.1.3.	Les polygones.....	14
7.	Les cartes thématiques.....	15
8.	Les cartes thématiques et topographiques.....	15
8.1.	Carte thématique.....	15
8.2.	Carte topographique.....	15
CHAPITRE II : CARTOGRAPHIE THEMATIQUE		16
1.	Introduction.....	16
2.	Définitions.....	16
2.1.	Cartographie thématique.....	16
2.2.	Définition de la carte thématique.....	17
3.	Conception des cartes thématique.....	17
4.	Définition du thème.....	17
5.	Classes des cartes thématiques.....	18
6.	Les cartes analytiques.....	18
7.	Les cartes synthétiques.....	18
8.	Cartes analytiques et cartes synthétiques.....	18
9.	Concepts spatiaux.....	18
10.	Analyse de données.....	19
11.	Types de cartes thématiques.....	19
11.1.	Cartes chorochromatiques.....	20
11.2.	Cartes choroplèthes.....	20
11.3.	Cartes à symboles.....	21
11.4.	Cartes à isolignes.....	21
11.5.	Cartes à diagrammes.....	22
11.6.	Cartes de flux.....	23
11.7.	Cartes de répartition par points.....	23

11.8.	Cartes avec représentation combinée.....	24
CHAPITRE III : COORDONNEES GEOGRAPHIQUES		26
1.	Introduction.....	26
1.1.	Notions générales.....	26
1.1.1.	Importance des coordonnées.....	26
1.1.2.	Géoïde et Ellipsoïde.....	27
1.1.2.1.	Géoïde.....	27
1.1.2.2.	Ellipsoïde.....	27
1.1.3.	Latitude et longitude.....	28
1.1.4.	Altitude.....	28
1.1.5.	Systèmes de Projections.....	29
1.1.6.	Système de Coordonnées.....	29
1.1.7.	GPS (Système de Positionnement Global).....	29
1.1.8.	Cartographie.....	29
1.1.9.	Points Cardinaux.....	29
1.1.10.	Coordonnées Géocentriques.....	29
2.	Définitions.....	29
2.1.	Les coordonnées.....	29
2.2.	Coordonnées d'un lieu.....	29
2.3.	La latitude et longitude.....	30
2.3.1.	La latitude.....	30
2.3.2.	La longitude.....	31
2.4.	La Position.....	31
3.	Dimensions (Notation des coordonnées).....	31
3.1.	Conversion.....	32
4.	Origine.....	32
5.	Modèle géoïde.....	32
6.	Altitudes orthométriques.....	33
7.	Modèle ellipsoïde.....	33
8.	Hauteur ellipsoïdale.....	33
9.	Les types de coordonnées.....	33
10.	Les Projections.....	34
10.1.	Projections cartographiques.....	34
10.2.	La projection cartographique.....	34
10.3.	Définition.....	35
10.4.	De la Terre sur une carte.....	35
10.5.	Le World Geodetic System 1984 (WGS 84).....	36
10.6.	Projections Cartographiques sur Surfaces Développables.....	36
10.6.1.	Équivalence, Conformité et Aphyllaxie.....	36
10.7.	Les types de projections.....	36
10.8.	Illustration des Principaux Types de Projections Cartographiques.....	37
10.8.1.	Conique, Cylindrique et Plane.....	37
10.8.1.1.	Projection Conique.....	37
10.8.1.2.	Projection Cylindrique.....	38
10.8.1.3.	Projection Plane.....	38
10.8.1.4.	Aspects planaires.....	38

10.8.1.5.	Aspect polaire (différentes perspectives)	38
10.9.	Le processus de projection.....	39
10.10.	Conclusion.....	39
CHAPITRE IV : L'ECHELLE CARTOGRAPHIQUE		41
1.	Introduction.....	41
2.	Notions Générales et Définition.....	41
3.	Représentation Proportionnelle.....	41
4.	Types d'Échelles.....	41
4.1.	Échelle Numérique.....	41
4.2.	Échelle Graphique.....	41
4.3.	Échelle Textuelle.....	42
5.	Importance en Cartographie.....	42
6.	Adaptation aux Besoins.....	42
7.	Limitations.....	42
8.	Définition.....	42
9.	Réduction et agrandissement de l'échelle.....	42
10.	Classification des échelles.....	43
11.	Mesures sur les cartes.....	44
11.1.	Comment faire un calcul d'échelle ?.....	44
11.2.	Mesurer la distance sur la carte.....	44
11.3.	Calculer le coefficient de proportionnalité de l'échelle.....	44
11.4.	Multiplier la distance sur la carte par le coefficient.....	44
CHAPITRE V : PHOTOGRAPHIES AERIENNES		46
1.	Introduction.....	46
1.1.	Éléments d'histoire de la photographie aérienne.....	46
2.	Définition.....	47
3.	La photographie aérienne.....	48
4.	Concepts de base de la photographie aérienne.....	48
5.	Organisation et recouvrement des photographies aériennes.....	50
6.	Les différents types de photos aériennes.....	51
6.1.	Types selon le Format et les Echelles.....	51
6.1.1.	Le format.....	51
6.1.2.	Les Echelles.....	51
6.2.	Types selon l'Angle de prise de vue ou l'Axe de la photographie.....	52
6.2.1.	La photographie aérienne verticale.....	52
6.2.2.	La photographie aérienne oblique.....	52
6.3.	Types selon les émulsions.....	53
6.3.1.	L'émulsion panchromatique noir et blanc (Black & White).....	54
6.3.2.	L'émulsion Infra Rouge « noir et blanc ».....	54
6.3.3.	L'émulsion couleurs naturelles.....	55
6.3.4.	L'émulsion en fausses couleurs ou Infra Rouge.....	55
6.3.5.	Les autres restitutions sous forme d'images (satellites).....	56
7.	Une image riche en renseignements sur le territoire.....	56
8.	Photographie aérienne et une image satellitaire.....	57
9.	L'interprétation des photographies aériennes.....	58
9.1.	Les facteurs à évaluer pour identifier une entité.....	58

10.	La qualité de l'image.....	59
10.1.	1. Résolution Spatiale.....	59
10.1.2.	Contraste.....	59
10.1.3.	Précision Géométrique.....	59
10.1.4.	Étalonnage Spectral.....	59
10.1.5.	Absence de Distorsion.....	59
10.1.7.	Moment de la Capture.....	59
10.1.8.	Étalonnage Temporel.....	59
10.1.9.	Qualité de l'Équipement de Capture.....	59
10.1.10.	Correction des Erreurs.....	60
10.2.	Photogrammétrie.....	60
10.3.	Restitution photogrammétrique.....	60
11.	Production de documents photographiques élaborés.....	60
12.	La photo numérique.....	60
12.1.1.	L'image numérique.....	61
12.1.2.	La Résolution d'une image.....	61
12.1.3.	La définition.....	62
12.1.4.	Résolution Spatiale.....	62
12.1.5.	Haute Résolution et Basse Résolution.....	62
13.	La notion de pixel.....	62
13.1.1.	Définition.....	62
13.2.	La visualisation des images numériques.....	63
14.	Conclusion.....	63
CHAPITRE VI : LA CARTOGRAPHIE ECOLOGIQUE		64
1.	Introduction.....	64
1.1.	Les niveaux d'intégration en écologie.....	64
1.2.	L'apport de la cartographie.....	65
2.	Notions fondamentales.....	66
2.1.	Carte écologique (Ecosite map).....	66
2.2.	Exemple de carte écologique.....	66
3.	Les cartes de végétation à différentes échelles.....	69
3.1.	La végétation.....	69
3.2.	Formations végétales.....	70
3.3.	Classifications.....	71
3.4.	1. La classification des formations végétales.....	71
3.3.2.	Une autre classification.....	72
3.4.	La phytosociologie.....	73
3.5.	La flore.....	73
3.6.	La botanique.....	73
3.7.	L'écologie végétale.....	73
3.8.	Phytogéographie.....	73
4.	Les cartes de végétation à différentes échelles.....	75
4.1.	Carte de végétation.....	75
4.2.	Les différentes échelles de la cartographie de végétation.....	76
4.2.1.	Les cartes de végétation potentielle.....	76
4.2.2.	Les cartes de végétation existantes.....	76

4.2.3.	Les cartes de paléovégétation.....	76
4.3.	Utilité de la carte de végétation.....	76
5.	Conclusion.....	77
CHAPITRE VII : LA CARTOGRAPHIE DE L'ENVIRONNEMENT		78
1.	Introduction.....	78
2.	Notions fondamentales.....	78
2.1.	Définition de l'environnement.....	78
2.2.	Définition de l'écologie.....	78
2.3.	Environnement et écologie.....	78
2.4.	Problème de l'environnement.....	79
2.5.	Liste des principaux problèmes de l'environnement.....	80
2.6.	Enjeux de l'environnement.....	80
2.7.	Techniques de protection de l'environnement.....	80
2.8.	Apport de la cartographie.....	81
2.9.	Observation (monitoring) de l'environnement.....	82
3.	Cartographie de l'environnement.....	82
3.1.	Définition.....	83
3.2.	Modélisation et cartographies de l'environnement.....	83
3.2.1.	Modélisation de l'environnement.....	83
3.2.2.	Cartographie de l'environnement.....	83
3.2.3.	Relation entre la modélisation et la cartographie.....	83
4.	La cartographie épidémiologique.....	84
4.1.	L'écoépidémiologie.....	85
4.2.	L'initiative One Health.....	86
4.3.	Relations.....	86
4.3.1.	One Health et Cartographie de l'environnement.....	86
4.3.2.	One Health et Épidémiologie.....	87
4.4.	Intégration Globale.....	87
4.5.	Exemple d'épidémie.....	87
4.5.1.	La grippe aviaire.....	87
4.5.2.	Virus H5N1.....	87
4.5.3.	Préoccupations et Impacts.....	88
4.6.	Organisations mondiales.....	89
4.7.	Une pandémie.....	89
4.7.1.	Exemple de pandémie.....	89
4.7.1.1.	La pandémie de Covid-19.....	89
4.7.1.2.	Origine et Propagation.....	89
4.7.1.3.	Caractéristiques Cliniques.....	90
4.7.1.4.	Impact Mondial.....	90
4.7.1.5.	Réponse Mondiale.....	90
4.7.1.6.	Enjeux Sanitaires et Sociaux.....	90
4.7.1.7.	Importance de la Collaboration Internationale.....	90
4.7.2.	La cartographie de l'environnement et COVID-19.....	91
5.	La conservation de la nature.....	92
5.1.	La cartographie et conservation de la nature.....	92
5.1.1.	Inventaire de la Biodiversité.....	92

5.1.2.	Surveillance des Écosystèmes.....	92
5.1.3.	Gestion des Aires Protégées.....	92
5.1.4.	Planification de la Restauration Écologique.....	92
5.1.5.	Analyse des Changements Climatiques.....	93
5.2.	Conventions internationales.....	93
6.	Conclusion.....	93
CONCLUSION		95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		97

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Représentation cartographique par points.	14
Figure 2	Représentation cartographique par lignes.	14
Figure 3	Représentation cartographique par polygones.	14
Figure 4	Cartes chorochromatiques.	20
Figure 5	Carte choroplèthes.	20
Figure 6	Cartes à symbole.	21
Figure 7	Cartes à isolignes.	22
Figure 8	Cartes à diagrammes.	22
Figure 9	Cartes de flux.	23
Figure 10	Cartes de répartition par points.	24
Figure 11	Cartes avec représentation combinée.	24
Figure 12	Schéma de la géodésie.	28
Figure 13	Coordonnées (origine, parallèles et méridiens).	30
Figure 14	Hauteur et altitude (Topographie).	33
Figure 15	Types de projection cartographique.	37
Figure 16	Projection Conique.	37
Figure 17	Projection Cylindrique	38
Figure 18	Projection planaires.	38
Figure 19	Aspect polaire.	39
Figure 20	Échelles, graphique et numérique.	42
Figure 21	Profil général de la photographie aérienne.	49
Figure 22	Types et taux de recouvrement (prises de photo aérienne).	50
Figure 23	Photographie aérienne verticale.	52
Figure 24	Photographie aérienne oblique panoramique.	53
Figure 25	Photographie aérienne oblique basse $i > 0^\circ$.	53
Figure 26	Panchromatique noir et blanc (Black & White).	54
Figure 27	Infra Rouge « noir et blanc ».	54
Figure 28	Couleurs naturelles.	55
Figure 29	Fausse couleurs ou Infra Rouge.	55
Figure 30	Autres restitutions sous forme d'images.	56
Figure 31	Schéma récapitulatif de différentes émulsions. (H. Mouissa,).	56
Figure 32	Illustration de Pixel.	61
Figure 33	Affichage et codage des Pixels.	63
Figure 34	Intensité lumineuse sur un octet.	63
Figure 35	Localisation et classes d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf (Arfa et al.,).	68
Figure 36	Risque feux de forêt des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf (Arfa et al.,).	68
Figure 37	Carte de distribution spatiale de pH dans la lagune d'El Mellah (PNEK- Algérie).	69
Figure 38	Carte phytogéographique d'Europe.	74
Figure 39	Carte phytogéographique Nord d'Algérie.	74
Figure 40	Représentation graphique de One Health.	86
Figure 41	Cycle de transmission de la grippe aviaire.	88
Figure 42	Carte de distribution de la grippe aviaire dans le monde .	89
Figure 43	Carte des décès due au Covid- (19).	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°01	Notation des dimensions des coordonnées	31
Tableau N°02	Notation des dimensions des coordonnées.	32
Tableau N°03	Classification des échelles en fonction des disciplines (Girard et Girard, 1989).	51
Tableau N°04	Comparaison entre la photo aérienne et l'image satellitaire.	57

LISTE DES ABREVIATIONS

SIG	Système d'Information Géographique
Covid-19	Coronavirus Disease 2019 (Maladie à Coronavirus 2019)
GPS	Global Positioning System (Système de Positionnement Global)
3D	Trois Dimensions
ONU	Organisation des Nations Unies
ACI	Association Cartographique Internationale
NG	Le Nord astronomique ou géographique
NL	Le Nord de la carte, ou Nord des coordonnées Lambert
NM	Le Nord magnétique
NTF	Nouvelle Triangulation Française
WGS 84	World Geodetic System 1984
ASL	Above Sea Level (au-dessus du niveau de la mer)
AGL	Above Ground Level (au-dessus du niveau du sol)
SNRC	Système national de référence cartographique
PPP	Points par pouce
DPI	dots per inch
FAO	Food and Agriculture Organization
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OIE	Organisation Mondiale de la Santé Animale
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora

Intitulé master : Protection des écosystèmes

Semestre : 01

Intitulé de l'unité d'éducation : Méthodologie

Intitulé de la matière : cartographie de l'environnement

Crédits : 5

Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement :

Faire comprendre à l'étudiant les principes de la cartographie écologique et la cartographie de l'environnement, expliquer ces principes à partir de la carte de végétation et de dans un cadre renouvelé résolument pluridisciplinaire.

Connaissance préalables recommandées :

Contenu de la matière :

- 1. Notions générale de la cartographie**
- 2. Cartographie thématique**
- 3. Détermination des coordonnées géographiques**
- 4. Mesures sur les cartes**
- 5. Interprétation des photographies aériennes**
- 6. La cartographie écologique**
 - a) Les niveaux d'intégration en écologie**
 - b) Exemple de carte écologique à moyenne échelle**
 - c) Les cartes de végétation à différentes échelles**
- 7. La cartographie de l'environnement**
 - a) Détection biologiques des pollutions atmosphériques**
 - b) La cartographie épidémiologique**
 - c) La conservation de la nature**
 - d) Exemple de lecture et d'interprétation des cartes écologiques**

Travail personnel : stage et compte rendu de stage (exposés)

Mode d'évaluation : Continu et Examen Final.

Enseignant : Dr. Rebbah Abderraouf Chouaib

PRESENTATION DU COURS

Le cours "Cartographie de l'Environnement" offre une perspective approfondie sur la discipline cartographique, dépassant la simple élaboration de cartes pour englober un processus complexe et interdisciplinaire. Enracinée dans la géodésie, la cartographie vise à représenter de manière concise des données spatialement référencées, simplifiant des phénomènes environnementaux pour une compréhension pertinente. Cette discipline, facilitée par les Systèmes d'Information Géographique, se consacre à la représentation des processus environnementaux, favorisant la prise de décision et la compréhension des zones géographiques. Au-delà de la représentation graphique, la cartographie devient un outil essentiel pour la surveillance des changements environnementaux, la prévision des ressources, et la prise de décisions éclairées en écologie. Le cours vise à développer les compétences nécessaires pour décrypter les cartes, interroger les données écologiques, et effectuer des analyses spatiales au service de l'environnement et de l'écologie.

Les objectifs du cours "Cartographie de l'environnement" consistent à développer une compréhension approfondie des principes fondamentaux de la cartographie écologique et environnementale. Cela englobe l'identification des composantes cartographiques, la reconnaissance des types de cartes dans un contexte pluridisciplinaire, la maîtrise des techniques de mesure, la différenciation entre représentations cartographiques et imagerie aérienne, ainsi la capacité de lire et extraire des informations d'une carte écologique. La finalité fondamentale est de fournir aux étudiants une base solide pour l'application pratique de ces principes, en mettant l'accent sur une approche intégrée et pluridisciplinaire.

La cartographie environnementale est un outil multifonctionnel, servant à communiquer, analyser et orienter les décisions en mettant en évidence diverses variables écologiques. Ce cours, se consacre à l'exploration des concepts liant la cartographie à l'environnement. Il reconnaît la future confrontation des étudiants à des problématiques cartographiques interdisciplinaires, en mettant particulièrement l'accent sur le domaine de l'environnement.

OBJECTIF :

Les objectifs du cours "Cartographie de l'environnement" sont les suivants :

1. **Compréhension Globale de la Cartographie :** Acquérir une connaissance approfondie des composantes de la carte, des éléments fondamentaux, et des principes de la cartographie écologique et de l'environnement.
2. **Identification des Types de Cartes :** Reconnaître et comprendre différents types de cartes, en explorant leurs caractéristiques distinctes et leur utilité dans un contexte pluridisciplinaire en cartographie environnementale.
3. **Maîtrise des Mesures sur les Cartes :** Développer des compétences de mesure précise sur les cartes pour des analyses et des applications variées, en mettant l'accent sur des applications pluridisciplinaires.
4. **Discrimination entre Cartes et Photos Aériennes :** Comprendre les avantages et les limitations des cartes par rapport aux photographies aériennes dans le contexte pluridisciplinaire de la cartographie environnementale.

5. **Lecture et Extraction sur Carte Écologique** : Développer la compétence de lire et extraire des informations d'une carte écologique, en mettant en avant les principes écologiques, les symboles, les légendes, et les nuances spécifiques associées aux données écologiques dans un cadre pluridisciplinaire.

Ce cours vise à fournir aux étudiants une base solide pour explorer et appliquer efficacement les concepts de la cartographie de l'environnement, tout en intégrant une approche pluridisciplinaire pour une compréhension holistique des principes impliqués.

Introduction

Chapitre I : Notions générale de la cartographie

Chapitre II : Cartographie thématique

Chapitre III : Coordonnées géographiques

Chapitre IV : L'échelle cartographique

Chapitre V : Photographies aériennes

Chapitre VI : La cartographie écologique

Chapitre VII : La cartographie de l'environnement

Conclusion

Références bibliographique

INTRODUCTION GENERALE

La cartographie, dans son essence, vise à concevoir, préparer et réaliser des cartes qui représentent graphiquement et géométriquement notre monde. Historiquement, elle a émergé de la nécessité ancestrale de conserver la mémoire des lieux, des routes et de leurs caractéristiques, qu'elles soient propices ou non à l'activité humaine. Initialement, elle se limitait à une stricte description de la Terre connue et des itinéraires empruntés par les militaires et les marchands. Cependant, avec le temps, la cartographie a évolué pour devenir un instrument de connaissance et de pouvoir au service des États dès le XVII^e siècle.

L'importance de la cartographie, qu'elle soit traditionnelle ou moderne, demeure une question épistémologique essentielle, avec un essor significatif des cartes, notamment grâce aux Systèmes d'Information Géographique (SIG). Son utilité s'étend bien au-delà des cercles traditionnels, touchant les géographes, les cartographes, les graphistes et les professionnels du SIG, tout en captivant un public de plus en plus large grâce à des outils visuels flexibles et puissants. En outre, l'intégration croissante des cartes dans l'art contemporain souligne l'importance esthétique et épistémologique de la cartographie.

La cartographie de l'environnement, qui consiste en le processus de collecte et de visualisation de données spatialement référencées sur l'environnement, revêt une importance cruciale. En effet, la gestion des ressources naturelles devient de plus en plus délicate en l'absence d'une connaissance précise de celles-ci. Les cartes offrent une manière simple et visuelle d'accéder à des informations essentielles sur le monde, renseignant sur les tailles et les formes des pays, les emplacements des caractéristiques géographiques, ainsi que les distances entre les lieux. De plus, elles permettent d'illustrer la distribution des phénomènes et des espèces sur terre, comme les feux de forêt ou la propagation de maladies telles que la Covid-19.

Au-delà de la simple représentation visuelle, la cartographie remplit des rôles fondamentaux dans l'enregistrement, le traitement et la communication de l'information, qu'elle soit quantitative ou qualitative. Ainsi, l'information collectée doit être non seulement simple à consulter, mais aussi exhaustive et organisée de manière à être aisément interprétée. Le choix de l'image à transmettre dépend du public visé, car une représentation cartographique efficace réside dans la capacité du spectateur à mémoriser correctement l'information. Qu'il s'agisse de professionnels ou du grand public, une image plus simple facilite la mémorisation du contenu ou du message, soulignant ainsi le rôle crucial de la cartographie dans la diffusion et la compréhension des informations géographiques.

CHAPITRE I : NOTIONS GENERALES

1. Introduction

Tout au long de l'histoire, les êtres humains ont constamment ressenti le besoin de se repérer dans leur environnement, de façonner leur espace, d'élargir le cadre de leurs activités et de maîtriser l'espace qui les entoure. Pour répondre à ces besoins, ils ont élaboré des cartes. La cartographie représente ainsi une expression du génie humain, où une carte devient la matérialisation visuelle d'une idée.

La cartographie, en tant que discipline, englobe un ensemble de principes et de techniques essentiels pour représenter graphiquement le monde tridimensionnel sur un support bidimensionnel. Cette introduction vise à établir les bases nécessaires à la compréhension de la cartographie, explorant divers éléments clés qui forment le fondement de cette discipline. Un cartographe compétent doit non seulement en maîtriser les aspects scientifiques et techniques mais doit également mettre en œuvre des compétences artistiques dans le choix des traits, des couleurs et des écritures. Toutes les cartes sont prévues pour être utilisées, soit pour la randonnée ou la navigation routière, soit pour décrire l'aménagement du territoire ou pour la recherche d'informations dans un atlas.

Cette section constitue une présentation synthétique des concepts fondamentaux liés à la cartographie.

2. Histoire de la cartographie

L'histoire de la cartographie remonte à plusieurs millénaires, reflétant l'évolution des connaissances géographiques et des techniques de représentation spatiale. L'histoire de la cartographie est le reflet des connaissances techniques nécessaires à l'établissement de cartes, de l'Antiquité à nos jours. La cartographie est une partie intégrante de l'histoire de l'humanité depuis longtemps.

2.1. Les grandes époques de l'histoire de la cartographie

2.1.1. Cartographie Antique (avant notre ère)

Les premières cartes connues remontent à l'Antiquité, avec des exemples tels que la Mésopotamie et l'Égypte produisant des représentations rudimentaires de leur environnement.

2.1.2. Grèce et Rome (Ve siècle avant notre ère - Ve siècle de notre ère)

Les Grecs anciens, tels qu'Eratosthène, ont contribué à mesurer la Terre et à développer des projections cartographiques.

Les Romains ont créé des cartes pour des fins militaires et administratives, couvrant leur vaste empire.

2.1.3. Âge Moyen (Ve - XVe siècle)

Pendant cette période, la cartographie s'est basée sur des travaux antiques, mais avec des éléments fantastiques et religieux ajoutés.

Les cartes médiévales mappemondes étaient souvent centrées sur Jérusalem.

2.1.4. Renaissance (XVe - XVIIe siècle)

La redécouverte des textes antiques pendant la Renaissance a stimulé une nouvelle ère de cartographie.

Des cartographes tels que Gerardus Mercator ont introduit des projections plus précises.

2.1.5. Ère des Grandes Découvertes (XVe - XVIe siècle)

Les voyages de découvertes ont conduit à des cartes plus détaillées des continents nouvellement explorés.

La cartographie marine s'est développée pour soutenir la navigation.

2.1.6. Révolution Cartographique (XVIIIe siècle)

Des méthodes plus systématiques, des instruments de mesure précis et une standardisation des cartes ont émergé.

2.1.7. Ère Moderne (XIXe - XXe siècle)

L'impression lithographique a permis une production plus étendue de cartes.

L'utilisation du cinéma et de l'aviation a influencé les techniques de cartographie.

2.1.8. Ère Contemporaine (XXe siècle à aujourd'hui)

L'avènement des technologies numériques a transformé la cartographie, avec l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG) et de cartes interactives en ligne.

La cartographie moderne intègre des données satellites, des GPS et des visualisations 3D.

3. Définitions

3.1. Cartographie

La cartographie est l'ensemble des techniques et des méthodes permettant la conception, la réalisation et l'interprétation des cartes géographiques. C'est une discipline qui combine la science, l'art et la technologie pour représenter graphiquement des informations spatiales. La cartographie englobe la collecte de données géographiques, leur traitement, la création de cartes, et leur utilisation pour la compréhension et la communication de l'information géographique.

3.1.1. L'ONU en 1949 définit la cartographie comme

«la science qui traite de l'établissement des cartes de toutes sortes. Elle englobe toutes les phases de travaux, depuis les premiers levés jusqu'à l'impression finale des cartes ».

3.1.2. La cartographie

« C'est l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration de cartes et autres modes d'expression, ainsi que de leur utilisation ». **D'après l'ACI (Association Cartographique Internationale 1966).**

4. Une Carte

Une carte est une représentation graphique et schématique d'une portion de la surface terrestre ou d'une région particulière. Elle est conçue pour fournir une vision simplifiée et structurée de l'environnement géographique, montrant des caractéristiques telles que les frontières, les reliefs, les cours d'eau, les routes, et d'autres éléments. Les cartes peuvent varier en échelle, de petites cartes détaillées à des mappemondes représentant l'ensemble du globe. Elles sont utilisées dans divers domaines tels que la navigation, la planification urbaine, la recherche, l'éducation et bien d'autres. C'est un document graphique visuel, qui à ce titre doit suivre des règles de perception visuelle.

4.1. Contenu d'une carte

Le contenu d'une carte dépend de son objectif, de son échelle, et du type d'informations qu'elle vise à présenter. De ce fait, une carte est toujours une image **réduite, schématisée et sélectionnée** de l'espace étudiée. Une carte est une représentation :

- **Réduite**, car elle ne reproduit pas l'espace à l'échelle réelle, utilisant une échelle spécifique.
- **Schématisée**, en simplifiant les composantes spatiales réduites, un processus appelé généralisation.
- **Sélectionnée**, ne présentant que les éléments liés au thème spécifique étudié, ne pouvant inclure tous les détails simultanément.

4.2. Les principaux éléments de la carte

Les cartes intègrent divers composants tels que le Titre, la Légende, l'Échelle, l'Orientation, les Symboles et icônes, les Couches d'informations, les Couleurs, les Coordonnées géographiques, la Cartouche, le Graticule, les Courbes de niveau, les Hachures, et d'autres éléments. La présence de ces composants est déterminée par l'objectif spécifique et la nature particulière de chaque carte. Les éléments principaux de la carte sont :

- 1) **La carte, Symboles (graphique, dessin, schéma).**
- 2) **Le titre, le cadre et les coordonnées.**
- 3) **L'orientation, Indique la direction nord.**
- 4) **L'échelle.**
- 5) **La légende, La clé pour les symboles et couleurs.**

4.3. Importance et fonctions de carte

A quoi sert une carte ?

La carte est un instrument de communication privilégié. Son but est de faire passer un message de manière optimale. Une carte remplit plusieurs fonctions essentielles :

- **Représentation Visuelle** : Une carte offre une représentation visuelle et graphique d'une zone géographique, permettant une compréhension rapide et intuitive de la disposition spatiale des éléments.
- **Navigation** : Les cartes sont des outils de navigation fondamentaux, aidant les individus à se déplacer dans un espace donné, que ce soit à pied, en voiture, en avion ou en bateau.

- **Communication d'Information** : Elles servent à communiquer des informations complexes de manière claire et concise, que ce soit sur la topographie, la distribution géographique d'éléments, les frontières politiques, etc.
- **Planification** : Les cartes sont utilisées pour planifier des activités, que ce soit pour l'aménagement du territoire, le tracé d'itinéraires, la gestion des ressources, ou d'autres aspects liés à la planification.
- **Analyse Spatiale** : Elles permettent d'analyser des données spatiales, que ce soit pour des études environnementales, des recherches géographiques, des analyses de marché, etc.
- **Prise de Décision** : Les cartes sont des outils puissants pour la prise de décision, en fournissant une vue d'ensemble et des informations cruciales pour des choix informés.
- **Éducation** : Elles sont largement utilisées dans l'éducation pour enseigner la géographie, l'histoire, les sciences de l'environnement, et d'autres domaines.
- **Représentation Artistique** : Parfois, les cartes sont créées à des fins artistiques, exprimant une vision créative de l'espace et de la géographie.

Les cartes sont des instruments polyvalents qui jouent un rôle central dans la compréhension et l'interaction avec notre environnement.

4.4. Classification des cartes

La classification des cartes peut être effectuée selon différents critères, chacun mettant en évidence des aspects spécifiques de la représentation cartographique. Voici plusieurs critères fréquemment utilisés pour la classification des cartes :

4.4.1. Selon l'échelle

- **Cartes à grande échelle (topographiques)** : Elles représentent des détails physiques et humains de la Terre à une échelle relativement grande.
- **Cartes à moyenne échelle (géologiques)** : Elles montrent la structure géologique et la composition du sol.
- **Cartes globales ou planisphères** : Elles représentent l'ensemble de la Terre.

4.4.2. Selon le contenu

4.4.2.1. Cartes thématiques

- **Cartes politiques** : Elles montrent les divisions politiques du monde, telles que les frontières des pays et des régions.
- **Cartes physiques** : Elles représentent les caractéristiques physiques de la Terre, telles que les montagnes, les rivières et les lacs.
- **Cartes climatiques** : Elles représentent les données climatiques d'une région donnée.

4.4.2.2. Cartes topographiques

- **Cartes topographiques à grande échelle** : Précises, pour la randonnée et l'escalade.
- **Cartes topographiques à petite échelle** : Moins détaillées, pour la planification régionale.
- **Cartes topographiques numériques** : Versions informatiques intégrées aux SIG.

- **Cartes topographiques internationales** : Couvrent plusieurs pays.
- **Cartes topographiques historiques** : Témoignent des évolutions passées.

4.4.3. Selon l'objectif

- **Cartes de navigation** : Utilisées pour la navigation maritime ou aérienne.
- **Cartes thématiques** : Mettent en évidence des informations spécifiques telles que la population, l'économie ou l'utilisation des terres.
- **Cartes topologiques** : Représentent les relations spatiales entre des entités géographiques.

4.4.4. Selon la projection

- **Cartes coniques** : Basées sur une projection conique de la surface terrestre.
- **Cartes cylindriques** : Basées sur une projection cylindrique de la surface terrestre.
- **Cartes azimutales** : Basées sur une projection azimutale de la surface terrestre.

4.4.5. Selon la technologie

- **Cartes papier** : Traditionnelles, imprimées sur papier.
- **Cartes numériques** : Stockées et visualisées sous forme numérique, souvent utilisées dans les systèmes d'information géographique (SIG).

4.4.6. Selon le contenant (mode d'expression)

- **Lecture élémentaire** : Il s'agit de cartes d'inventaire ou descriptives, conçues pour permettre l'extraction directe d'informations spécifiques.
- **Lecture moyenne** : Ce type de carte, appelé carte d'analyse ou de traitement, offre à l'utilisateur la possibilité de traiter et d'analyser l'information géographique de manière plus approfondie.
- **Lecture supérieure** : Les cartes de synthèse ou cartes décisionnelles appartiennent à cette catégorie. Elles fournissent l'essentiel de l'information nécessaire pour prendre des décisions éclairées.

Enfin, il existe une diversité de types de cartes, chacune ayant un objectif spécifique et fournissant des informations distinctes. Voici quelques exemples de types de cartes :

- **Carte géographique** : Fournit une représentation générale de la surface de la Terre.
- **Carte topographique** : Détaille les caractéristiques physiques et humaines du terrain, y compris les altitudes.
- **Carte politique** : Montre les frontières politiques, les divisions administratives et les centres urbains.
- **Carte géologique** : Représente la structure et la composition géologique du sol.
- **Carte climatique** : Présente les conditions climatiques d'une région, y compris la température et les précipitations.
- **Carte hydrographique** : Met en évidence les caractéristiques liées à l'eau, comme les rivières, les lacs et les océans.
- **Carte, Plan cadastral** : Décrit la division des terrains, les limites des propriétés et la propriété foncière.
- **Carte météorologique** : Affiche les conditions météorologiques actuelles ou prévues.

- Carte routière : Indique les routes, autoroutes et autres voies de circulation.
- **Carte touristique** : Propose des informations utiles pour les voyageurs, comme les attractions touristiques et les services.
- **Carte de transport en commun** : Présente les itinéraires et les arrêts des transports en commun.
- **Carte de population** : Montre la répartition démographique et la densité de population d'une région.
- **Carte d'utilisation des terres** : Indique comment les terres sont utilisées, que ce soit pour l'agriculture, l'urbanisation ou d'autres fins.
- **Carte de relief** : Met en évidence les caractéristiques du relief, telles que les montagnes et les vallées.
- **Carte historique** : Représente des informations géographiques à des époques antérieures.

Important

Dans le domaine de la cartographie de l'environnement, les cartes topographiques et les cartes thématiques servent des objectifs distincts et fournissent des informations différentes. **(Selon le contenu)** Celle retenue ici repose sur la notion de contenu des cartes et retient la distinction entre cartes topographiques et cartes thématiques.

La compétence en lecture de cartes est fondamentale dans la cartographie environnementale, dépassant les seules cartes topographiques et thématiques. Elle englobe l'aptitude à interpréter divers types de représentations graphiques, tels que les plans d'utilisation des terres, les cartes de population, les cartes climatiques, et d'autres. Cela implique le contenu des cartes : le mode d'expression.

5. Les cartes topographiques

Une carte topographique est une représentation détaillée du relief terrestre, offrant une vue précise et exhaustive des caractéristiques naturelles et humaines d'une région spécifique. À travers des lignes de contour, des symboles et des couleurs, elle présente les variations d'altitude, les cours d'eau, les routes, les structures humaines, et bien plus encore. Essentielle pour la navigation en plein air, la planification d'itinéraires, et la compréhension approfondie du terrain, la carte topographique constitue un outil inestimable dans la cartographie. Ce cours explore en profondeur la lecture et l'interprétation de ces cartes, permettant une maîtrise complète des informations qu'elles offrent pour une variété d'applications géographiques.

5.1. Définition de la topographie

La topographie est la discipline qui se consacre à la mesure et à la représentation précise des caractéristiques physiques et humaines de la surface terrestre. Elle vise à créer des cartes détaillées, facilitant l'orientation, la planification de projets et la compréhension approfondie de l'environnement. Utilisée dans des domaines tels que la cartographie, l'urbanisme et l'ingénierie, la topographie est essentielle pour une variété d'applications géographiques.

5.2. Définition de la carte topographique

Une carte topographique est une représentation détaillée du relief terrestre, fournissant des informations sur les altitudes, les cours d'eau, et d'autres caractéristiques géographiques.

Elle utilise des lignes de contour pour indiquer les variations d'altitude et des symboles pour représenter des éléments tels que les routes et les structures humaines. Essentielle pour la navigation et la planification, elle traduit la surface tridimensionnelle de la Terre en une forme bidimensionnelle.

5.3.Définition selon Comité Français de Cartographie

*" une **carte topographique** est une représentation exacte et détaillée de la surface terrestre, concernant la position, la forme, les dimensions et l'identification des accidents du terrain, ainsi que des objets qui s'y trouvent en permanence ''.*

Pour les cartes topographiques, les échelles sont arrêtées :

- 1) Les cartes à grande échelle (de 1/10 000 à 1/25 000)
- 2) Les cartes à moyenne échelle (de 1/50 000 à 1/100 000),
- 3) Les cartes à petite échelle (au 1/200 000).

Pour les cartes à des échelles supérieures (1/1 000, 1/2 000, 1/5 000), on parlera de plans et pour les cartes à des échelles inférieures (1/250 000, 1/500 000, 1/1 000 000), on emploiera le terme de **cartes générales**.

5.4.Les principaux éléments de la carte topographique

Les éléments clés d'une carte topographique comprennent d'abord le **titre**, qui identifie la région représentée. Le **cadre** et les **coordonnées** fournissent des repères géographiques essentiels. L'**orientation** indique la direction nord, facilitant la navigation. L'**échelle** exprime la proportion entre les distances sur la carte et la réalité, tandis que la **légende** détaille les symboles et couleurs utilisés. La **toponymie** répertorie les noms de lieux. La **planimétrie** décrit les détails du terrain, tandis que l'**hydrographie** représente les cours d'eau. L'**orographie** indique les reliefs, et la représentation de la **végétation** offre des informations sur le couvert végétal. Ensemble, ces éléments permettent une lecture précise et une compréhension approfondie du paysage représenté sur la carte topographique.

5.5.Elaboration des cartes

L'élaboration des cartes constitue un processus complexe et méthodique visant à transformer des données brutes en représentations cartographiques précises et informatives. Ce processus comprend plusieurs étapes clés, notamment la collecte des données géographiques pertinentes, leur traitement, la sélection des éléments à représenter, et enfin, le choix des symboles, couleurs et échelles appropriés.

Des outils informatiques et des logiciels spécialisés sont souvent utilisés pour assurer une précision et une efficacité maximales. Cette section explorera en détail chaque phase du processus d'élaboration des cartes, offrant une compréhension approfondie des techniques et des méthodes employées dans la création de cartes précises et informatives.

Exemple l'établissement d'une carte topographique comporte plusieurs étapes :

Etape 1 : les levés topographiques

Etape 2 : la restitution cartographique

Etape 3 : l'édition cartographique

5.5.1. Levés Topographiques

Inventaire précis des points du paysage avec leurs coordonnées en latitude, longitude et altitude. Les méthodes incluent l'arpentage, la création de réseaux géodésiques, et l'interprétation d'images satellitaires.

5.5.2. Restitution Cartographique

Sélection, ordonnancement, et traitement des données recueillies, présentées sur un support adapté. À partir de photographies aériennes, la restitution utilise des appareils pour assembler les images et tracer les cartes. Les données des images satellitaires sont transmises directement aux banques de données informatisées.

5.5.3. Édition Cartographique

Uniformisation de la présentation des cartes en suivant des conventions strictes pour l'orientation, les symboles, les couleurs, les trames, les épaisseurs des traits et les écritures.

Chaque étape est cruciale pour garantir la précision et la fiabilité des cartes topographiques finales.

5.6. Décryptage et lecture des cartes

Le décryptage et la lecture des cartes nécessitent une compréhension approfondie des éléments cartographiques. Cette section se concentre sur les compétences clés pour interpréter les cartes de manière précise. Nous explorerons la signification des lignes de contour, des symboles, des couleurs, ainsi que les techniques pour déterminer l'échelle et l'orientation. En développant ces compétences, les lecteurs seront mieux équipés pour extraire des informations pertinentes **des cartes topographiques**, thématiques, et autres, pour une utilisation efficace dans divers contextes géographiques et environnementale.

Des très nombreuses informations, correspondant aux phénomènes qui existent de façon permanente dans le paysage figurent sur les cartes topographiques. Pratiquement, on les classe en trois catégories :

- 1. Les éléments de la topographie**
- 2. Les éléments de la planimétrie**
- 3. Les éléments de la toponymie**

5.7. Les éléments de la topographie

La complexité réside dans la représentation en deux dimensions d'un phénomène tridimensionnel impliquant la longitude, la latitude et l'altitude. Pour surmonter ce défi, divers artifices graphiques sont utilisés. Le relief, par exemple, est rendu par des courbes de niveau, un estompage, des figurés spéciaux et des points cotés.

5.7.1. Les courbes de niveau

Les règles relatives aux courbes de niveau sont les suivantes : Les courbes de niveau servent à représenter l'orographie ou le relief. Chaque courbe de niveau indique un ensemble de points ayant la même altitude. Le niveau de référence 0 correspond au niveau moyen des marées à un emplacement spécifique.

- **Courbes maîtresse** : Ce sont des courbes représentées par un très fort visible, sur laquelle l'altitude est indiquée. (Les sens des écritures correspondent au sens de la pente).
- **Courbe normale** : on distingue 04 courbes normales entre deux courbes maîtresses. Une courbe normale est dessinée en très fin.
- **Courbe intercalaire (intermédiaire)** : Une courbe intercalaire est dessinée en trait discontinu, utilisée dans le cas où l'équidistance est trop grande afin de préciser les faibles pentes. (Régions peu accidentées)

5.7.2. L'équidistance

Représente la distance verticale entre des courbes de niveau successives. Son ajustement varie en fonction de l'échelle de la carte, avec des valeurs telles que $e=5\text{m}$, $e=10\text{m}$, $e=20\text{m}$. Toutefois, cette équidistance demeure constante pour une même carte. En général pour les cartes topographiques, les équidistances sont de :

- ✓ 5 m à l'échelle 1/25 000,
- ✓ 10 m à l'échelle 1/50 000,
- ✓ 50 m aux échelles 1/100 000 et 1/200 000

Exemple : pour une échelle au 1/25000 $e = 5$ en région peu accidentée, et $e = 10\text{m}$ en région montagneuse.

Intuitivement et la lecture des courbes n'est pas toujours évidente. Par contre, l'effet de masse provoqué par le groupement des courbes permet de "voir" que le terrain est accidenté et que la pente est d'autant plus forte que l'effet d'ombre est plus grand.

5.7.3. L'estompage

L'estompage est une technique conçue pour accentuer la perception du relief associé aux courbes de niveau. Il introduit un effet plastique en simulant un jeu de lumière qui projette des ombres sur certains versants tout en éclairant d'autres. Dans ce processus, une source lumineuse hypothétique est positionnée au nord-ouest de la carte, avec des rayons formant un angle de 45 degrés par rapport au plan. Les versants exposés au sud-est sont ombrés, la densité des ombres étant proportionnelle à la raideur de la pente. De légères ombres sont également dessinées sur les versants éclairés pour les différencier des plaines laissées en blanc. Bien que l'estompage facilite la perception rapide du relief sur les cartes topographiques, il est important de noter qu'il n'est généralement pas présent sur les cartes topographiques à l'échelle de 1/25 000.

5.7.4. Les figurés spéciaux

Il existe un certain nombre d'artifices graphiques permettant une lecture facile de certains éléments de la topographie. Ces artifices concernant deux types de phénomènes : Ceux dont la dénivelée est inférieure à l'équidistance, mais constitue malgré tous les obstacles sur le terrain, **Ex.** ; *les levées de terre, les digues, les terrasses, l'encaissement des oueds, les dunes, les plages de sable.*

Ceux dont la dénivelée est supérieure à l'équidistance et nécessiterait la mise en place de courbe de niveau jointives, nuisant à la lisibilité, **Ex.** ; *les falaises, les corniches, les dunes.*

5.7.5. Les points cotés

Les points cotés ont pour rôle de faciliter l'identification des courbes de niveau tout en précisant l'altitude de quelques points remarquables de l'orographie ou de la planimétrie. Il existe deux types de points cotés :

- **Les points cotés simples**, définis par interpolation
- **Les points cotés géodésiques**, pour lesquels on connaît avec précision la position en x, y et z (longitude, latitude, altitude). Les points géodésiques sont représentés sur les cartes par des triangles.
 - ✓ **Point coté : (Sur une carte)**, un point pour lequel l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer est indiquée, habituellement au moyen d'un point avec une cote d'altitude ; les points cotés sont utilisés partout où il est pratique de le faire (intersections de routes, sommets, lacs, grandes étendues planes et dépressions).
 - ✓ **Point coté : (A côté des courbes de niveau)**, il existe un certain nombre de points remarquables où l'altitude exacte est donnée, permettant de trouver facilement la valeur des courbes de niveau proches.

5.8. Les éléments de la planimétrie

La planimétrie concerne tous les éléments qui existent de façon durable à la surface du sol, à l'exception des formes du relief. Il existe une infinité de détails planimétriques, que l'on peut classer en 4 catégories :

- 1- Les éléments de la végétation,
- 2- L'hydrographie qui apparaît en bleu,
- 3- Les éléments de l'occupation humaine,
- 4- Les éléments abstraits

5.8.1. Éléments de la végétation

Cela inclut la représentation des zones boisées, des forêts, des parcs, des vergers, et d'autres types de végétation. Les symboles utilisés peuvent varier en fonction du type de couverture végétale.

5.8.2. Hydrographie

L'hydrographie se réfère à la représentation des caractéristiques liées à l'eau, telles que les rivières, les lacs, les étangs, les canaux, etc. En planimétrie, ces éléments sont généralement représentés en bleu pour indiquer l'eau.

5.8.3. Éléments de l'occupation humaine

Cela englobe les zones urbaines, les villages, les villes, les infrastructures humaines comme les routes, les ponts, les bâtiments, les zones industrielles, les aéroports, etc. Ces éléments reflètent l'impact de l'activité humaine sur le paysage.

5.8.4. Éléments abstraits

Les éléments abstraits peuvent inclure des symboles ou des représentations graphiques qui ne sont pas directement liés à des caractéristiques physiques tangibles. Cela pourrait englober des limites administratives, des symboles conventionnels ou d'autres informations non spatiales.

5.9. Les éléments de la toponymie

La toponymie concerne les noms de lieux, on distingue deux types de noms :

5.9.1. Les noms à position

Concernent les éléments ponctuels sur la carte, tels les noms de villes, de marabouts, de sources, Ils apparaissent en écriture droite et sont disposés horizontalement sur la carte

5.9.2. Les noms à disposition

concernant les éléments linéaires et surfaciques et de la carte (Djbel, oueds, Mechta) Ils sont matérialisés par des écritures italiques. Les noms à disposition linaires épousent le tracé de la ligne à laquelle ils se rapportent.

6. Habillage de carte

L'habillage de carte constitue l'ensemble des éléments graphiques et informatifs ajoutés à une carte pour améliorer sa présentation et faciliter sa compréhension. Les choix de couleurs, de polices, de symboles, ainsi que l'ajout de légendes, de titres et de flèches directionnelles. En comprenant l'importance de ces éléments, les cartographes pourront créer des cartes visuellement attrayantes et informatives, adaptées à différents publics et objectifs.

- 1. Le titre**
- 2. Les coordonnées**
- 3. La direction du Nord**
- 4. Les dates de levés de terrain, de mises à jour, de complètement ou de révision.**
- 5. Les informations techniques**
- 6. La carte (Les signes élémentaires de l'expression cartographique)**

6.1. Le Titre

Le titre d'une carte est une composante essentielle, identifiant clairement la région ou le sujet représenté. Il offre une première indication du contenu de la carte. Il correspond au nom de l'agglomération principale ou du relief le plus important figurant sur la carte. Ex. Mila, Mechta Zrazer.

6.2. Les Coordonnées

Les coordonnées géographiques, telles que la latitude et la longitude, sont cruciales pour la localisation précise des points sur la carte, facilitant la navigation et l'orientation.

6.3. La Direction du Nord

La flèche indiquant la direction du nord est fondamentale pour comprendre l'orientation de la carte par rapport au terrain réel. Elle correspond à la direction des méridiens. Mais le bord des cartes porte des indications supplémentaires, puisqu'il existe trois Nord.

- **Le Nord astronomique ou géographique (NG)**, dont la direction est située dans le plan du méridien ;
- **Le Nord de la carte, ou Nord des coordonnées Lambert (NL)**. L'angle que fait la direction du Nord avec les méridiens est appelé "angle de convergence de méridien" (γ).

- **Le Nord magnétique**, dont la déclinaison, c'est-à-dire l'angle de la direction de l'aiguille aimantée avec le Nord géographique, est variable dans le temps. On en précise la date, ainsi que l'angle de déclinaison.

6.4. Les Dates

Les dates de levés, de mises à jour, de compléments ou de révisions fournissent des informations sur la temporalité des données, assurant ainsi la fiabilité et la pertinence de la carte.

6.5. Les Informations Techniques

Cela englobe les détails techniques tels que l'échelle de la carte, l'équidistance des courbes de niveau, et d'autres paramètres qui influent sur l'interprétation correcte de la carte ou d'autre.

Concernant l'ellipsoïde de référence, Pour établir les cartes on doit connaître la forme et les dimensions de la Terre, qui n'est pas sphérique mais légèrement aplatie aux pôles.

Quelle est la surface qui se rapproche le plus de la terre ? C'est une sphère, ou mieux encore un ellipsoïde de référence. Un point à la surface de la terre peut donc avoir autant de coordonnées géographiques que de systèmes de références. Historiquement de nombreux ellipsoïdes ont pu être adoptés.

6.5.1. Le géoïde

C'est une surface mathématique complexe. D'une manière simple le géoïde représente la terre débarrassée de son relief. Sur le géoïde tous les points ont une altitude nulle. C'est le niveau moyen de la mer prolongée sous les continents.

6.5.2. Ellipsoïde

Des mathématiciens ont travaillé sur la modélisation du globe et l'ont rapproché à un ellipsoïde, c'est-à-dire au volume qu'aurait créé une ellipse tournant sur elle-même. La chose ne devait pas être si simple que cela car en France il est commun d'utiliser 4 modélisations qui correspondent en fait à 4 systèmes géodésiques qui regroupent un ellipsoïde propre, une méridienne origine (Paris, Potsdam, Greenwich), et une unité d'angle (degré ou grade) Clarke 1880 associé au système NTF (Nouvelle Triangulation Française).

6.6. La Carte (Signes Élémentaires)

Les symboles et signes élémentaires utilisés sur la carte, tels que les courbes de niveau, les routes, les rivières, et autres, sont essentiels pour comprendre les caractéristiques géographiques représentées sur la carte.

6.6.1. Signes Élémentaires

La représentation cartographique repose sur trois types de représentations ou expressions fondamentales des informations géographiques. Les entités géographiques représentent des objets situés sur la surface de la Terre, ou à proximité de celle-ci. Il peut s'agir d'éléments naturels (fleuves et végétation), de constructions (routes, pipelines, puits et bâtiments) et de subdivisions du sol (comtés, divisions politiques et parcelles). Bien qu'il existe d'autres types d'entités, les entités géographiques sont généralement représentées par des points, des lignes ou des polygones.

6.6.1.1. Les points

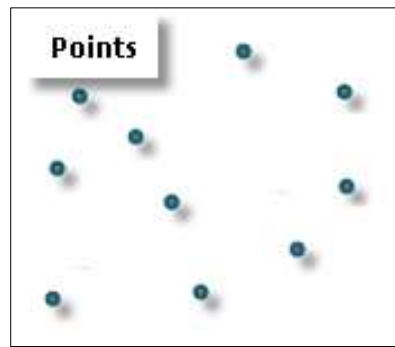


Figure N°01 : Représentation cartographique par points.

6.6.1.2. Les lignes

Représentent la forme et la localisation d'objets géographiques trop étroits pour être décrits sous forme de surfaces (axe de rue et cours d'eau). Elles permettent également de représenter des entités qui ont une longueur mais aucune surface, telles que les isolignes et les limites administratives. (Les contours sont particulièrement intéressants, comme vous le lirez plus tard, car ils fournissent une des solutions pour représenter des surfaces continues.)

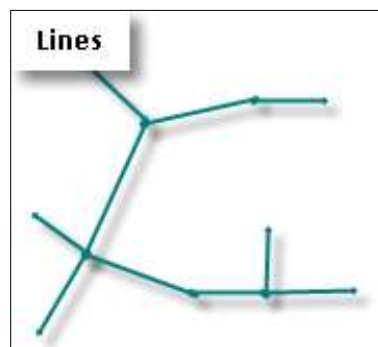


Figure N°02 : Représentation cartographique par lignes.

6.6.1.3. Les polygones

Sont des surfaces fermées (figures à nombreux côtés) qui représentent la forme et la localisation d'entités homogènes (états, comtés, parcelles, types de sol et zones d'utilisation du sol). Dans l'exemple ci-dessous, les polygones représentent des parcelles.

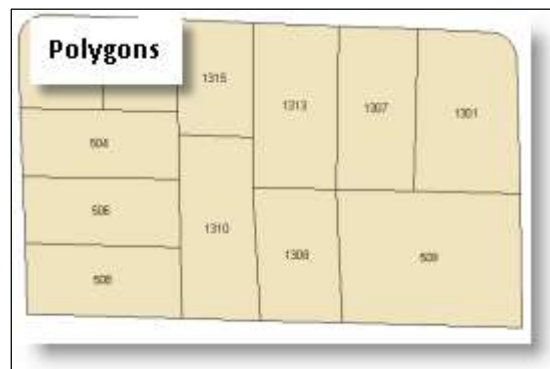


Figure N°03 : Représentation cartographique par polygones.

7. Les cartes thématiques

Les cartes thématiques, objet central de prochain chapitre, sont des outils cartographiques spécialisés conçus pour mettre en lumière des aspects spécifiques de la géographie, de l'environnement...etc . Ces cartes vont au-delà de la représentation générale du terrain pour se concentrer sur des thèmes tels que la géologie, la démographie, l'hydrologie, le climat, et bien d'autres. Elles offrent une perspective détaillée et ciblée, mettant en évidence des informations cruciales dans des domaines spécifiques. Au fil du chapitre, nous explorerons en détail la conception, l'interprétation et l'utilisation de ces cartes thématiques, soulignant leur importance dans la recherche, la planification et l'analyse de l'environnement.

8. Les cartes thématiques et topographiques

8.1. Carte thématique

- **Objectif** : Mettre l'accent sur des aspects spécifiques de l'environnement en se concentrant sur un thème particulier.
- **Contenu** : Peut inclure des informations sur la végétation, la biodiversité, la qualité de l'air, la géologie, etc., en fonction du thème choisi.
- **Utilisation** : Analyse thématique, études environnementales, planification ciblée basée sur des paramètres spécifiques.

8.2. Carte topographique

- **Objectif** : Représenter avec précision et détails les caractéristiques physiques et humaines du terrain.
- **Contenu** : Altitudes, reliefs, cours d'eau, routes, frontières administratives, et autres éléments géographiques.
- **Utilisation** : Orientations en plein air, randonnées, planification de projets d'aménagement du territoire.

La carte topographique se concentre sur la représentation détaillée du terrain, tandis que la carte thématique met en avant des informations spécifiques liées à un thème environnemental particulier. Les deux types de cartes sont complémentaires et peuvent être utilisés conjointement pour une compréhension complète de l'environnement d'une région donnée.

CHAPITRE II : CARTOGRAPHIE THEMATIQUE

1. Introduction

La cartographie thématique, véritable art de représenter visuellement des informations spécifiques sur un territoire donné, transcende les simples lignes et formes pour donner vie à la complexité du monde qui nous entoure. Ce chapitre nous plongera dans l'univers captivant des cartes thématiques, explorant comment elles deviennent des outils puissants pour communiquer des tendances, des phénomènes et des relations complexes. À travers cette cartographie spécialisée, nous découvrirons comment les données prennent forme, offrant un éclairage unique sur des sujets aussi variés que fascinants. C'est le monde dynamique de la cartographie thématique, où chaque carte raconte une histoire unique et éclaire d'une lumière particulière la richesse et la diversité de notre monde.

La cartographie thématique, en tant qu'outil de représentation graphique, dévoile les relations spatiales entre différents phénomènes ou thèmes. Les cartes résultant de cette pratique partagent des caractéristiques communes et s'inscrivent dans le domaine de l'expression visuelle, en suivant les principes de la sémiologie graphique. Contrairement aux cartes topographiques, la cartographie thématique va au-delà d'une simple représentation artistique de l'espace. Elle vise à transmettre une information spécifique, à mettre en lumière des aspects qui ne seraient pas immédiatement perceptibles.

Les cartes thématiques ne se contentent pas de décrire la forme matérielle des objets et des phénomènes dans l'espace, mais elles se concentrent sur la représentation précise d'un type spécifique de données pour mieux qualifier ces objets et phénomènes. Par exemple, au lieu de considérer les bois et les forêts simplement comme des éléments du paysage, une carte thématique les présente comme l'objet central de la représentation, mettant en évidence des caractéristiques telles que les types de boisements, les propriétaires ou gestionnaires, les modes d'exploitation, etc. Ainsi, la cartographie thématique transcende la simple apparence physique pour révéler des informations essentielles et parfois invisibles.

2. Définitions

2.1. Cartographie thématique

La cartographie thématique désigne la représentation graphique des relations spatiales entre différents phénomènes ou thèmes spécifiques. Elle se caractérise par l'utilisation de cartes visuelles, régies par les principes de la sémiologie graphique, afin de transmettre des informations ciblées et d'accentuer des aspects particuliers de l'espace géographique. Contrairement aux cartes topographiques, la cartographie thématique va au-delà de la simple description physique de l'espace, cherchant à communiquer des messages et à mettre en lumière des informations qui ne seraient pas directement perceptibles.

Les termes "carte" et "cartographie thématique" sont désormais établis pour décrire ces pratiques. Leur objectif est de fournir, sur un fond de référence, une représentation conventionnelle de divers phénomènes à distribution spatiale et de leurs interrelations à l'aide de symboles qualitatifs ou quantitatifs. Ces phénomènes, qui peuvent être nombreux tant dans l'espace que dans le temps, distinguent la cartographie thématique de la simple représentation planimétrique et altimétrique des cartes topographiques.

2.2. Définition de la carte thématique

Une carte thématique est une représentation graphique qui met en évidence la répartition spatiale de données spécifiques liées à un ou plusieurs thèmes dans des zones géographiques déterminées. Ces cartes peuvent revêtir une nature qualitative, dépeignant par exemple les principaux types de fermes, ou quantitative, présentant des variations en pourcentage de la population. Souvent appelées cartes spéciales à sujet unique ou cartes statistiques, les cartes thématiques se concentrent sur la variabilité spatiale des distributions ou des données liées à un thème particulier, se distinguant ainsi des cartes de référence qui mettent l'accent sur la localisation et le nom des caractéristiques physiques.

La carte thématique offre une perspective visuelle concentrée sur des thèmes spécifiques, facilitant la communication et l'analyse des informations géographiques.

3. Conception des cartes thématiques

Les cartes thématiques intègrent des données géographiques ou de référence, comme les noms des localités ou les principales étendues d'eau, afin d'orienter le lecteur dans la région géographique représentée. Elles se composent généralement de deux éléments fondamentaux : un fond de carte et des données statistiques. Ces éléments sont habituellement présentés sous forme de fichiers numériques, tels que des fichiers délimitant les contours géographiques et des fichiers de données du recensement. La création de ces cartes s'effectue généralement à l'aide de systèmes d'information géographique 'SIG' sur micro-ordinateur ou de logiciels de cartographie.

La conception des cartes thématiques implique plusieurs étapes cruciales visant à présenter de manière efficace des informations spécifiques liées à un thème particulier. Voici une approche générale de la conception de ces cartes :

4. Définition du thème

Identifiez clairement le thème que vous souhaitez représenter sur la carte. Que ce soit la distribution démographique, la répartition des ressources naturelles, ou d'autres sujets, la clarté du thème est essentielle.

- **Collecte de données :** Rassemblez des données pertinentes et précises liées au thème choisi. Les sources de données peuvent varier, de recensements officiels à des enquêtes spécialisées.
- **Choix de la méthodologie :** Sélectionnez la méthodologie appropriée pour représenter les données, que ce soit à travers des symboles, des couleurs, des lignes de contour, ou d'autres éléments graphiques. La méthode doit être adaptée au type de données que vous souhaitez visualiser.
- **Sélection du support cartographique :** Choisissez le fond de carte approprié en fonction de votre sujet. Cela peut inclure des cartes topographiques, des cartes politiques, ou d'autres types de cartes de base.
- **Utilisation de logiciels spécialisés :** Employez des logiciels de cartographie ou des systèmes d'information géographique (SIG) pour faciliter la création et la manipulation des éléments graphiques. Ces outils permettent une personnalisation approfondie et une meilleure précision.

- **Simplification et clarté** : Veillez à simplifier l'information pour garantir une compréhension rapide. La clarté dans la représentation est essentielle pour que les lecteurs puissent interpréter facilement les données.
- **Ajout d'éléments complémentaires** : Intégrez des éléments supplémentaires tels que des légendes, des titres, et des échelles pour fournir un contexte et aider les lecteurs à interpréter la carte.
- **Révision et évaluation** : Révissez attentivement la carte pour corriger les erreurs potentielles et évaluez son efficacité en la montrant à un public cible. Cela permet d'ajuster la conception en fonction des retours reçus.
- En suivant ces étapes, la conception des cartes thématiques peut aboutir à des représentations visuelles informatives et impactantes.

5. Classes des cartes thématiques

Les cartes thématiques peuvent être classées en différentes catégories en fonction de la nature des données qu'elles représentent. Voici quelques classes courantes de cartes thématiques :

- **Carte géologique** : roches affleurantes,
- **Carte météorologique** : Phénomène météorologique,
- **Carte climatologique** : Température et précipitation,
- **Carte pédologique** : nature et type de sol,
- **Carte orohydrographique** : rivières et altitude du terrain,
- **Carte marine et relief marin** : connaître le fond marin,

Les sortes de cartes thématiques sont aussi nombreuses que les thèmes à traiter. Du moins peut-on les classer du point de **vue méthodologique** :

6. Les cartes analytiques

Représentent l'extension et la répartition d'un phénomène donné dans le but de préciser ses rapports avec l'espace géographique. Ainsi les cartes d'inventaire, ou de référence, sortes de répertoires localisés de faits : cartes de distribution (population), de réseaux (routes), cartes chorochromatiques de surfaces enserrées dans des contours (cartes géologiques) ou des lignes isarithmes (cartes de précipitations, températures, etc.)

7. Les cartes synthétiques

Regroupent par superposition ou imbrication les données de plusieurs cartes analytiques dans un but d'explication ou de présentation d'un phénomène complexe. Ainsi les cartes de corrélations combinent les variables multiples qu'on veut mettre en rapport, alors que les cartes typologiques représentent des ensembles caractérisés par des combinaisons préalablement définies (cartes des types de sols, des paysages ruraux, etc.).

8. Cartes analytiques et cartes synthétiques

Peuvent être traitées d'une manière statique exprimant le sujet à un moment donné, ou d'une manière dynamique traduisant le mouvement dans le temps (cartes d'évolution) ou dans l'espace (cartes de flux).

9. Concepts spatiaux

En cartographie thématique, les données sont visuellement représentées en se basant sur des concepts spatiaux tels que la densité, les proportions, les pourcentages, les indices et les

tendances, ainsi que des procédés tels que le calcul de moyennes. Afin de faciliter la comparaison entre des éléments, les données sont normalisées en les ramenant à des unités standard comme des kilomètres carrés, ou en les convertissant en situations standard. Par exemple, lors de la comparaison des températures moyennes mesurées à différentes latitudes, l'altitude des stations où les températures sont enregistrées est évaluée par rapport au niveau de la mer. Ensuite, ces données sont ramenées au niveau de la mer en utilisant une règle stipulant qu'à chaque hectomètre d'altitude au-dessus du niveau de la mer correspond une diminution d'1°C de la température moyenne. **La cartographie spatiale** est une discipline qui se concentre sur la représentation graphique de l'espace et des objets spatiaux.

10. Analyse de données

L'analyse de données en cartographie thématique implique la représentation visuelle et l'interprétation de données spécifiques à un thème particulier sur une carte. Avant de procéder à la cartographie des données, une analyse préalable des caractéristiques de ces données s'impose. On doit déterminer si les données représentent des qualités distinctes (données nominales) ou si elles suivent un ordre spécifique (tel que froid-tiède-chaud-très chaud ou hameau-village-ville-agglomération-métropole), auquel cas elles sont qualifiées de données ordinales. Si les données mesurent des quantités, celles-ci peuvent être définies par rapport à une référence arbitraire, comme le point de congélation de l'eau dans le cas de la température, et sont alors considérées comme des données d'intervalle. Alternativement, elles peuvent être liées à une valeur absolue permettant le calcul de ratios, qualifiées alors de données de ratio.

La représentation visuelle des relations entre les données s'effectue à l'aide de variables graphiques, telles que des variations de couleur, de forme, de valeur ou de taille, que les lecteurs de cartes interprètent comme des similitudes, des hiérarchies ou des quantités. Les différences de taille, qu'elles soient exprimées par des points, des lignes ou des symboles de surface, sont perçues comme des variations quantitatives. Les différences de teinte ou de valeur, par exemple la nuance claire ou foncée d'une même couleur, sont interprétées avec une connotation de hiérarchie, les teintes foncées représentant des quantités relatives plus importantes et les teintes claires des quantités relatives moindres.

En excluant les exemples liés à la texture du motif et à l'orientation du motif, rarement utilisés en cartographie thématique, on constate que les différences de teintes sont perçues comme des distinctions nominales ou qualitatives, tout comme les différences de forme. Lorsque des différences de forme sont employées pour symboliser des données qualitatives, les éléments ou espaces appartenant à une même classe ne sont pas nécessairement identifiables en tant que tels, une situation similaire à l'utilisation de couleurs distinctes.

11. Types de cartes thématiques

Les cartes thématiques sont des représentations visuelles de données spécifiques liées à un sujet particulier. Elles se déclinent en divers types, chacun étant conçu pour représenter des informations variées. Ces catégories de cartes se distinguent par les variables graphiques employées, influençant ainsi la perception des relations géographiques par les utilisateurs. Voici quelques-uns des types de cartes thématiques fréquemment utilisés.

11.1. Cartes chorochromatiques

Les cartes chorochromatiques représentent visuellement des données quantitatives à l'échelle géographique en utilisant des variations de couleur. Chaque couleur ou teinte indique une plage spécifique de valeurs, permettant une identification rapide des tendances et des disparités dans différentes régions. Elles sont largement utilisées dans des domaines tels que la démographie et l'économie pour mettre en évidence des variations géographiques. Illustrant des différences qualitatives grâce à l'utilisation de couleurs différentes.

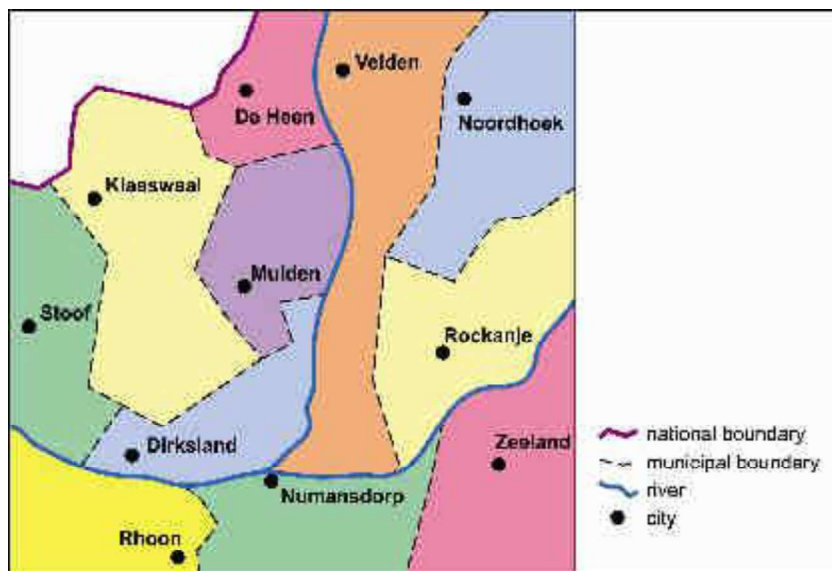


Figure N°04 : Cartes chorochromatiques.

11.2. Cartes choroplèthes

Cette carte utilise des couleurs ou des motifs pour représenter des variations dans une variable spécifique à travers différentes zones géographiques, comme la densité de population, le PIB (produit intérieur brut) par habitant, etc. Illustrant des différences de quantités relatives grâce à des différences de valeur ou de teinte.

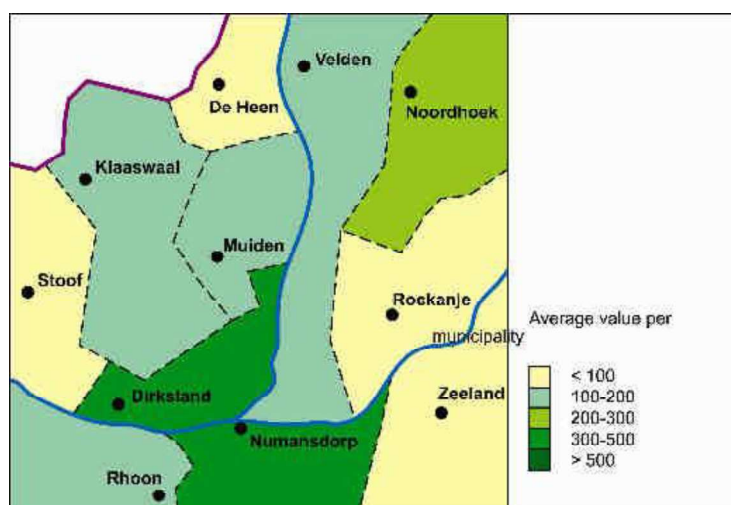


Figure N°05 : Carte choroplèthes.

11.3. Cartes à symboles

Les cartes à symboles sont un type de cartes thématiques qui utilisent des symboles graphiques pour représenter des données spécifiques à des emplacements géographiques particuliers. Ces symboles peuvent varier en taille, en couleur, en forme ou en d'autres attributs pour transmettre des informations spécifiques. Proportionnels, illustrant des différences de quantités absolues grâce à des différences de taille.

Sur une carte à symboles, chaque symbole peut représenter une quantité définie d'une variable particulière, comme la population, la production agricole, ou tout autre paramètre pertinent. La taille ou la couleur des symboles peut être proportionnelle à la valeur qu'ils représentent, facilitant la compréhension visuelle des variations spatiales.

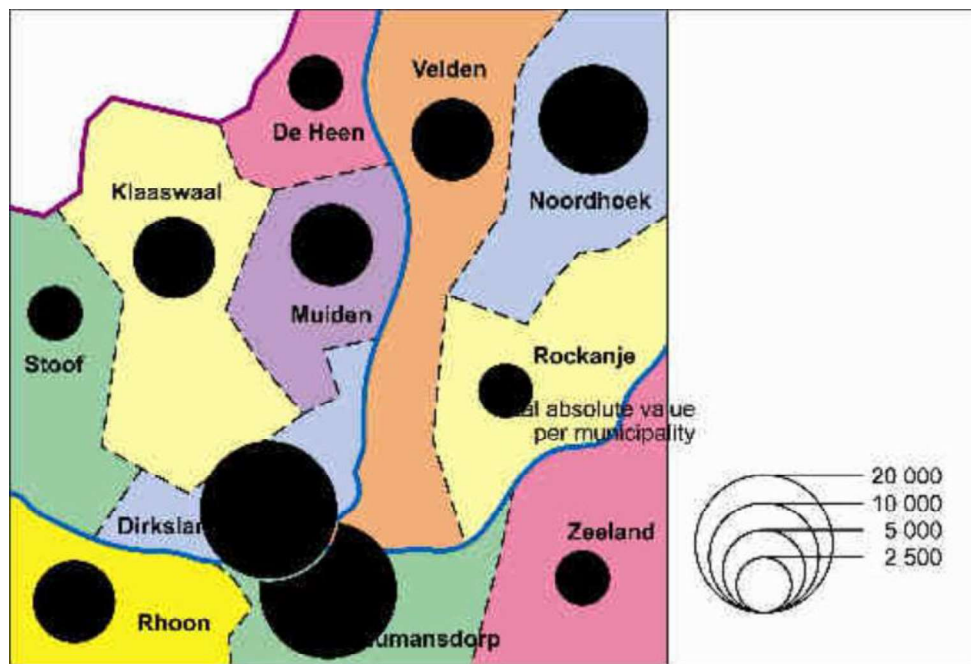


Figure N°06 : Cartes à symbole.

11.4. Cartes à isolignes

Les cartes à isolignes, également connues sous le nom de cartes isoplèthes, sont des cartes thématiques qui utilisent des lignes pour connecter des points de même valeur d'une variable spécifique. Ces lignes, appelées isolignes, représentent des niveaux équivalents de la grandeur mesurée, créant ainsi une cartographie des contours ou des courbes continues. Typiquement utilisées pour représenter des données topographiques ou des phénomènes physiques, comme la température ou la pression, les cartes à isolignes permettent de visualiser la variation spatiale des paramètres. Les lignes peuvent être rapprochées pour indiquer des changements abrupts, ou espacées pour représenter des variations plus graduelles. Identifiant des différences de valeurs absolues ou relatives sur une surface perçue comme une continuité.

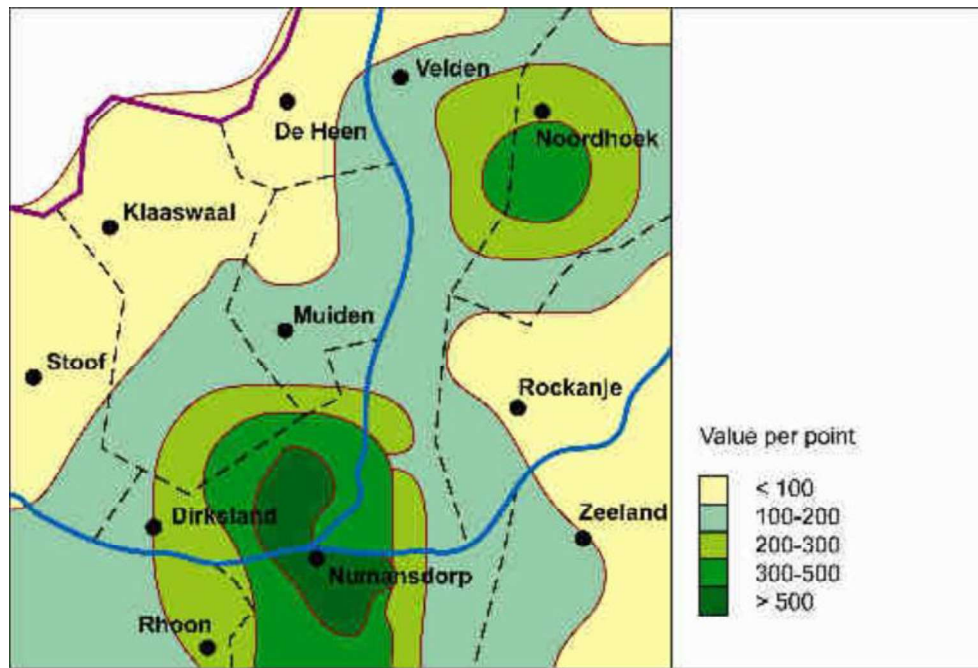


Figure N°07 : Cartes à isolignes.

Les cartes à isolignes offrent une représentation graphique efficace pour comprendre la topographie ou d'autres caractéristiques géographiques, permettant aux utilisateurs de percevoir les contours et les tendances du terrain ou des données mesurées.

11.5. Cartes à diagrammes

Les cartes à diagrammes sont un type de cartes thématiques qui utilisent des diagrammes pour représenter des données spécifiques sur une carte géographique. Ces diagrammes peuvent prendre la forme de barres, de cercles, de bulles ou d'autres représentations graphiques, et ils sont placés stratégiquement sur la carte pour indiquer des informations spécifiques à des emplacements géographiques particuliers. L'objectif principal des cartes à diagrammes est de fournir une visualisation claire et concise des données tout en préservant la référence spatiale. Chaque diagramme sur la carte représente généralement une quantité ou une statistique associée à un lieu spécifique.

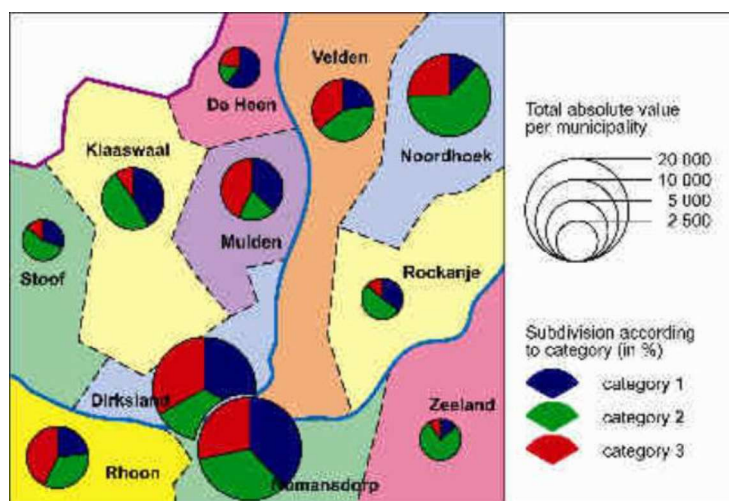


Figure N°08: Cartes à diagrammes.

Ce type de carte est souvent utilisé pour représenter des données statistiques complexes, telles que la démographie, l'économie ou d'autres variables multidimensionnelles. Les cartes à diagrammes permettent aux utilisateurs de saisir rapidement les tendances et les variations spatiales des données présentées.

11.6. Cartes de flux

Les cartes de flux sont un type particulier de cartes thématiques qui représentent graphiquement les déplacements ou les flux entre différentes régions ou points géographiques. Ces cartes mettent en évidence la direction, l'intensité et les relations entre les entités, que ce soit pour représenter des migrations, des échanges commerciaux, des itinéraires logistiques ou d'autres flux de données. Les éléments clés des cartes de flux comprennent des flèches ou des lignes qui indiquent la direction du mouvement, la largeur de ces flèches représentant généralement l'intensité du flux. Les origines et les destinations des flux sont également marquées sur la carte.

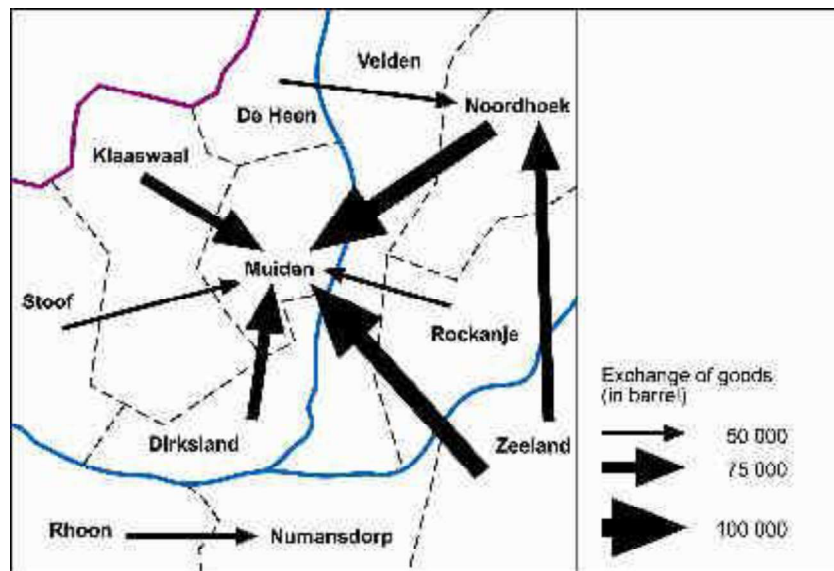


Figure N°09 : Cartes de flux.

Les cartes de flux sont largement utilisées dans des domaines tels que la géographie, la démographie, l'économie et la logistique pour visualiser et analyser les relations spatiales entre différentes entités et les mouvements qui les relient. Ces cartes facilitent la compréhension visuelle des schémas de déplacement et des interactions entre les régions.

11.7. Cartes de répartition par points

Les cartes de répartition par points sont un type de cartes thématiques qui utilisent des points pour représenter des emplacements spécifiques associés à des données particulières. Chaque point sur la carte indique la présence ou la concentration d'une caractéristique particulière à un endroit donné. Ces cartes sont souvent utilisées pour visualiser la distribution géographique d'événements, de phénomènes ou d'objets. Les points peuvent varier en taille, en couleur ou en d'autres attributs en fonction de la quantité ou de l'importance des données qu'ils représentent. Représentant la répartition de phénomènes discrets avec des points de valeur égale.

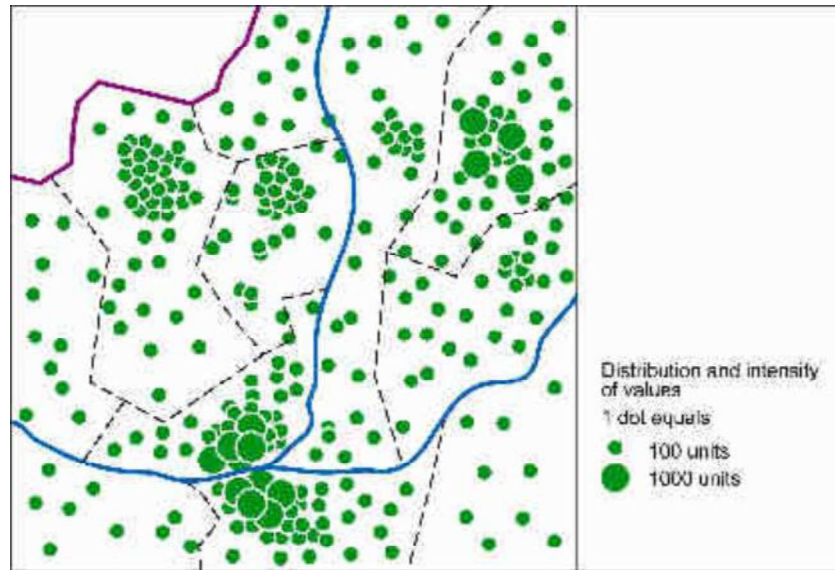


Figure N°10 : Cartes de répartition par points.

Les cartes de répartition par points sont couramment employées dans des domaines tels que la cartographie de la biodiversité, la localisation d'événements, ou la représentation de sites archéologiques, offrant une visualisation claire des concentrations et des distributions spatiales.

11.8. Cartes avec représentation combinée

Les cartes avec représentation combinée intègrent plusieurs types de représentations visuelles sur une même carte, tels que des symboles, des couleurs et des diagrammes, pour fournir une vue d'ensemble détaillée et multidimensionnelle des données géographiques. Ces cartes offrent une représentation visuelle riche et complète des informations complexes.

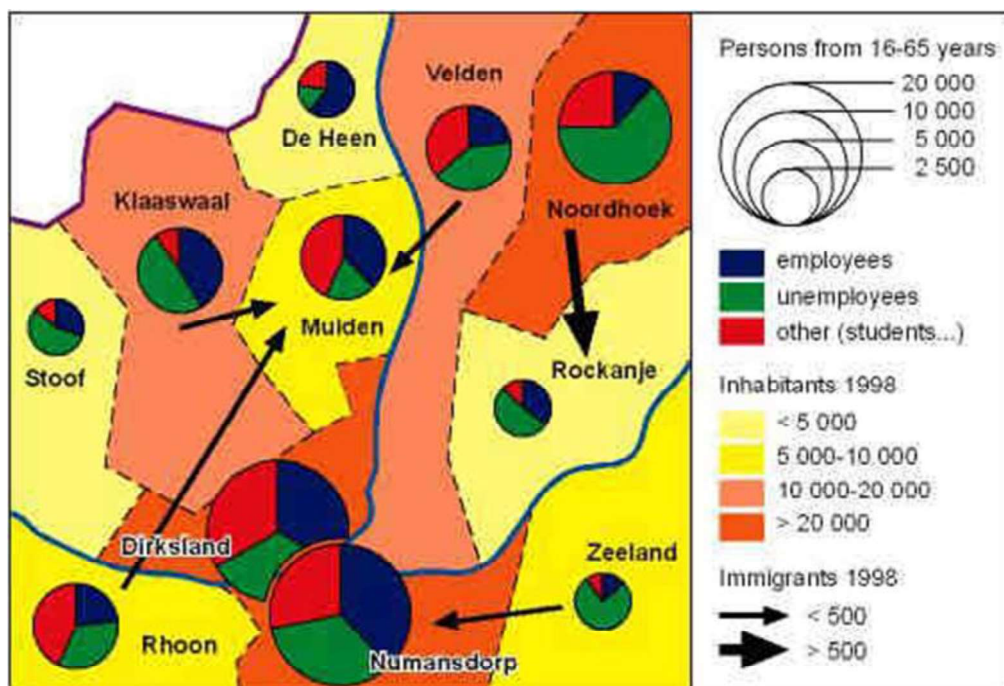


Figure N°11 : Cartes avec représentation combinée.

En conclusion, la cartographie thématique constitue une approche essentielle pour représenter graphiquement des données spécifiques liées à des thèmes particuliers. Les cartes thématiques offrent une compréhension visuelle des variations spatiales des informations, facilitant la communication et l'analyse dans divers domaines. La typologie des cartes thématiques varie en fonction des variables graphiques utilisées, allant des choroplèthes et isolignes aux cartes à symboles et de flux.

Ces différentes catégories de cartes thématiques trouvent des applications variées, de la démographie à la géologie, en passant par l'économie et l'environnement. Elles permettent de visualiser des tendances, des concentrations, des relations spatiales et des disparités dans les données, fournissant ainsi des outils puissants pour la prise de décision, la planification et la gestion des ressources.

Dans le contexte environnemental, les cartes thématiques sont cruciales pour représenter la répartition des écosystèmes, la biodiversité, les changements climatiques, et d'autres facteurs environnementaux. Elles jouent un rôle essentiel dans la sensibilisation du public, la gestion durable des ressources et la promotion de pratiques respectueuses de l'environnement. En somme, la cartographie thématique est une ressource précieuse pour comprendre et agir dans le contexte complexe de notre environnement.

CHAPITRE III : COORDONNEES GEOGRAPHIQUES

1. Introduction

Afin de déterminer une position sur la Terre, l'utilisation d'un système géodésique est essentielle, à partir duquel découlent les coordonnées géographiques présentes sur les cartes. Pour comprendre ces coordonnées, il est nécessaire d'aborder certaines notions liées à la forme de la Terre, telles que le géoïde et les systèmes de projections. Un système géodésique représente une modélisation de la forme de la Terre, généralement défini par trois coordonnées : la latitude, la longitude, et l'altitude (ou élévation), mesurée par rapport au niveau moyen de la mer (élévation orthométrique) ou par rapport à une surface de référence, souvent un ellipsoïde (élévation ellipsoïdale).

Le chapitre des coordonnées géographiques nous invite à plonger dans l'essence même de la localisation sur notre planète. À travers l'utilisation de systèmes géodésiques et de coordonnées géographiques, nous explorerons les outils essentiels qui nous permettent de situer précisément des points sur la Terre. Comprendre les nuances de la latitude, de la longitude et de l'altitude, ainsi que les concepts tels que le géoïde et les systèmes de projections, sera la clé pour naviguer efficacement dans l'espace géographique et exploiter pleinement les informations cartographiques. Connaître le monde des coordonnées géographiques, où la précision de la localisation rencontre la richesse de notre environnement terrestre.

En résumé, la connaissance des coordonnées géographiques est essentielle car elle constitue le fondement de nombreux aspects de notre vie quotidienne, de la planification urbaine aux voyages internationaux, de la gestion des ressources naturelles à la réponse aux situations d'urgence. Elle est un élément clé de notre compréhension et de notre interaction avec le monde qui nous entoure.

1.1. Notions générales

1.1.1. Importance des coordonnées

La connaissance des coordonnées géographiques est essentielle et importante pour plusieurs raisons cruciales dans notre monde interconnecté :

- **Navigation et Orientation** : Les coordonnées géographiques sont fondamentales pour la navigation et l'orientation. Elles permettent de déterminer la position exacte d'un lieu sur la Terre, facilitant ainsi les déplacements, que ce soit à l'échelle locale ou mondiale.
- **Cartographie et Planification** : Les cartographes et les planificateurs utilisent les coordonnées géographiques pour créer des cartes précises et pour planifier des projets tels que la construction d'infrastructures, l'aménagement du territoire, et la gestion des ressources.
- **Gestion de l'Environnement** : Les coordonnées géographiques sont essentielles pour surveiller et gérer l'environnement. Elles permettent de localiser des phénomènes tels que les changements climatiques, la déforestation, et les habitats naturels, facilitant ainsi la prise de décision pour la préservation de notre planète.
- **Secours et Urgences** : En cas de catastrophes naturelles ou d'urgences, les coordonnées géographiques sont cruciales pour localiser rapidement des personnes en détresse, coordonner les opérations de secours, et distribuer efficacement les ressources.
- **Technologie et Applications** : Les technologies modernes, telles que les systèmes de navigation par satellite (GPS), reposent sur les coordonnées géographiques. De

nombreuses applications et services utilisent ces données pour offrir des fonctionnalités telles que la localisation des entreprises, la recherche d'itinéraires, et la réalité augmentée.

- **Recherche Scientifique** : Les chercheurs utilisent les coordonnées géographiques dans divers domaines scientifiques, notamment la géologie, l'astronomie, l'écologie, et la météorologie, pour étudier les phénomènes naturels et comprendre les dynamiques de la Terre.
- **Commerce International** : Dans le commerce international, les coordonnées géographiques sont utilisées pour suivre les itinéraires maritimes, planifier la logistique, et faciliter le transport de marchandises à travers le monde.

Les coordonnées géographiques sont un système de repérage sur la surface de la Terre, permettant de localiser de manière unique tout point sur cette dernière. Voici quelques notions générales liées aux coordonnées géographiques :

- **Géoïde et Ellipsoïde**
- **Latitude et longitude**
- **Altitude**
- **Systèmes de Projections**
- **Système de Coordonnées**
- **GPS (Système de Positionnement Global)**
- **Cartographie**
- **Points Cardinaux**
- **Coordonnées Géocentriques**

1.1.2. Géoïde et Ellipsoïde

Le géoïde et l'ellipsoïde sont deux concepts liés à la forme de la Terre dans le contexte des coordonnées géographiques.

1.1.2.1. Géoïde

La Terre n'est pas parfaitement sphérique, mais plutôt aplatie aux pôles. Le géoïde est une surface équivalente au niveau moyen de la mer, servant de référence pour mesurer l'altitude. Le géoïde est la surface de référence qui représente le niveau moyen de la mer en l'absence de perturbations telles que les marées, les courants et les variations de la masse terrestre. Il reflète la forme réelle et irrégulière de la Terre, qui n'est pas parfaitement sphérique en raison de variations dans la densité et la répartition des masses terrestres et océaniques. Les altitudes mesurées par rapport au géoïde sont appelées altitudes orthométriques, fournissant une référence précise pour la topographie terrestre.

Un **géoïde** est une surface équipotentielle de référence du champ de pesanteur terrestre. Un géoïde est déterminé par mesures de gravimétrie sur la terre tout comme en mer. Le système de référence géodésique est aussi appelé datum.

1.1.2.2. Ellipsoïde

L'ellipsoïde est un modèle mathématique plus simple et régulier utilisé pour représenter la forme de la Terre. Il s'agit d'une forme elliptique résultant de la rotation d'une ellipse autour de son axe plus court. Les systèmes de coordonnées basés sur l'ellipsoïde, tels que le système

géodésique mondial (WGS 84), sont couramment utilisés pour décrire la Terre de manière simplifiée dans les applications géodésiques et cartographiques. Les altitudes mesurées par rapport à l'ellipsoïde sont appelées altitudes ellipsoïdales, et bien que moins précises pour la topographie réelle, elles sont souvent plus pratiques dans de nombreuses applications.

L'**ellipsoïde** de révolution est un modèle mathématique utilisé pour le calcul et que l'on définit pour qu'il soit le plus proche possible du géoïde.

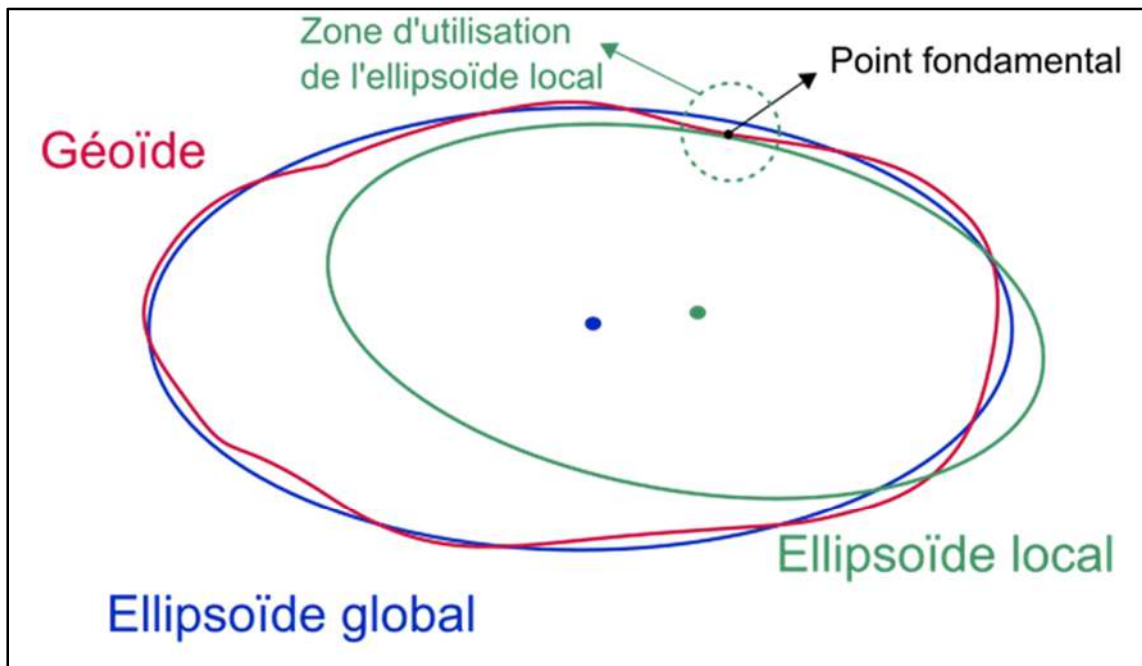


Figure N°12 : schéma de la géodésie.

Le géoïde représente la surface réelle de la Terre, tenant compte des irrégularités, tandis que l'ellipsoïde est un modèle mathématique plus simple et régulier souvent utilisé pour des calculs géodésiques et cartographiques. Ces concepts sont essentiels pour comprendre la manière dont la Terre est modélisée et mesurée dans différents contextes scientifiques et techniques.

1.1.3. Latitude et longitude

- **Latitude** : Mesurée en degrés nord ou sud de l'équateur, la latitude indique la position d'un point par rapport à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° vers le nord et de 0° à -90° vers le sud.
- **Longitude** : Mesurée en degrés est ou ouest du méridien de Greenwich, la longitude indique la position d'un point par rapport à ce méridien. Elle varie de 0° à 180° à l'est et de 0° à -180° à l'ouest.

1.1.4. Altitude

Aussi appelée élévation, l'altitude représente la distance verticale d'un point par rapport à une référence, souvent le niveau moyen de la mer. Elle est mesurée en mètres ou pieds.

1.1.5. Systèmes de Projections

Puisque la Terre est tridimensionnelle, les cartes, qui sont bidimensionnelles, nécessitent des systèmes de projections pour représenter la surface terrestre de manière déformée mais pratique.

1.1.6. Système de Coordonnées

Un système géodésique consiste en un ensemble de lignes de référence, telles que la latitude et la longitude, qui permettent de définir la position d'un point sur la Terre.

1.1.7. GPS (Système de Positionnement Global)

Un système satellitaire qui utilise des signaux provenant de satellites en orbite pour déterminer la position exacte d'un récepteur GPS sur la Terre. **(Télédétection)**

1.1.8. Cartographie

L'art et la science de créer des cartes, qui sont des représentations graphiques de l'espace géographique utilisant diverses techniques de projection et de symbolisation.

1.1.9. Points Cardinaux

Les points cardinaux (nord, sud, est, ouest) sont utilisés pour indiquer la direction à partir d'un point de référence.

1.1.10. Coordonnées Géocentriques

Un système de coordonnées basé sur le centre de masse de la Terre, utilisé pour des applications nécessitant une précision extrême.

2. Définitions

2.1. Les coordonnées

Les coordonnées sont des valeurs numériques qui définissent la position ou la localisation d'un point dans un système de référence spécifique. Ces valeurs sont généralement exprimées en termes de distances ou d'angles par rapport à des axes définis dans un espace donné. En géographie, **les coordonnées géographiques**, telles que la latitude et la longitude, décrivent la position d'un lieu sur la Terre. En mathématiques, **les coordonnées cartésiennes** définissent un point dans un espace en fonction de ses distances perpendiculaires par rapport à des axes. **Les coordonnées** sont fondamentales dans divers domaines tels que la navigation, la cartographie, la géodésie, les systèmes de positionnement, et bien d'autres, fournissant un moyen précis et universel de localiser des points dans l'espace.

2.2. Coordonnées d'un lieu

La sphère terrestre est partagée par l'équateur en deux demi sphères appelées 'hémisphère Nord (ou boréal)' pour celle qui est située du côté du pôle Nord, et 'hémisphère Sud (ou austral)' pour celle qui est située du côté du pôle Sud. D'autre part, elle est partagée d'Ouest en Est, par le méridien qui passe par Greenwich (près de Londres en Grande Bretagne) repéré par l'arc en bleu sur la figure ci-dessous (fig.13).

En chaque lieu M de la surface de la Terre (ville, île, un endroit n'importe où) passent un parallèle et un méridien.

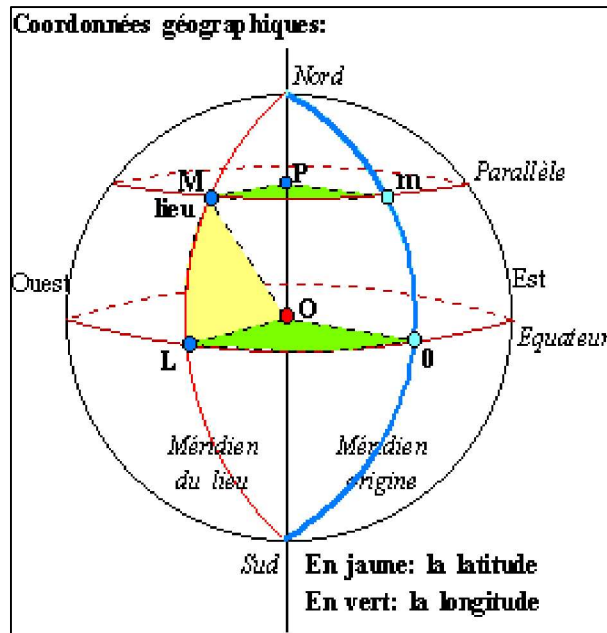


Figure N°13 : Coordonnées (origine, parallèles et méridiens).

Tous les lieux d'un même parallèle ont la même latitude (ne pas confondre avec 'altitude'). La latitude des lieux situés sur l'équateur est 0° (zéro degré). La latitude des pôles est 90° Nord pour le pôle Nord et 90° Sud (ou -90°) pour le pôle Sud. Tous les lieux d'un même méridien ont la même longitude. Le méridien qui passe par Greenwich a un rôle particulier : sa longitude est 0° . Tous les autres méridiens sont mesurés en prenant ce méridien comme origine.

2.3. La latitude et longitude

La latitude mesure la distance angulaire d'un lieu par rapport à l'équateur, indiquant s'il est situé au nord ou au sud. Elle varie de 0° à 90° dans chaque hémisphère, l'équateur étant à 0° . La latitude est cruciale pour localiser un lieu sur la Terre. La longitude mesure la distance angulaire d'un lieu par rapport au méridien de Greenwich, divisant la Terre en est et ouest. Elle varie de 0° à 180° à l'est et de 0° à -180° à l'ouest, avec le méridien de Greenwich à 0° . La longitude, combinée à la latitude, définit précisément la position géographique d'un lieu sur la Terre.

2.3.1. La latitude

La latitude est une valeur angulaire, expression du positionnement nord ou sud d'un point sur Terre. D'un point de vue mathématique, la latitude d'un point est l'angle que forme la normale (verticale) en ce point avec le plan équatorial. La latitude est une mesure angulaire s'étendant de 0° à l'équateur à 90° aux pôles (-90° au sud à 90° au nord). Les points de même latitude constituent un cercle approximatif appelé parallèle (les irrégularités du cercle sont liées aux variations d'altitude), sauf aux pôles où se cercle se réduit à un point. Ces cercles sont inscrits dans des plans perpendiculaires à l'axe de rotation de la Terre. Plus la latitude s'écarte de 0° , plus on s'éloigne du plan de l'équateur, cependant la latitude n'est pas une mesure proportionnelle à la distance entre les deux plans, mais proportionnelle à la distance la plus courte pour rejoindre l'équateur en parcourant la surface terrestre soit vers le nord géographique soit vers le sud géographique.

En effet, la distance au plan de l'équateur ne varie pratiquement pas près des pôles même si la latitude varie beaucoup, au contraire des plans de latitude près de l'équateur où la variation de la distance inter-plan est maximale.

2.3.2. La longitude

La longitude est une valeur angulaire, expression du positionnement est ou ouest d'un point sur Terre. En géodésie, c'est l'angle au centre que forme le plan passant par ce point et par l'axe de rotation de la terre avec le plan du méridien de Greenwich (0°). Tous les lieux situés à la même longitude forment un demi-plan limité par l'axe des pôles géographiques, coupant la surface de la terre sur un demi-cercle approximatif dont le centre est le centre de la Terre, l'arc allant d'un pôle à l'autre. Un tel demi-cercle est appelé méridien. À la différence de la latitude (position nord ou sud) qui bénéficie de l'équateur et des pôles comme références, aucune référence naturelle n'existe pour la longitude. La longitude est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de -180° à $+180^\circ$, ou respectivement de 180° ouest à 180° est. Le méridien usuel de référence est le méridien de Greenwich (qui sert aussi de référence pour les fuseaux horaires).

2.4. La Position

La position géographique d'un lieu se définit par ses coordonnées, généralement exprimées en latitude et en longitude. En combinant les deux angles, la position à la surface de la Terre peut être spécifiée par latitude et longitude. Ces coordonnées définissent de manière unique la position d'un lieu sur la surface de la Terre, offrant ainsi une localisation précise. La combinaison de la latitude et de la longitude constitue une paire de coordonnées géographiques fondamentales qui permettent de situer un lieu de manière globale.

3. Dimensions (Notation des coordonnées)

La dimension, dans le contexte des coordonnées géographiques, se réfère à la manière dont la position d'un lieu est définie en fonction des axes de latitude et de longitude. La notation des coordonnées implique l'utilisation de valeurs numériques pour représenter ces positions sur la surface de la Terre. En général la dimension spatiale est exprimée en degrés pour la latitude et la longitude. La latitude varie de 0° à 90° vers le nord et de 0° à 90° vers le sud, avec l'équateur à 0° . La longitude varie de 0° à 180° à l'est et de 0° à -180° à l'ouest, avec le méridien de Greenwich à 0° .

Tableau N°01 : Notation des dimensions des coordonnées.

Notation des dimensions	
degrés, minutes, secondes sexagésimaux	° ' "
degrés, minutes décimales	° '
degrés décimaux	°
grades (ou gon)	gr
radians	rd

Chacune de ces unités offre une manière différente de mesurer les angles et peut être utilisée dans des contextes spécifiques en fonction des besoins de précision et de convention. Cependant, les degrés restent l'unité de mesure la plus couramment utilisée dans le contexte des coordonnées géographiques.

3.1. Conversion

La conversion entre différentes unités d'angle, telles que degrés, radians et grades, peut être effectuée en utilisant des relations spécifiques.

Tableau N°02 : Notation des dimensions des coordonnées.(

Conversion des dimensions		
1°	60'	3600"
180°	200 gr	3.141592654 rd
48.61°	48° 36.6	48° 36' 36"
1 gr	0.9°	≈ 0.01570796327 rd
** Conversion des unités d'angles**		

4. Origine

L'origine des coordonnées géographiques, en particulier en latitude et longitude, est souvent définie comme le point de référence à partir duquel toutes les autres positions sont mesurées. Dans le contexte des coordonnées géographiques, l'origine se situe généralement à l'intersection de l'équateur et du méridien de Greenwich.

- **Longitude = Méridien**

- ✓ Le plus souvent compté positivement vers l'Est
- ✓ Méridien d'origine internationale : Greenwich
- ✓ Méridien d'origine local : certain pays utilise des Méridiens locaux comme : Paris pour la France, ...etc.
- ✓ Chaque méridien origine est défini numériquement par sa longitude par rapport au méridien international.

Latitude = Equateur (positif vers le Nord)

En utilisant l'origine comme point de départ, les coordonnées géographiques de tous les autres endroits sur la Terre sont déterminées en mesurant la distance angulaire en latitude vers le nord ou le sud de l'équateur et en longitude vers l'est ou l'ouest du méridien de Greenwich.

Il est important de noter que d'autres systèmes de coordonnées peuvent avoir des origines différentes. Par exemple, certains systèmes locaux ou régionaux peuvent avoir leur propre origine définie en fonction de points spécifiques ou de repères locaux.

5. Modèle géoïde

Surface irrégulière représentant le niveau moyen de la mer, utilisée comme référence pour mesurer **les altitudes orthométriques**.

6. Altitudes orthométriques

Les altitudes orthométriques mesurent la hauteur d'un point par rapport à une surface de référence, comme le géoïde ou un ellipsoïde, en tenant compte des variations locales de la gravité. Ces mesures offrent une précision dans la description de la hauteur des points sur la Terre.

7. Modèle ellipsoïde

Modèle mathématique de la forme de la Terre, souvent utilisé dans les systèmes de coordonnées géodésiques pour simplifier les calculs géographiques et cartographiques.

8. Hauteur ellipsoïdale

La hauteur ellipsoïdale mesure la distance verticale d'un point par rapport à un modèle mathématique simplifié de la Terre, appelé ellipsoïde. Elle représente la hauteur au-dessus ou au-dessous de cette surface et est utilisée dans les systèmes de coordonnées géodésiques pour des mesures géographiques. Donc elle correspond à une distance entre le point considéré et le pied de la normale à l'ellipsoïde. Tous les systèmes de positionnement par satellites fournissent une hauteur ellipsoïdale et non une altitude.

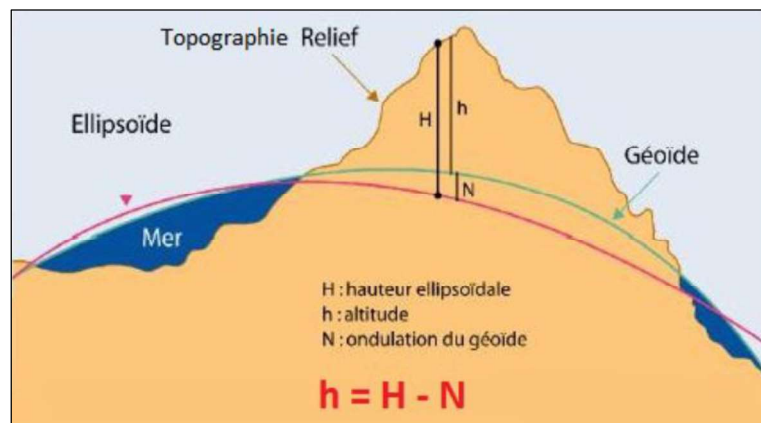


Figure N°14 : Hauteur et altitude (Topographie).

9. Les types de coordonnées

Il existe plusieurs types de coordonnées utilisées dans différents domaines tels que la géographie, la physique, les mathématiques, et plus encore. Voici quelques types de coordonnées couramment rencontrés :

- **Coordonnées Cartésiennes (Les coordonnées rectangulaires)** : Utilisées en géométrie, les coordonnées cartésiennes définissent la position d'un point dans un plan en utilisant des valeurs x , y et éventuellement z pour les dimensions tridimensionnelles.
- **Coordonnées Polaires** : Définies par un rayon et un angle, les coordonnées polaires expriment la position d'un point en utilisant la distance et la direction par rapport à un point d'origine.
- **Coordonnées Cylindriques** : Combinant les coordonnées polaires avec une composante verticale, les coordonnées cylindriques sont utilisées pour décrire la position dans un système tridimensionnel.
- **Coordonnées Sphériques** : Utilisées dans un système tridimensionnel, les coordonnées sphériques définissent la position d'un point en utilisant la distance radiale, la colatitude et la longitude.
- **Coordonnées Géographiques** : Expriment la position d'un lieu sur la Terre en utilisant la latitude, la longitude et parfois l'altitude, fournissant des informations géographiques précises.
- **Coordonnées Célestes** : Utilisées en astronomie, ces coordonnées définissent la position d'un objet céleste en utilisant la déclinaison et l'ascension droite.
- **Coordonnées Barycentriques** : En mécanique céleste, les coordonnées barycentriques décrivent la position d'un corps par rapport au centre de masse du système.
- **Coordonnées Homogènes** : Utilisées en géométrie projective, les coordonnées homogènes sont une extension des coordonnées cartésiennes qui permettent de représenter des points à l'infini.
- **Coordonnées cartographiques planes** : utilisent un système de coordonnées rectangulaires (x , y) pour représenter des positions sur une surface plane, comme une carte. Ces coordonnées simplifient la représentation géographique en mesurant la distance horizontale et verticale par rapport à un point d'origine sur la carte.

10. Les Projections

10.1. Projections cartographiques

Les projections cartographiques définissent la manière dont les coordonnées géographiques tridimensionnelles de la Terre sont converties en coordonnées cartographiques bidimensionnelles sur une carte. Ces projections sont nécessaires pour représenter une surface courbe sur un plan, introduisant des distorsions inévitables. Ainsi, les coordonnées cartographiques résultent de cette transformation et permettent une représentation pratique et utile de la Terre sur des cartes planes.

Une carte résulte de la projection, sur une surface plane, de mesures relatives à la Terre, un corps céleste ou un monde imaginaire. Généralement créée en deux étapes, elle rapporte d'abord les données du monde physique à une surface sphérique ou ellipsoïdale, puis le résultat à un plan. Cependant, la projection cartographique, nécessaire pour cette transformation, engendre des déformations d'angles, d'aires et/ou de distances. Bien qu'il soit possible de maîtriser une déformation spécifique, cela entraîne inévitablement la déformation d'autres caractéristiques des objets représentés. Le défi en cartographie réside dans le fait qu'aucune

projection ne peut représenter une surface sphérique ou ellipsoïdale sur une surface plane sans générer de déformations. Seul un globe conserve toutes les caractéristiques liées à la rotondité de la Terre ou d'un corps céleste dans leurs proportions réelles.

10.2. La projection cartographique

La projection cartographique est une technique géodésique visant à représenter une surface non plane (telle que la Terre, un autre corps céleste ou le ciel) sur une carte plane. La nécessité de choisir parmi différentes projections résulte de l'impossibilité de projeter le globe terrestre sur une surface plane sans distorsion. Les cartographes ont dû résoudre des problèmes mathématiques complexes liés au choix et à la transition entre les projections, des défis facilités par l'utilisation d'outils informatiques puissants.

10.3. Définition

La projection cartographique est le processus mathématique de représentation d'une surface tridimensionnelle, comme la Terre, sur un plan bidimensionnel, tel qu'une carte. Elle utilise des formules mathématiques pour projeter les coordonnées géographiques sur une surface plane, engendrant des distorsions inévitables d'angles, de distances ou d'aires. Cette transformation est nécessaire en raison de l'impossibilité de représenter une surface courbe sans déformation sur un plan. Il existe divers types de projections cartographiques, chacun adapté à des besoins spécifiques, mais tous impliquent des compromis dans la préservation des propriétés géographiques.

D'un point de vue mathématique, une projection permet d'établir entre la surface de la Terre et le plan (ou la surface développable) une correspondance telle que :

$$x = f_1(\varphi, \lambda) \text{ et } y = f_2(\varphi, \lambda)$$

où x, y désignent des coordonnées planes, φ la latitude, λ la longitude et f_1, f_2 des fonctions qui sont continues partout sur l'ensemble de départ sauf sur un petit nombre de lignes et de points (tels que les pôles). Il existe donc une infinité de solutions. Les mathématiciens ne sont pas privés d'en trouver, et on en connaît plus de deux cents (Joly, 1985, page 39).

10.4. De la Terre sur une carte

Pour traduire la surface courbe de la Terre sur une carte, le processus "de la Terre à la carte" comprend la sélection d'une projection cartographique, la projection des coordonnées géographiques sur une surface plane, la gestion des distorsions, l'intégration d'informations et la création finale de la carte. Ce processus vise à produire une représentation précise et pratique de la Terre sur un plan.

Une projection s'appuie sur une sphère ou un ellipsoïde de révolution. La Terre étant en fait un patatoïde, on commence par choisir, à partir de son géoïde global, un ellipsoïde de révolution représentatif. Il existe plusieurs ellipsoïdes en usage, dont les plus courants sont :

- Clarke 1866
- Clarke 1880 anglais

- Clarke 1880 IGN
- Bessel
- Airy
- Hayford 1909
- International 1924
- WGS 66
- International 1967
- WGS 72
- IAG-GRS80
- **WGS84 (systèmes de projection)**

10.5. Le World Geodetic System 1984 (WGS 84)

C'est un système de référence géodésique mondial utilisé pour définir des positions géographiques sur la Terre. Il a été adopté comme standard mondial pour les systèmes de navigation par satellite, les systèmes de positionnement global (GPS), et de nombreuses applications géodésiques et cartographiques. **Les caractéristiques principales du WGS 84 incluent :**

- **Ellipsoïde :** Il utilise un modèle d'ellipsoïde pour représenter la forme de la Terre.
- **Coordonnées :** Les coordonnées sont exprimées en latitude, longitude, et altitude.
- **Références :** Le méridien de référence est le méridien de Greenwich, et l'équateur sert de ligne de référence pour la latitude.
- **Système GPS :** Le WGS 84 est étroitement lié au système de coordonnées utilisé par le GPS, facilitant la compatibilité entre les deux.

Le WGS 84 fournit un cadre de référence mondial pour la représentation précise des positions géographiques sur la Terre, notamment dans le contexte des technologies de navigation et de localisation.

10.6. Projections Cartographiques sur Surfaces Développables

10.6.1. Équivalence, Conformité et Aphylaxie

Les cartes étant plates, certaines des projections les plus simples sont faites sur des formes géométriques qui peuvent être aplaties sans étirement de la surface. Elles sont appelées surfaces développables. Les exemples les plus courants sont les cônes, les cylindres et les plans. Une projection cartographique projette systématiquement des emplacements de la surface d'un ellipsoïde vers des positions représentatives sur une surface plane à l'aide d'algorithmes mathématiques.

- **Projection équivalente :** conserve localement les surfaces.
- **Projection conforme :** conserve localement les angles, donc les formes.
- **Projection aphylactique :** elle n'est ni conforme ni équivalente, mais peut être équidistante, c'est-à-dire conserver les distances sur les méridiens.

De nombreuses projections cartographiques courantes sont classées selon la surface de projection utilisée : conique, cylindrique ou plane.

10.7. Les types de projections

Il existe plusieurs types de projections cartographiques, chacun ayant ses avantages et ses compromis en termes de préservation de propriétés géographiques. Voici quelques-uns des types de projections couramment utilisés :

- **Les projections cylindriques** comme celle de Mercator
- **Les projections coniques** comme la projection conforme de Lambert
- **Les projections azimutales** comme la projection stéréographique
- **Les projections équidistantes** telles que la projection équidistante de Lambert,
- **La projection de Mollweide**
- **La projection de Goode**

Chacune présente des avantages et des inconvénients en termes de préservation des propriétés géographiques, et le choix dépend des besoins spécifiques de la représentation cartographique.

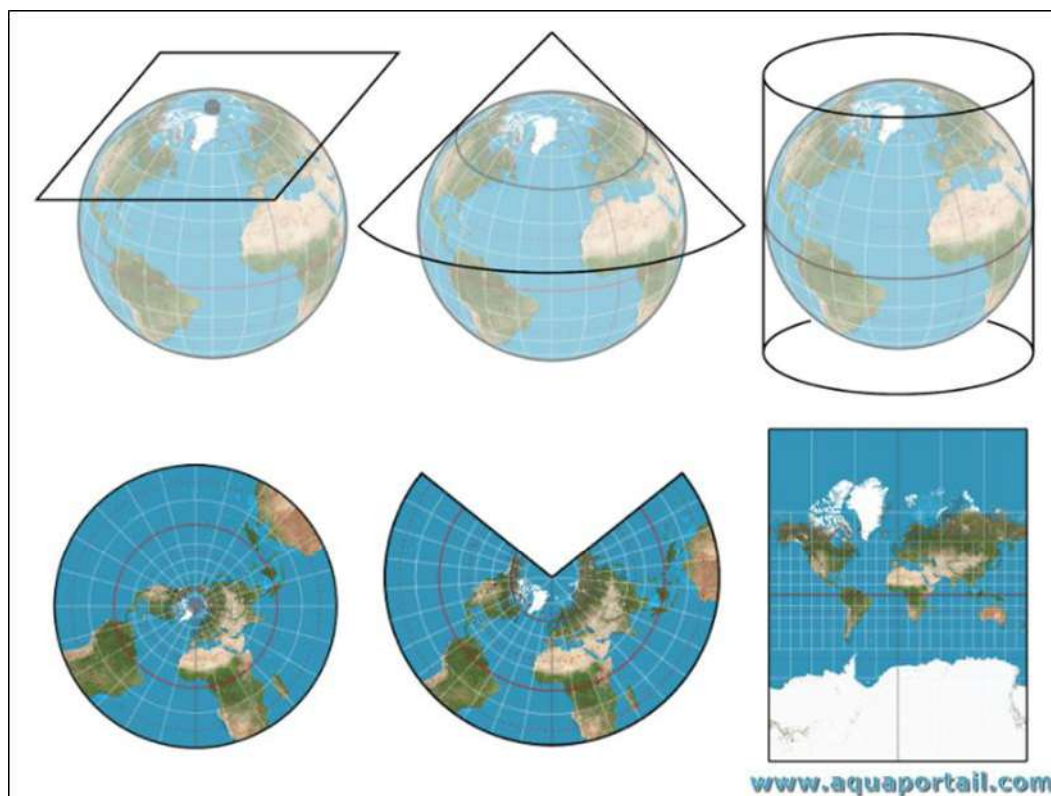


Figure N°15 : Types de projection cartographique.

10.8. Illustration des Principaux Types de Projections Cartographiques

10.8.1. Conique, Cylindrique et Plane

10.8.1.1. Projection Conique

La projection conique utilise un cône tangent à la Terre pour projeter les coordonnées sur une surface plane. Cette illustration montre comment les emplacements sont transférés à partir de la surface d'un ellipsoïde vers une carte plane à l'aide d'une projection conique. Elle met en évidence la préservation des distances le long des parallèles de latitude.

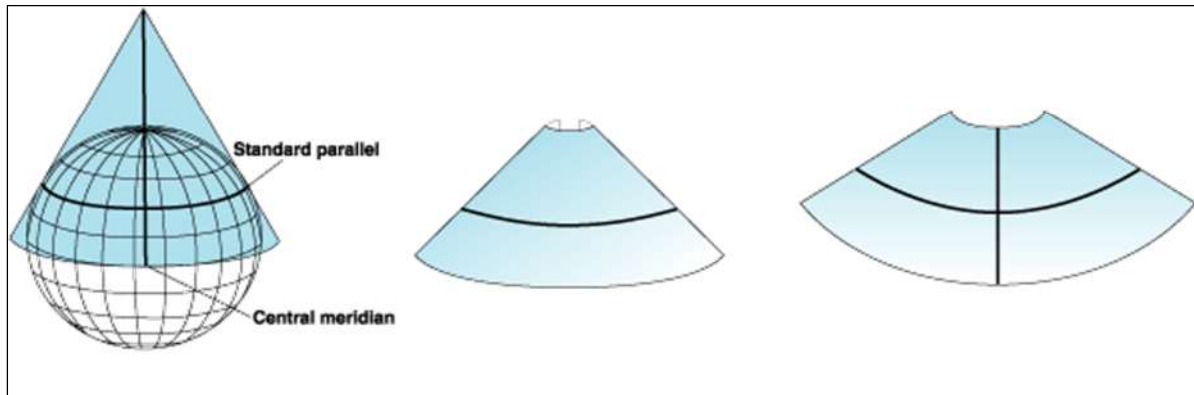


Figure N°16 : Projection Conique.

10.8.1.2. Projection Cylindrique

La projection cylindrique utilise un cylindre tangent à la Terre pour effectuer la projection des coordonnées. Cette illustration démontre le processus de transfert des emplacements, mettant en évidence la préservation des angles le long des méridiens. Cependant, elle montre également la distorsion des tailles à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur.

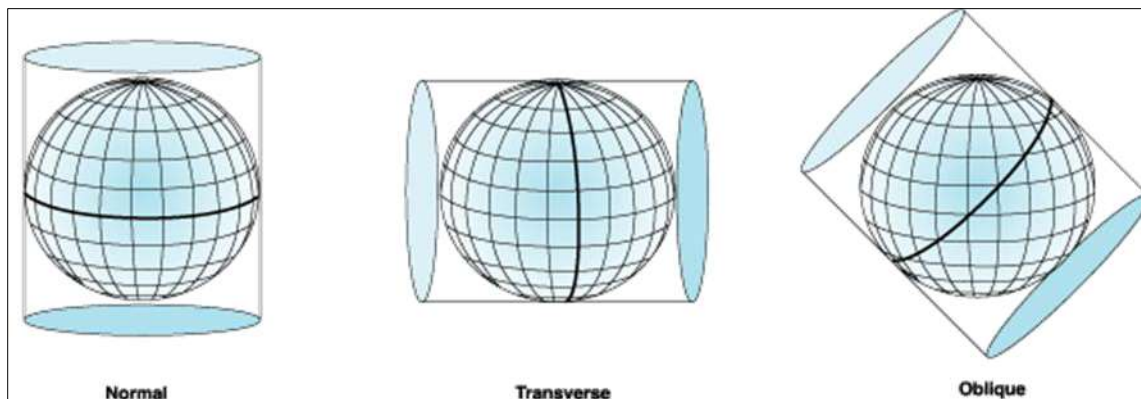


Figure N°17 : Projection Cylindrique.

10.8.1.3. Projection Plane

La projection plane, ou azimutale, utilise un plan tangent à un point spécifique pour la projection cartographique. Cette illustration présente le transfert des emplacements vers une surface plane, soulignant la préservation des directions à partir du point central. Cependant, elle montre également la distorsion des formes et des distances loin du centre.

10.8.1.4. Aspects planaires

Un plan est placé sur un globe. Le plan peut toucher le globe au pôle (cas polaire), à l'équateur (cas équatorial) ou sur une autre ligne (cas oblique).



Figure N°18 : Projection planaires.

10.8.1.5. Aspect polaire (différentes perspectives)

Les projections azimutales ou planes peuvent avoir des points de perspective différents. Le point de la projection gnomonique est au centre du globe. Le côté opposé du globe du point de contact est utilisé pour une projection stéréographique. Le point de perspective pour une projection orthographique se situe à l'infini.

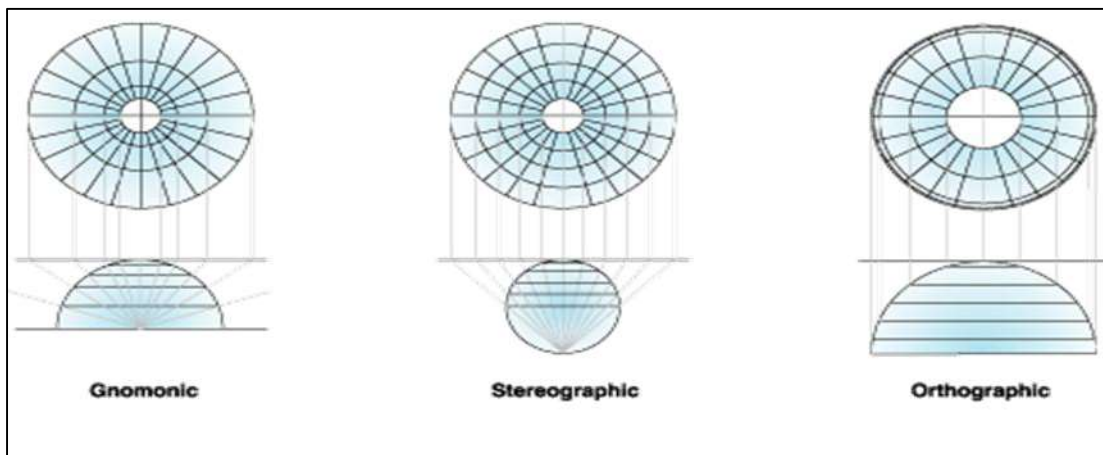


Figure N°19 : Aspect polaire.

Ces illustrations offrent une vue visuelle des caractéristiques distinctes des projections conique, cylindrique et plane, aidant à comprendre comment ces techniques représentent la surface terrestre sur une carte plane.

10.9. Le processus de projection

Le processus de projection cartographique consiste en trois étapes spécifiques :

1. Approcher la taille et la forme de l'objet (la Terre, par exemple) par une figure mathématique qui est soit une sphère, soit un ellipsoïde.
2. Réduire l'échelle de la figure mathématique à un modèle géométrique du globe (modèle réduit de la Terre à partir duquel les projections cartographiques seront effectuées) ; on nomme échelle principale, ou nominale, le rapport du rayon de ce modèle géométrique

du globe au rayon homologue de la figure mathématique qui approche l'objet (la Terre), et qui équivaut à l'échelle de la carte.

3. Transformer le modèle géométrique du globe en une carte à l'aide d'une projection cartographique.

Le processus de projection nécessite une compréhension approfondie des propriétés géographiques et des compromis liés à chaque type de projection. Il implique l'application de concepts mathématiques pour traduire efficacement la réalité tridimensionnelle sur une surface plane, tout en faisant des choix éclairés pour répondre aux besoins spécifiques de représentation cartographique.

10.10. Conclusion

Les coordonnées géographiques (latitude et longitude) et les projections cartographiques sont fondamentales pour représenter la Terre sur une carte. Les coordonnées géographiques permettent la localisation précise des points, tandis que les projections mathématiques convertissent la surface courbe de la Terre en une représentation plane. Les différentes projections (coniques, cylindriques, planes) présentent des avantages et des compromis. Le choix dépend des besoins spécifiques de la carte, tout en considérant les distorsions inhérentes. Cette combinaison permet aux cartographes de créer des cartes précises et utiles du monde.

La connaissance des notions de coordonnées géographiques et de projections cartographiques revêt une importance cruciale dans le domaine de la cartographie et de la cartographie de l'environnement pour plusieurs raisons :

- **Localisation Précise** : Les coordonnées géographiques, notamment la latitude et la longitude, permettent une localisation précise des points sur la Terre. Cela est essentiel pour la navigation, la gestion des ressources, la surveillance environnementale et d'autres applications.
- **Cartographie Précise** : Les projections cartographiques déterminent la manière dont la surface courbe de la Terre est représentée sur une carte plane. Une compréhension approfondie de ces projections est essentielle pour créer des cartes précises qui préservent certaines propriétés géographiques tout en minimisant les distorsions.
- **Navigation et Systèmes de Positionnement** : Les systèmes de navigation par satellite, tels que le GPS, reposent sur les coordonnées géographiques pour fournir des informations de positionnement précises. La cartographie de l'environnement, y compris la gestion des ressources naturelles, la planification urbaine et la surveillance des habitats, dépend de données spatiales précises.
- **Étude des Phénomènes Environnementaux** : Les chercheurs en environnement utilisent des cartes pour étudier et analyser divers phénomènes tels que le changement climatique, la déforestation, la biodiversité et la qualité de l'air. Des projections précises sont essentielles pour une interprétation correcte des données.
- **Gestion des Risques Naturels** : La cartographie précise des zones à risque, telles que les zones inondables, les zones sismiques ou les régions exposées aux tempêtes, est cruciale pour la gestion des risques naturels et la planification d'urgence.
- **Communication Efficace** : Des cartes bien conçues et précises facilitent la communication visuelle des informations géographiques complexes. Cela est particulièrement important dans le domaine de l'environnement pour sensibiliser le public, informer les décideurs et faciliter la collaboration.

Enfin la compréhension des coordonnées géographiques et des projections cartographiques est fondamentale pour garantir la précision des données spatiales, faciliter la navigation, soutenir la recherche environnementale et permettre une communication efficace dans divers domaines.

CHAPITRE IV : L'ECHELLE CARTOGRAPHIQUE

1. Introduction

L'échelle cartographique est une composante essentielle de toute carte, déterminant la relation entre les dimensions réelles du monde et leur représentation sur la carte. Elle offre une perspective cruciale pour interpréter les distances, les proportions et l'étendue géographique. L'échelle cartographique joue un rôle fondamental dans la communication visuelle des informations spatiales, offrant aux utilisateurs une compréhension claire des rapports dimensionnels entre la réalité physique et sa représentation cartographique. Ce chapitre explorera le concept d'échelle cartographique, mettant en lumière son importance dans la création de cartes précises et dans la facilitation de la compréhension spatiale.

2. Notions Générales et Définition

L'échelle cartographique est un concept fondamental en cartographie, définissant la relation mathématique entre les dimensions réelles de la Terre et celles de sa représentation sur une carte. Elle offre une mesure permettant d'interpréter les distances et les proportions entre les objets géographiques. Voici quelques notions générales :

3. Représentation Proportionnelle

L'échelle cartographique maintient une représentation proportionnelle entre les objets réels et leurs représentations sur la carte. Par exemple, une échelle de 1:100 000 indique que chaque unité de mesure sur la carte équivaut à 100 000 unités sur le terrain.

4. Types d'Échelles

4.1.Échelle Numérique

Exprimée sous forme de fraction ou de rapport (1:50 000), indiquant le rapport entre la distance sur la carte et la distance réelle. S'exprime sous la forme d'une fraction dont le numérateur est une unité de longueur portée sur la carte et le dénominateur, la distance correspondante sur le terrain. On peut retenir que :

- **1/5 000 => 1 cm sur la carte représente 50 m sur le terrain.**
- **1/10 000 => 1 cm sur la carte représente 100 m sur le terrain.**
- **1/25 000 => 1 cm sur la carte représente 250 m sur le terrain.**
- **1/50 000 => 1 cm sur la carte représente 500 m sur le terrain.**
- **1/100 000 => 1 cm sur la carte représente 1 km sur le terrain.**
- **1/1 000 000 => 1 cm sur la carte représente 10 km sur le terrain.**
- **1/2 500 000 => 1 cm sur la carte représente 25 km sur le terrain, etc.**

4.2.Échelle Graphique

Utilise une barre graduée pour estimer les distances sur la carte. C'est un dessin composé d'une droite horizontale divisée en segments égaux. Chaque segment est délimité par un trait vertical appelé la barbut. Les chiffres sont centrés à l'aplomb des barbules et doivent être des chiffres ronds. L'échelle graphique est plus rapidement lisible et mémorisable.

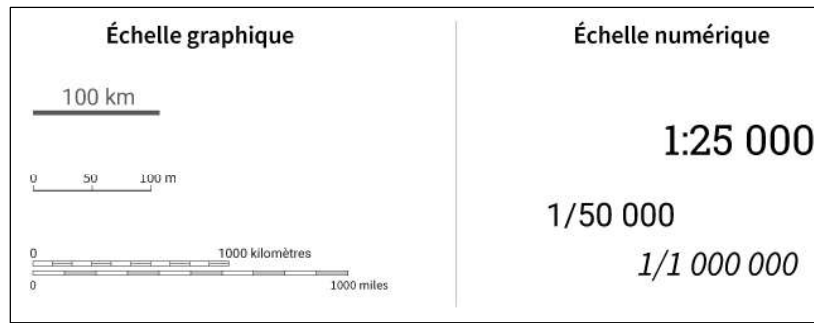


Figure N°20 : Échelles, graphique et numérique.

4.3.Échelle Textuelle

Présente la relation entre la distance sur la carte et la distance réelle en mots (ex. "1 centimètre représente 1 kilomètre").

5. Importance en Cartographie

L'échelle est cruciale pour interpréter les informations spatiales avec précision, planifier des itinéraires, évaluer les dimensions réelles des objets et comprendre l'étendue géographique.

6. Adaptation aux Besoins

L'échelle peut varier selon le type de carte et les objectifs spécifiques. Les cartes détaillées utilisent généralement des échelles plus grandes, tandis que les cartes générales peuvent avoir des échelles plus petites.

7. Limitations

L'échelle ne prend pas en compte les variations de relief, de climat ou d'autres facteurs, ce qui peut entraîner des distorsions dans la représentation des distances.

8. Définition

L'échelle est le rapport de réduction entre une longueur mesurée sur la carte et la mesure réelle effectuée sur le terrain. L'échelle est l'un des éléments indispensables de l'habillage de la carte. Elle doit systématiquement être présente. Rien ne justifie son oubli, quel que soit le type de carte réalisée. Elle est le lien direct entre l'espace réel et sa représentation graphique. Elle permet d'évaluer les dimensions du territoire cartographié et peut se présenter sous forme numérique ou graphique. L'échelle cartographique est un élément fondamental qui permet de traduire les dimensions réelles de la Terre en une représentation graphique compréhensible. Elle est essentielle pour une interprétation précise des cartes et joue un rôle central dans la communication visuelle des informations géographiques.

9. Réduction et agrandissement de l'échelle

L'échelle cartographique, déterminant la relation entre les dimensions réelles et leur représentation sur une carte, peut être ajustée par réduction ou agrandissement. La réduction diminue la taille de la carte par rapport au terrain, idéale pour des représentations générales, mais peut entraîner des distorsions et une perte de détails. L'agrandissement augmente la taille de la carte, adapté pour des représentations détaillées mais pouvant rendre la carte moins

pratique pour des zones étendues. Le choix entre réduction et agrandissement dépend des objectifs spécifiques de la carte, en tenant compte des distorsions potentielles.

L'échelle numérique d'une carte agrandie ou réduite doit être recalculée. L'échelle graphique suit les réductions ou agrandissements subis par la carte.

- A une réduction de faible importance correspond une grande échelle (la valeur du quotient est élevée)
- A une réduction forte correspond une petite échelle (le quotient est relativement petit) ;
- Une échelle de 1/25 000 est plus grande qu'une échelle de 1/ 500 000 ;
- Une petite fraction ou petit rapport est une petite échelle et correspond à un grand dénominateur (1 500 000) ;
- Une grande fraction ou grand rapport est une grande échelle et correspond à un petit dénominateur (1/2 500) ;
- Passer d'une grande échelle à une petite échelle nécessite toujours une simplification du phénomène à représenter et une généralisation des objets géographiques.

10. Classification des échelles

De manière traditionnelle, les échelles peuvent se classer de la façon suivante :

- **Les plans** : échelle inférieure à 1/5 000
- **Les cartes à grandes échelle** : entre 1/5 000 et 1/50 000
- **Les cartes à échelles moyenne** : entre 1/50 000 et 1/500 000
- **Les cartes à petites échelles** : entre 1/500 000 et 1/1 000 000 (**cartes des régions ou des Etats**)
- **Les cartes à très petite échelle** : au-delà du 1/1 000 000 (**cartes des continents ou de la terre entière**).

Les cartes topographiques sont des cartes à grandes et moyenne échelle : elles représentent une petite surface mais avec beaucoup de détails.

Les cartes d'Atlas sont à petite, voire à très petite échelle : elles couvrent une plus grande surface mais présentent moins de détails.

Un planisphère représente l'ensemble du monde, une mappemonde présente deux projections séparées correspondant aux deux hémisphères : ce sont des cartes à très petite échelle.

L'échelle d'une carte n'est exacte qu'à proximité du centre de projection. Cette contrainte influence peu les cartes à grandes échelle mais pose un réel problème pour l'évaluation des distances sur une carte à petite échelle.

Les échelles cartographiques peuvent être classifiées en fonction de leur portée et de leur précision. Les échelles numériques varient de grande à petite échelle, adaptées à des représentations détaillées ou générales. Les échelles textuelles utilisent des mots pour décrire la relation entre la carte et le terrain, tandis que les échelles graphiques utilisent des barres ou des carrés gradués. Les échelles peuvent également être basées sur le temps ou être virtuelles, adaptées à la cartographie numérique. La classification tient compte de la portée géographique, de la méthode de représentation et des objectifs spécifiques de la carte.

11. Mesures sur les cartes

Les mesures sur les cartes permettent d'évaluer les distances et les dimensions des objets géographiques. L'échelle numérique définit la relation entre la carte et le terrain, tandis que l'échelle graphique utilise une barre graduée pour estimer les distances. Les coordonnées géographiques fournissent la localisation précise des points. Des calculs mathématiques permettent de mesurer la distance réelle entre deux points, et des outils virtuels facilitent les mesures dans la cartographie numérique. Ces mesures sont essentielles pour la navigation, la planification et l'analyse géographique.

11.1. Comment faire un calcul d'échelle ?

- Pour trouver l'échelle, il suffit de diviser la longueur ou la largeur sur le plan par la longueur ou la largeur réelle. La formule de calcul est : $\text{Échelle} = \text{Dimension sur le plan} / \text{Dimension réelle}$.
- A partir de la notion de l'échelle on peut calculer la distance entre deux points sur la carte.
- Une échelle permet de calculer une distance réelle à partir d'une distance sur une carte (ou un plan).

Exemple : L'échelle de la carte est la fraction $1 / 2\,500\,000$. On souhaite calculer la distance réelle entre 2 villes : A et B.

11.2. Mesurer la distance sur la carte

La 1ère étape est de mesurer sur la carte la distance que l'on souhaite transformer en distance réelle. On se sert pour cela d'une règle, l'unité de mesure est donc généralement le centimètre.

La distance sur la carte entre les deux villes est de 3 cm.

11.3. Calculer le coefficient de proportionnalité de l'échelle

Le coefficient de proportionnalité est le nombre qui permet de transformer la distance sur la carte en distance réelle.

$$1/2500000$$

$$1 : 2500000$$

$$1 = 2500000$$

Pour calculer ce coefficient, on divise le dénominateur de l'échelle par le numérateur.

Le coefficient de proportionnalité est 2 500 00. Si le numérateur de l'échelle est 1, le coefficient de proportionnalité est équivalent au dénominateur.

11.4. Multiplier la distance sur la carte par le coefficient

On multiplie ensuite la distance sur la carte (étape 1) par le coefficient de proportionnalité (étape 2). La réponse est la distance réelle, exprimée dans la même unité de mesure que la distance sur la carte.

- Distance sur la carte : 3 cm
- Coefficient : 2500 000
- $3 \times 2500\ 000 = 7500\ 000$
- Distance réelle : 7500 000cm

(03) cm sur la carte correspond à une distance réelle de **(7 500 000 cm)**.

En conclusion, l'échelle, les mesures sur les cartes, et leurs applications revêtent une importance cruciale dans le domaine de la cartographie. L'échelle, qu'elle soit numérique, graphique, ou basée sur les coordonnées géographiques, établit la relation fondamentale entre la représentation cartographique et la réalité du terrain. Les mesures sur les cartes, allant des distances aux superficies, permettent une évaluation précise des dimensions géographiques, favorisant ainsi la navigation, la planification urbaine, la gestion des terres, et diverses analyses géospatiales. Ces concepts et outils sont essentiels pour la prise de décision éclairée, la communication efficace des informations géographiques, et la compréhension approfondie des caractéristiques du monde qui nous entoure. En somme, l'échelle et les mesures sur les cartes sont des éléments fondamentaux qui contribuent à la richesse et à la pertinence de la cartographie dans de nombreux domaines d'application.

CHAPITRE V : PHOTOGRAPHIES AERIENNES

1. Introduction

L'homme, incapable de voler par lui-même, a toujours cherché à élargir son champ visuel en atteignant des points élevés. Cette aspiration remonte à l'enfance, où l'on souhaite voir son environnement depuis des hauteurs. Après des siècles d'explorations et d'essais, le rêve de l'homme de s'élever dans les airs devient réalité avec l'invention de l'aérostat par les frères Montgolfier en 1783. En parallèle, Daguerre réussit en 1838 à établir les premières images photographiques durables, tandis que Nadar réalise les premiers essais de photographie aérienne depuis la nacelle d'un ballon captif en 1858. Laussedat, connaissant les lois de la perspective, encourage l'utilisation de ces photographies à des fins de mensuration.

Cette transition de la photographie aérienne vers la cartographie, bien que semblant naturelle, présentait des défis considérables. Il fallait développer une science basée sur des bases mathématiques, incluant les méthodes de constructions géométriques nécessaires, des appareils photographiques précis, et des instruments pour la restitution des levés photographiques. Ce processus a nécessité des siècles pour développer les méthodes de mensuration et les théories modernes de la géodésie, ainsi que les instruments de précision actuels.

Les photographies aériennes, considérées comme le système de télédétection le plus simple et ancien, fournissent des informations riches sur la surface terrestre. Prises à une certaine altitude, ces images permettent d'identifier des éléments tels que ruisseaux, étangs, sentiers, clairières, bûchers, brûlis, changements de végétation, offrant ainsi une perspective unique pour la cartographie et la compréhension de l'environnement.

L'utilisation de photographies aériennes et d'images satellitaires constitue une avancée majeure dans la manière dont nous percevons et comprenons notre planète. Ces technologies offrent une perspective unique depuis le ciel, permettant d'observer la surface terrestre avec un niveau de détail et une couverture globale sans précédent. De la capture d'images depuis des avions en vol jusqu'à l'observation depuis des satellites en orbite, ces techniques fournissent des données visuelles qui sont devenues inestimables dans de nombreux domaines tels que la cartographie, la surveillance environnementale, la gestion des ressources, et la réponse aux catastrophes.

1.1.Eléments d'histoire de la photographie aérienne

La photographie aérienne, un élément crucial dans l'évolution de la cartographie et de l'observation de la Terre, a une histoire riche qui remonte au XIX^e siècle. Voici un résumé des éléments clés de l'histoire de la photographie aérienne :

- **Débuts et Précurseurs** : Les premiers essais de photographie aérienne remontent à 1858 lorsque Nadar réalise des clichés depuis un ballon captif. Cependant, les premières tentatives sérieuses de photographie aérienne ont été effectuées pendant la Guerre de Sécession aux États-Unis (1861-1865) pour des besoins militaires.
- **Développements pendant la Première Guerre mondiale** : La Première Guerre mondiale a vu une utilisation extensive de la photographie aérienne à des fins de renseignement militaire. Les avions deviennent des plates-formes de plus en plus importantes pour la capture d'images.

- **Entre-deux-guerres et Seconde Guerre mondiale** : L'entre-deux-guerres a vu des avancées technologiques, y compris l'utilisation de caméras spécifiquement conçues pour la photographie aérienne. Pendant la Seconde Guerre mondiale, la photographie aérienne devient un outil essentiel pour la planification militaire et la cartographie.
- **Photographie Aérienne Civile** : Après la Seconde Guerre mondiale, la photographie aérienne trouve des applications civiles dans la cartographie, la planification urbaine, l'agriculture, la gestion des ressources, et d'autres domaines.
- **Évolution Technologique** : L'évolution des technologies a considérablement amélioré la qualité des images aériennes, passant des films analogiques aux capteurs numériques. L'utilisation de drones a également révolutionné la capture d'images aériennes, offrant une flexibilité accrue.
- **Applications Modernes** : Aujourd'hui, la photographie aérienne est utilisée dans une variété d'applications, y compris la cartographie numérique, la surveillance environnementale, la gestion des catastrophes, la planification urbaine, et le suivi des changements environnementaux.

La photographie aérienne a joué un rôle fondamental dans la compréhension de notre planète, influençant non seulement les domaines militaires mais aussi les applications civiles, transformant ainsi la manière dont nous percevons et utilisons les images pour diverses fins.

2. Définition

Qu'est-ce qu'une photographie aérienne ?

En termes génériques, une photographie aérienne est une photographie prise des airs. Normalement, les photos aériennes sont prises suivant la verticale, à bord d'un aéronef, à l'aide d'un appareil de prise de vues hautement précis. Il y a plusieurs aspects que l'on peut considérer pour déterminer ce qui fait qu'une photo d'une région est différente d'une autre de la même région : le type de pellicule, l'échelle, et le recouvrement. Les autres concepts importants qui sont utilisés en photographie aérienne sont la couverture stéréoscopique, les repères de fond de chambre, la distance focale, les numéros de clichés et de rouleaux ainsi que les lignes de vol et les cartes-index. Les photographies aériennes, sont des prises de vues de portions de surfaces de la terre faites à différentes altitudes à partir de ballons d'avions ou de satellites. Elles reproduisent toutes d'une manière fidèle et complète la surface du sol à un moment donné (Chevallier, 1971).

Ce sont des documents aux nombreux avantages :

- Très récents et donc très utiles dans des domaines d'étude très variés : Géologie, Géomorphologie, Météorologie, Hydrologie, Biogéographie, Agronomie, Géographie, Archéologie, Urbanisme, Génie civil, Aménagement du territoire, Cartographie, Foresterie, végétation, écologie, environnement ...etc. ;
- Par rapport à une carte, elles fournissent une vision verticale stéréoscopique d'une zone, une vision amplifiée (exploitation dans l'infra-rouge, hors du spectre visible) ;
- Ils peuvent être très nombreux pour une même zone : plusieurs couvertures aériennes, échelonnées dans le temps, d'où possibilités de comparaisons dans le temps et à des échelles variées (Cahen, 1990).

3. La photographie aérienne

La photographie aérienne désigne la pratique de capturer des images de la surface terrestre à partir d'une position élevée, généralement depuis un avion, un drone ou un ballon captif. Cette technique permet d'obtenir des perspectives uniques et détaillées de paysages, d'infrastructures et d'autres caractéristiques géographiques. Les images ainsi obtenues sont utilisées dans divers domaines tels que la cartographie, la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, la surveillance environnementale et la recherche scientifique. La photographie aérienne a joué un rôle crucial dans l'histoire de la cartographie et continue d'être un outil essentiel dans la collecte de données géospatiales.

4. Concepts de base de la photographie aérienne

Les concepts de base de la photographie aérienne englobent plusieurs aspects liés à la capture d'images depuis des positions élevées.

1. **Pellicule** : la plupart des photographies aériennes sont captées à l'aide de pellicules noir et blanc ; toutefois, pour les projets spéciaux, on utilise quelquefois des pellicules couleur, infrarouge et infrarouge couleur.
2. **Distance focale** : la distance qui sépare le milieu de la lentille de l'appareil de prise de vues et le plan focal (c.-à-d., la pellicule). À mesure que la distance focale augmente, la déformation de l'image diminue. On peut mesurer de façon précise la distance focale lorsque l'appareil de prise de vues est étalonné.
3. **Échelle** : le rapport entre la distance entre deux points sur une photo et la distance réelle entre ces mêmes deux points au sol (c.-à-d. 1 unité sur la photo équivaut à « x » unités au sol). Si un tronçon de 1 km d'une autoroute couvre 4 cm sur une photo aérienne, on calcule l'échelle comme suit :

$$\frac{\text{Distance sur la photo}}{\text{Distance au sol}} = \frac{4 \text{ cm}}{1 \text{ km}} = \frac{4 \text{ cm}}{100\,000 \text{ cm}} = \frac{1}{25\,000} \text{ ÉCHELLE: } 1/25\,000$$

Une autre méthode utilisée pour calculer l'échelle d'une photo est de trouver le rapport entre la distance focale de l'appareil de prise de vues et la hauteur de l'aéronef au-dessus du sol au moment où on prend la photo.

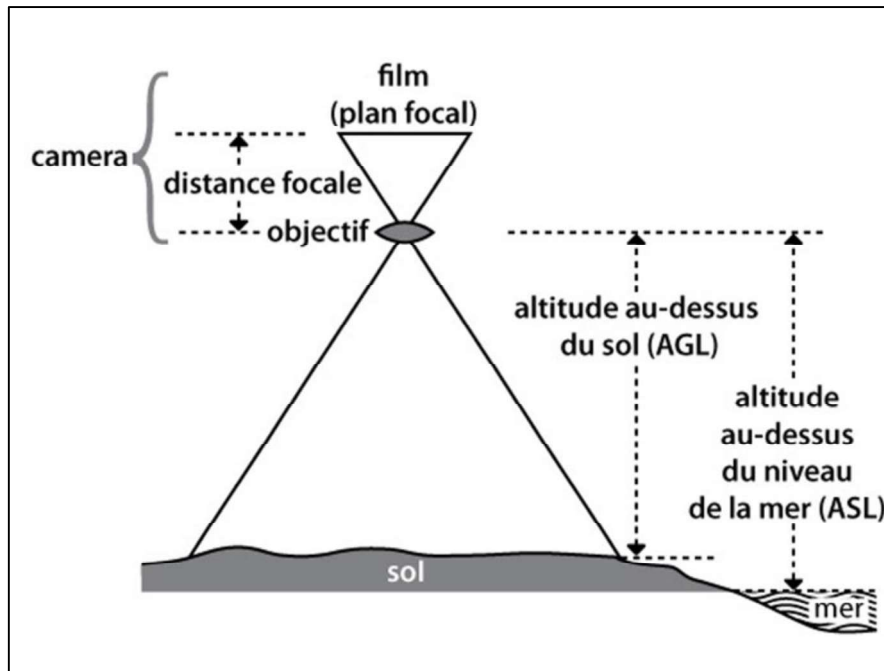


Figure N° 21 : Profil général de la photographie aérienne.

Si la distance focale de l'appareil de prise de vues est de 152 mm, et la hauteur de l'aéronef au-dessus du sol (AGL) est de 7 600 m, on obtiendrait, à l'aide de la même formule, une échelle de :

$$\frac{\text{Distance focale}}{\text{Hauteur (AGL)}} = \frac{152 \text{ mm}}{7\,600 \text{ m}} = \frac{152 \text{ mm}}{7\,600\,000 \text{ mm}} = \frac{1}{50\,000} \quad \text{ÉCHELLE: } 1/50\,000$$

Les échelles peuvent être exprimées de trois manières différentes :

- Unités équivalentes
- Fraction représentative
- Rapport
 - Le fait qu'un millimètre sur une photographie représente 25 mètres au sol peut être exprimé comme suit :
- Unités équivalentes : 1 mm = 25 m
- Fraction représentative ou rapport : 1/25 000

Rapport : 1:25 000

4. **Repères de fond de chambre** : petites marques de repérage exposées sur les bords d'une photographie. Les distances entre les repères sont mesurées de façon précise lorsqu'un appareil de prise de vues est étalonné, et les cartographes utilisent cette information lorsqu'ils réalisent une carte topographique.
5. **Recouvrement** : proportion de la superficie couverte par une photographie qui se retrouve sur une deuxième photographie ; on l'exprime généralement en pourcentage. On conçoit la trajectoire de vol de façon à assurer un recouvrement

longitudinal d'environ 60 % (photos dans l'axe de la ligne de vol) et un recouvrement latéral entre 20 à 40 % (photos de lignes de vol parallèles).

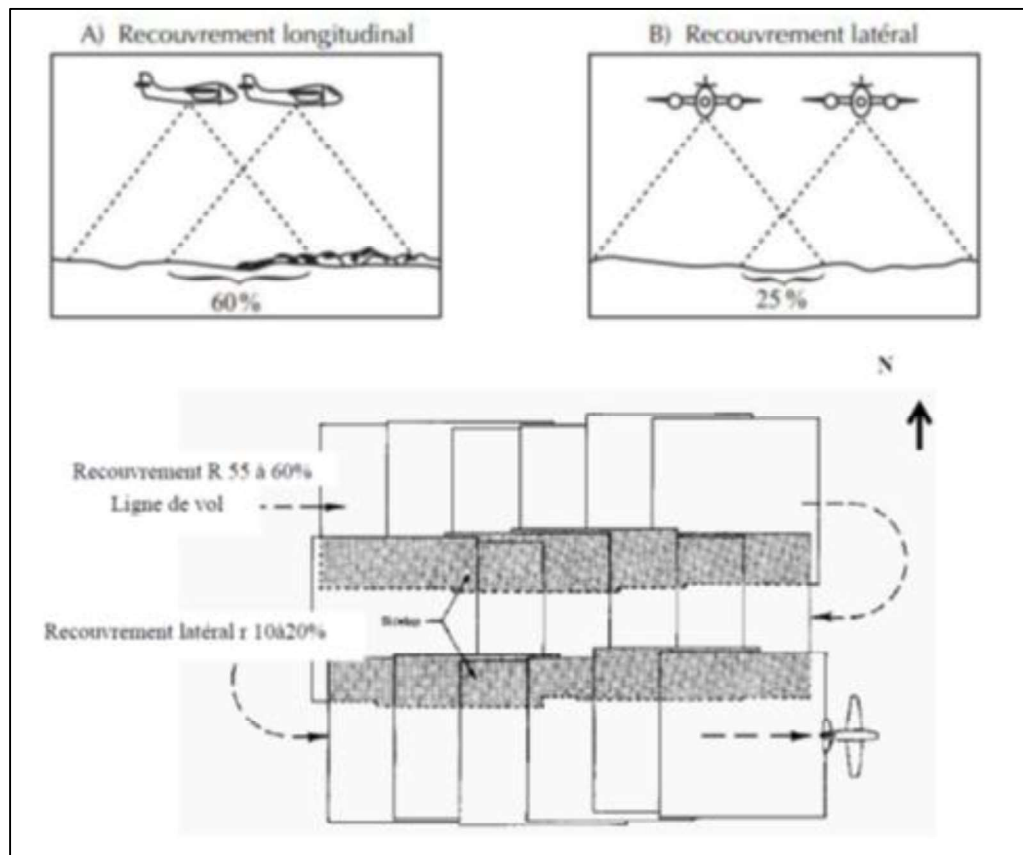


Figure N° 22 : Types et taux de recouvrement (prises de photo aérienne).

5. Organisation et recouvrement des photographies aériennes

- **Couverture stéréoscopique** : la vue tridimensionnelle qu'on obtient lorsqu'on visualise deux photos chevauchantes (appelée couple stéréoscopique) à l'aide d'un stéréoscope. Chaque photo du couple stéréoscopique offre une vue légèrement différente de la même région, que le cerveau combine et interprète comme une image en 3D.
- **Numéros de clichés et de rouleaux** : on assigne un numéro d'index propre à chaque photographie aérienne, d'après le numéro du rouleau et du cliché. Par exemple, la photo A23822-35 est annotée la 35e du rouleau A23822. Ce numéro d'identification permet de retrouver la photographie dans les archives de la PNA, en plus des renseignements comme la date à laquelle elle a été prise, l'altitude de l'aéronef (au-dessus du niveau de la mer), la distance focale de l'appareil de prise de vues et les conditions météorologiques.
- **Lignes de vol et cartes-index** : à la fin d'une session de photos, le responsable du levé aérien trace l'emplacement du centre de la première, de la dernière et de chaque cinquième photo, en plus des numéros de clichés et de rouleaux, sur une carte du Système national de référence cartographique (SNRC). Les centres des photos sont représentés par de petits cercles, et on trace des lignes droites pour relier les photos d'une même ligne de vol.

6. Les différents types de photos aériennes

Les photographies aériennes peuvent être classées en fonction de divers centre d'intérêt. Les photographies aériennes sont des images du territoire prises à une date donnée et elles servent à interpréter les formes et les détails qui le caractérisent. L'interprétation des formes, des teintes de couleurs ou de grisés et des textures permet de distinguer les détails présents et leur nature.

- **L'hydrographie (lacs, rivières, ruisseaux, étangs, mares);**
- **La végétation (milieu boisé, milieu humide, cultures);**
- **Les milieux habités ;**
- **Les infrastructures de transport (routes, chemins forestiers, sentiers);**
- **Les bûchers et les brûlis**

Lorsqu'elle est numérisée et corrigée et qu'elle possède des propriétés géométriques de localisation identiques à celles d'une carte, elle est appelée **orthophotographie**. **La télédétection** sert à l'observation de la Terre. Il s'agit d'une technique qui permet d'acquérir de l'information sur une cible au sol à partir d'un satellite. Il existe différents types de photos aériennes, chacun adapté à des besoins spécifiques en matière de collecte d'informations géospatiales.

6.1. Types selon le Format et les Echelles

6.1.1. Le format

Il existe plusieurs formats 13 X 13 cm, 13 X 18 cm, 18 X 18 cm, 23 X 23 cm, ce dernier le plus généralisé (Gagnon, 1974).

6.1.2. Les Echelles

L'échelle d'une photographie aérienne est le rapport d'une distance mesurée sur la photographie à la distance correspondante mesurée sur le terrain. Rappelons que la petite échelle correspond à une surface de grand étendue (pays, continent) et que la grande échelle correspond à une surface restreinte (localité).

Le choix d'une échelle (Tableau 03) est en fonction de la finesse des détails du phénomène étudié et de la précision requise pour le document final car la taille des objets identifiables sur les photographies dépend de l'échelle de ces photographies aériennes (Gagnon, 1974 ; Sabins, 1987). Aussi les échelles des photographies varient selon les disciplines d'études tableau suivant

Tableau N°03 : Classification des échelles en fonction des disciplines (Girard et Girard, 1989).

Echelle	Disciplines
Du 1/500e au 1/5.000 e	Urbanisme
Du 1/5.000 e au 1/25.000e	Biogéographie – études humaines
Du 1/15.000e au 1/40.000 e	Géomorphologie
Du 1/25.000e au 1/100.000 e	Géologie
Echelles très petites	

Du 1/1.000.000 e au 1/5.000.000 e	Structurologie continentale et Météorologie
-----------------------------------	---

6.2. Types selon l'Angle de prise de vue ou l'Axe de la photographie

6.2.1. La photographie aérienne verticale

La photographie aérienne est dite verticale lorsque l'axe optique de la chambre de prise de vue est confondu avec la verticale du lieu : L'axe optique ON de la photo aérienne est perpendiculaire par rapport au sol (Caloz et Collet, 2001).

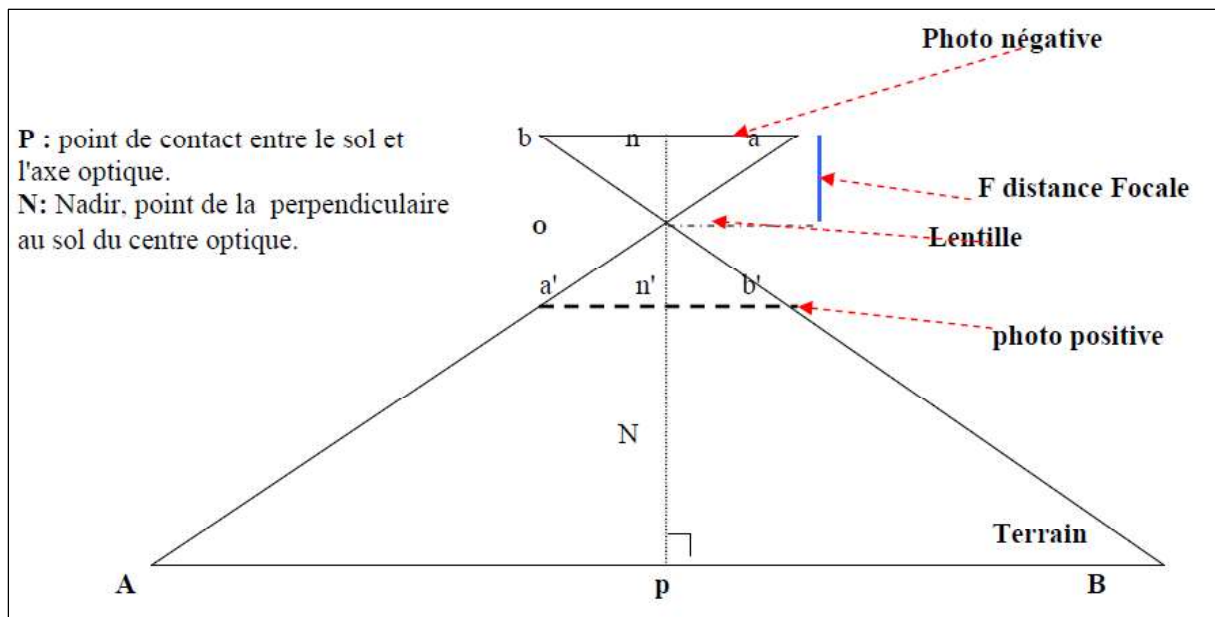


Figure N°23 : Photographie aérienne verticale.

6.2.2. La photographie aérienne oblique

Dans ce type de photographie aérienne, l'axe optique de prise de vue n'est plus rigoureusement vertical : il fait un angle i supérieur à 3° avec la verticale ON. Il y a deux types de photographies aériennes obliques :

- **La photographie aérienne oblique basse** : la ligne de l'horizon n'apparaît pas.
- **La photographie aérienne oblique haute ou panoramique** : la ligne de l'horizon apparaît.

Les prises de vues obliques présentent souvent l'avantage d'une grande variété dans les points de vue et les angles d'observation ; de ce fait, elles sont surtout utilisées pour des études particulières : Archéologie

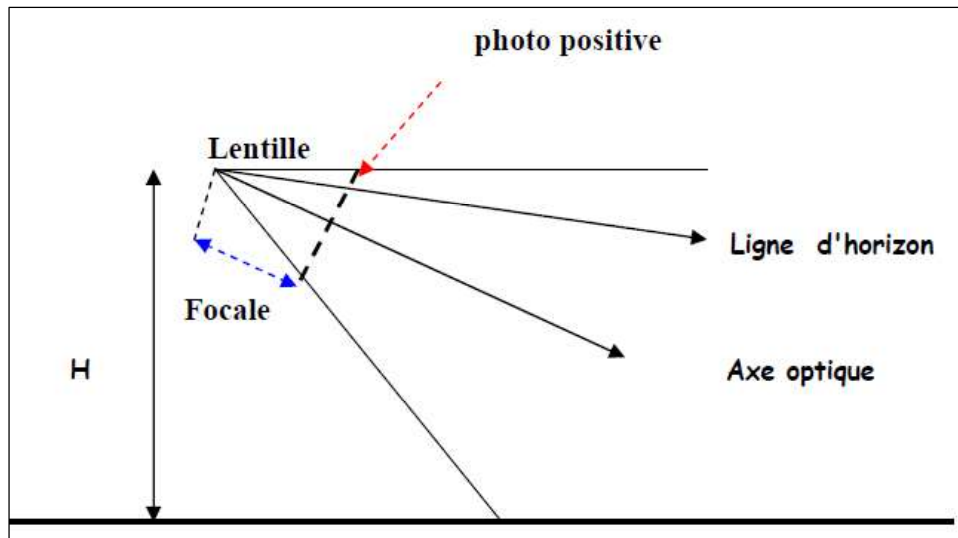


Figure N° 24 : Photographie aérienne oblique panoramique.

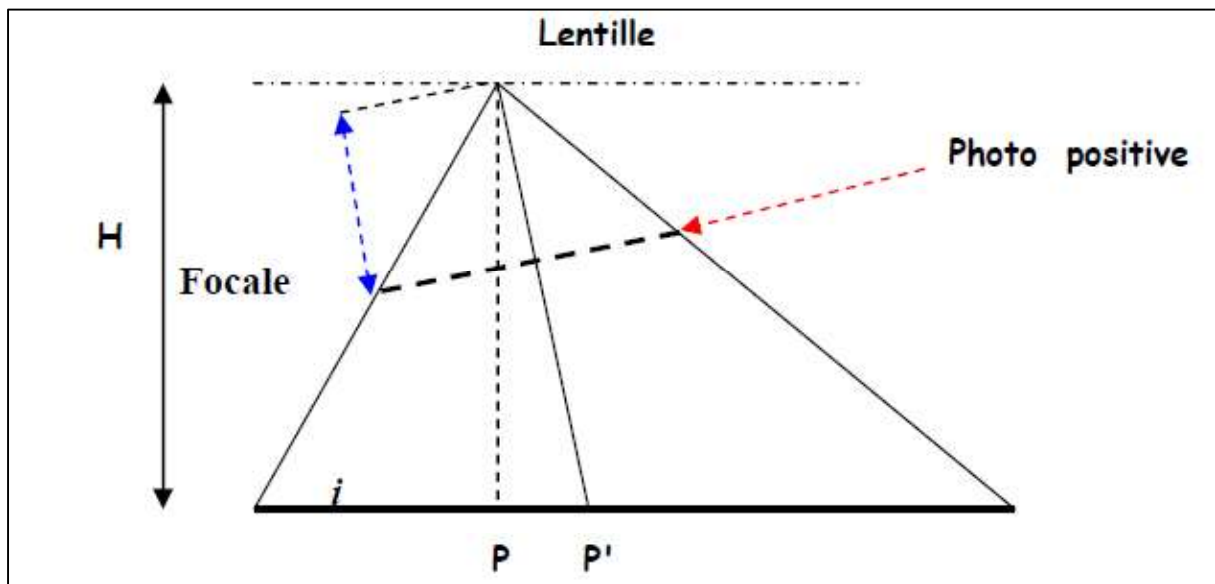


Figure N° 25 : Photographie aérienne oblique basse $i > 3^\circ$.

6.3. Types selon les émulsions

Les photographies aériennes sont obtenues à partir de pellicules dont les émulsions ont des caractéristiques diverses. Les émulsions sont des surfaces sensibles qui réagissent chimiquement à certaines radiations du spectre électromagnétique, plus particulièrement aux radiations de la bande spectrale allant de 400 à 900 nanomètres (soit le domaine du visible et de l'infra-rouge proche) (Bérard, 1977). Les différentes émulsions utilisées en photographie aérienne sont :

6.3.1. L'émulsion panchromatique noir et blanc (Black & White)



Figure N° 26 : Panchromatique noir et blanc (Black & White).

6.3.2. L'émulsion Infra Rouge « noir et blanc »



Figure N° 27 : Infra Rouge « noir et blanc ».

6.3.3. L'émulsion couleurs naturelles



Figure N° 28 : Couleurs naturelles.

6.3.4. L'émulsion en fausses couleurs ou Infra Rouge

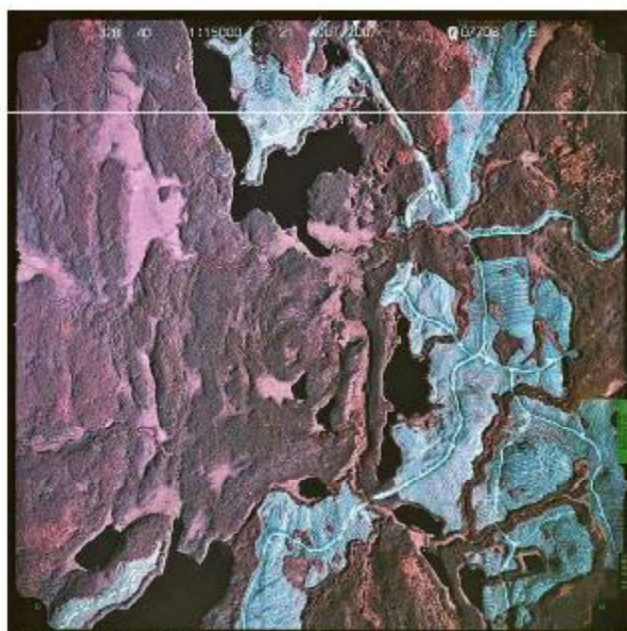


Figure N° 29 : Fausses couleurs ou Infra Rouge.

6.3.5. Les autres restitutions sous forme d'images (satellites)

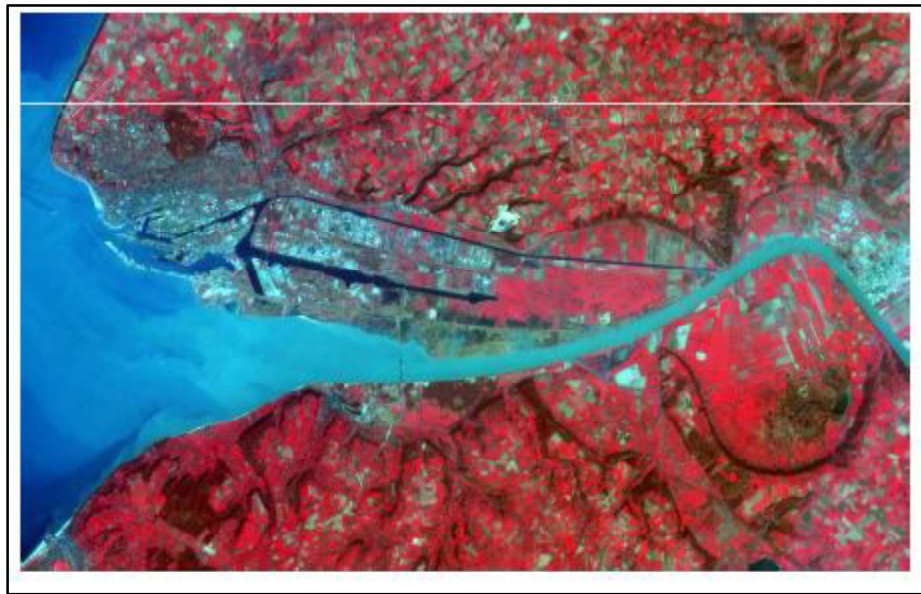


Figure N° 30 : Autres restitutions sous forme d'images.

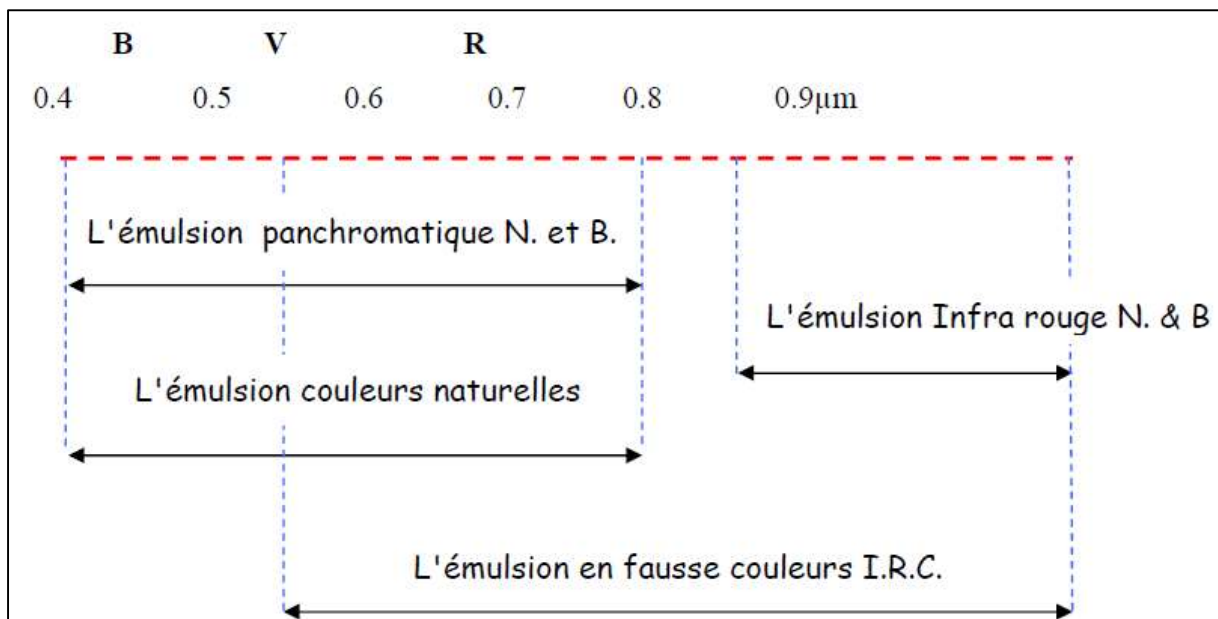


Figure N° 31 : Schéma récapitulatif de différentes émulsions. (H. Mouissa, 2017).

Chaque type de photo aérienne présente des avantages spécifiques en fonction des besoins de la tâche ou de l'application particulière. Le choix du type dépend des informations spécifiques que l'on souhaite obtenir de la région étudiée.

7. Une image riche en renseignements sur le territoire

Une **image riche en renseignements sur le territoire** fait référence à une photographie aérienne ou à une image satellitaire qui offre une quantité importante d'informations détaillées

et diverses sur une zone géographique spécifique. Ces images peuvent être utilisées pour diverses applications, notamment la cartographie, la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles, la surveillance environnementale et bien d'autres.

Les renseignements captés par les satellites sont enregistrés numériquement au moyen de détecteurs électroniques. L'information est ensuite enregistrée sous forme d'image et retransmise au sol à des stations de réception. À bord des satellites, le capteur enregistre les images sous forme de bandes spectrales. Chacune des bandes spectrales donne une image en noir et blanc, où les tons de gris varient. En superposant trois bandes spectrales avec des filtres de couleur, il est possible d'obtenir une image en couleurs ou un composé coloré. Chaque composé coloré donne des renseignements différents sur l'occupation du territoire.

8. Photographie aérienne et une image satellitaire

Les photos aériennes et les images satellitaires sont deux types d'imageries géo-spatiales utilisés pour capturer des informations sur la surface de la Terre, mais ils diffèrent principalement par la source de capture et les caractéristiques techniques.

Tableau N°04 : Comparaison entre la photo aérienne et l'image satellitaire.

	Photo Aérienne	Image Satellitaire
Source de Capture	Capturée depuis des aéronefs tels que des avions, des drones ou des ballons captifs qui survolent la zone d'intérêt.	Capturée depuis des satellites en orbite autour de la Terre.
Angle de Vue	des angles de vue plus variés et peuvent inclure des vues obliques, ce qui permet une perspective tridimensionnelle.	énéralement capturées avec une vue verticale depuis l'espace.
Résolution Spatiale	Peut offrir une résolution spatiale très élevée, en particulier lorsqu'elle est capturée à basse altitude.	La résolution spatiale peut varier, mais les images satellitaires haute résolution sont de plus en plus disponibles.
Couverture Géographique	Utilisée pour couvrir des zones plus spécifiques et peut être planifiée en fonction des besoins spécifiques.	Peut fournir une couverture mondiale et est particulièrement utile pour surveiller de vastes étendues
Fréquence de Capture	Peut-être capturée à la demande, mais la fréquence dépend des besoins et des ressources disponibles.	Les satellites peuvent capturer des images de la même zone à des intervalles réguliers, offrant une surveillance temporelle.
Applications	Souvent utilisée pour la cartographie détaillée, la planification urbaine, l'arpentage, et d'autres applications locales.	tilisée pour la surveillance environnementale, la gestion des ressources naturelles, l'observation des changements climatiques, et d'autres applications à l'échelle régionale ou mondiale.
Coût	Peut-être plus coûteuse, en particulier pour des missions spécifiques ou une résolution élevée.	Peut offrir une option plus économique, en particulier pour la surveillance à grande échelle.

En résumé, bien que les photos aériennes et les images satellitaires aient des caractéristiques distinctes, elles sont souvent complémentaires et peuvent être choisies en fonction des besoins spécifiques d'une tâche ou d'une application particulière. Le choix entre

les deux dépendra de la résolution, de la couverture géographique, de la fréquence de capture et d'autres facteurs liés aux objectifs.

9. L'interprétation des photographies aériennes

L'interprétation des photographies aériennes est une compétence essentielle dans le domaine de la télédétection et de la cartographie. Cela implique l'analyse visuelle et la compréhension des informations contenues dans les images capturées depuis des aéronefs.

Contrairement à une carte, les entités qui figurent sur une photographie aérienne ne sont pas généralisées ni exprimées sous forme de symboles. Les photographies aériennes enregistrent toutes les entités visibles à la surface de la Terre telles que vues d'en haut. Bien que les entités soient visibles, elles ne sont pas toujours faciles à identifier. On appelle photo-interprétation le processus d'étude et de collecte des renseignements requis pour identifier les diverses entités anthropiques et naturelles. Lorsque correctement interprétées, les photographies aériennes constituent une excellente source de données spatiales pour l'étude de l'environnement de la Terre.

9.1. Les facteurs à évaluer pour identifier une entité

- **La forme** : La forme d'un objet sur une photographie aérienne aide à identifier l'objet en question. Des formes régulières et uniformes indiquent souvent une contribution de l'homme.
- **Le Motif** ; Comme la forme, la disposition des objets dans l'espace (p. ex., cultures en rang par opposition un pré) est également utile pour identifier les objets et l'usage qu'on en fait.
- **La Taille** : La mesure de la superficie de l'objet
- **Les caractéristiques colorimétriques (Tonalité/couleur)** : On peut déterminer l'espèce des arbres par la couleur de leurs feuilles à certains moments de l'année.
- **L'ombre** ; fournit des renseignements sur la hauteur, la forme et l'orientation
- **Association/Site** : Le fait d'associer la présence d'un objet avec un autre peut aider à identifier un objet.
- **Temps**, Les caractéristiques temporelles d'une série de photographies peuvent être utiles pour déterminer les changements historiques dans une région
- **Vue stéréoscopique** : Il est important d'avoir une vue stéréoscopique ou 3-D d'une région afin d'en déterminer le relief topographique et la hauteur des objets tels que les arbres et les édifices.
- **Texture** : Les caractéristiques physiques d'un objet changeront la façon dont l'objet apparaît sur une photo

L'interprétation des photographies aériennes est une compétence cruciale dans l'analyse géospatiale. Elle implique l'identification visuelle des caractéristiques géographiques, l'analyse de l'usage des terres, la détection des changements temporels, l'évaluation de la topographie, la reconnaissance des structures humaines, l'analyse de la végétation, l'étude de l'érosion, la planification urbaine, l'utilisation de techniques d'analyse avancées, et l'intégration avec d'autres données géospatiales. Cette compétence permet une compréhension approfondie du paysage, favorisant des applications diverses telles que la planification urbaine, la gestion environnementale et l'aménagement du territoire.

10. La qualité de l'image

Une image de qualité suppose : netteté, absence de distorsions géométriques, absence d'aberration chromatique, défauts métriques aussi faibles que possible. D'autres paramètres autres que l'émulsion et les distorsions sont à prendre en compte : la luminosité, les conditions de vol. La couverture nuageuse doit être inférieure à 10%. Les ombres doivent être faibles (prise de vue à midi). La qualité de l'image dans le contexte des photographies aériennes fait référence à divers aspects qui déterminent la clarté, la précision et l'utilité des informations visuelles capturées. Voici quelques éléments clés qui influent sur la qualité de l'image dans ce contexte :

10.1. 1. Résolution Spatiale

La résolution spatiale mesure la netteté des détails dans une image. Une résolution plus élevée permet de distinguer des objets plus petits et offre une meilleure précision.

10.1.2. Contraste

Le contraste entre les différents éléments de l'image influence la facilité avec laquelle ils peuvent être distingués. Un bon contraste améliore la lisibilité.

10.1.3. Précision Géométrique

La précision géométrique se rapporte à la fidélité de la représentation de la position des objets dans l'image par rapport à leur position réelle sur le terrain.

10.1.4. Étalonnage Spectral

L'étalonnage spectral assure que les couleurs dans l'image correspondent de manière précise aux caractéristiques de surface réelles.

10.1.5. Absence de Distorsion

La distorsion peut altérer la forme des objets dans l'image. Une image sans distorsion garantit une représentation fidèle de la réalité.

10.1.6. Absence de Nuages et d'Obstructions

La présence de nuages, de brume ou d'autres obstructions atmosphériques peut compromettre la qualité de l'image en diminuant la visibilité.

10.1.7. Moment de la Capture

La qualité de la lumière lors de la capture, notamment l'angle du soleil, peut influencer la perception des détails et des ombres.

10.1.8. Étalonnage Temporel

L'utilisation d'images capturées à différents moments peut permettre de suivre les changements temporels, mais l'alignement temporel doit être pris en compte.

10.1.9. Qualité de l'Équipement de Capture

La qualité de l'instrument de capture, que ce soit un appareil photo aérien, un drone ou un satellite, influe directement sur la qualité de l'image.

10.1.10. Correction des Erreurs

Les corrections post-traitement, telles que la correction géométrique et radiométrique, contribuent à améliorer la qualité de l'image.

10.2. Photogrammétrie

La photogrammétrie est une technique qui a pour but de localiser et de restituer de façon précise les caractéristiques géométriques (forme, dimensions, orientations relatives) d'un objet à partir d'une ou plusieurs images. Si le photogrammètre utilise des images aériennes à axe vertical pour faire de la cartographie, il utilise également des photographies terrestres à axe oblique en architecture, surveillance d'ouvrage d'art, levé d'objet remarquable.

10.3. Restitution photogrammétrique

A l'aide de l'appareil de restitution, l'opérateur peut pointer les objets perçus en relief dans les images et enregistrer ainsi les coordonnées géographiques des objets qu'il vise. Dès cette étape, ces objets sont répartis par classes d'objets de même nature : habitations, réseau routier, rivières, bois, courbes de niveau. Les objets ainsi saisis sont ensuite renseignés par le topographe sur le terrain avant d'être dessinés par le cartographe. (Vers une utilisation sous SIG).

11. Production de documents photographiques élaborés

Lorsqu'elle est numérisée et corrigée et qu'elle possède des propriétés géométriques de localisation identiques à celles d'une carte, elle est appelée **orthophotographie**.

L'orthophotographie est une photographie aérienne qui a fait l'objet d'un balayage numérique de haute résolution ; qui a été corrigée géométriquement et redressée par rapport au sol afin d'éliminer les imprécisions occasionnées par l'inclinaison de la caméra au moment de la prise de vue et en raison de la déformation de l'image causée par le relief.

On a ajouté les coordonnées (géoréférence) afin d'être utilisée dans un ordinateur permettant ainsi d'y superposer d'autres informations géographiques, de mesurer des distances, etc. (SIG)

12. La photo numérique

De plus en plus, les photographies aériennes sont prises directement en mode numérique, avec des caméras numériques aéroportées. Ces images numériques aéroportées sont prises, à la manière des images satellite, par des détecteurs électroniques. Aussi, tout comme pour des images satellite, leur précision est-elle donnée en termes de résolution et non d'échelle. Par ailleurs, ces caméras prennent simultanément des images panchromatiques (en noir et blanc) et des images couleur qu'on dit aussi multispectrales (en rouge, vert et bleu).

- Les bandes panchromatiques sont généralement de meilleure résolution.
- Le grand avantage de l'utilisation des caméras numériques aéroportées réside dans le fait qu'il n'y a pas de pellicule, donc pas d'opération de développement.
- De plus, la photo n'a pas besoin d'être scannée pour produire une image numérique et elle est plus facile à stocker. Enfin, ces images ont de grandes qualités, puisqu'elles sont à la fois en bonne résolution en noir et blanc et en couleurs.

- Par contre, le grand avantage des caméras traditionnelles est leur champ plus étendu (elles couvrent plus de territoire par cliché) et leur prix largement inférieur à celui des équivalents numériques grands formats.

12.1.1. L'image numérique

Une image numérique est une image (dessin, icône, photographie...) créée, traitée, stockée sous forme binaire (suite de 0 et de 1). Lorsqu'on agrandit une image numérique, on voit que celle-ci est composée d'un ensemble de "points", appelés **pixels**.

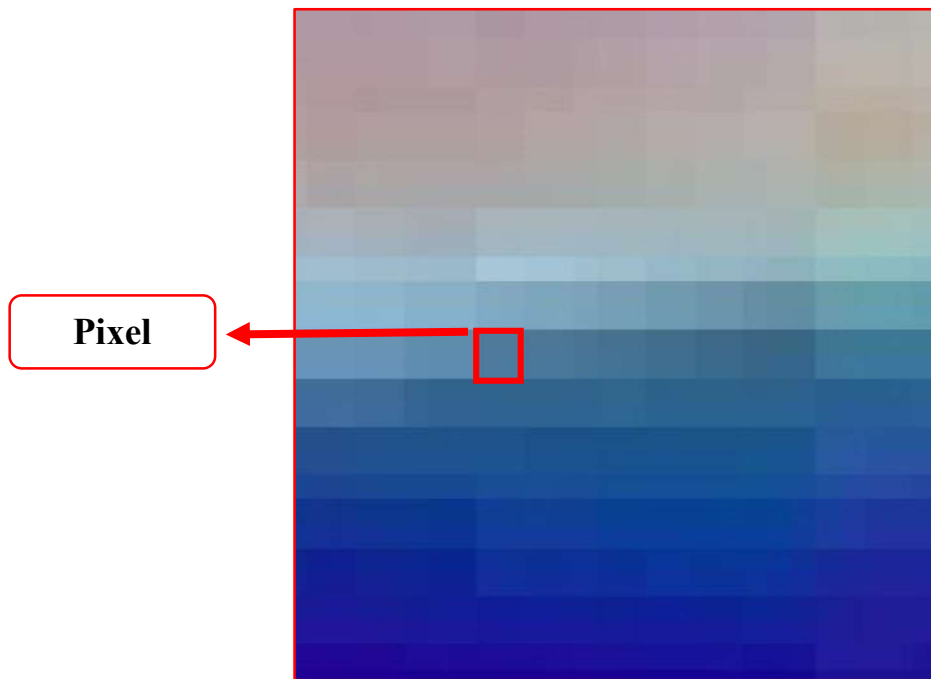


Figure N° 32 : Illustration de Pixel.

Les termes **Résolution** et **Définition** sont souvent confondus dans le langage de la photo numérique. Ils sont liés à la notion de pixels.

12.1.2. La Résolution d'une image

La résolution d'une image désigne la capacité de l'image à représenter des détails et à rendre les contours de manière nette. Elle est déterminée par le nombre de pixels contenus dans l'image.

La résolution d'une image en général c'est le nombre de pixels par pouce qu'elle contient (1 pouce = 2.54 centimètres). Elle est exprimée en "PPP" (points par pouce) ou DPI (dots per inch). Plus il y a de pixels (ou points) par pouce et plus il y aura d'information dans l'image (plus précise).

C'est le nombre de pixels contenus dans l'image par unité de longueur. La résolution définit la netteté et la qualité d'une image. Plus la résolution est grande (c'est-à-dire plus il y a de pixels dans une longueur de 1 pouce), plus votre image est précise dans les détails.

12.1.3. La définition

C'est le nombre de points (ou pixels) que comporte une image numérique en largeur et en hauteur (le nombre de colonnes et nombre de lignes). La résolution est mesurée en pixels par pouce (ppp) ou en dots per inch (dpi). Elle indique le nombre de pixels contenus dans chaque pouce de l'image. On parle aussi de Taille en pixels.

Exemple : une image dont la définition est **1600x1200** correspond à une image de **1600 pixels** en largeur et **1200 pixels** en hauteur.

12.1.4. Résolution Spatiale

La résolution spatiale se réfère à la netteté des détails dans l'image. Une résolution plus élevée permet de représenter des détails plus fins.

12.1.5. Haute Résolution et Basse Résolution

Une image haute résolution contient plus de pixels par pouce, offrant une qualité d'image supérieure. Une image basse résolution a moins de pixels et peut paraître floue ou pixélisée.

La résolution d'une image joue un rôle crucial dans la qualité visuelle de l'image, influençant sa netteté, sa clarté et son aptitude à représenter des détails fins. Elle est un facteur clé dans divers domaines tels que la photographie, la cartographie, la télédétection et la conception graphique.

13. La notion de pixel

“**Pixel**” c'est la contraction de l'expression anglaise "picture element", désigne la plus petite unité discrète composant une image numérique. Le pixel est la plus petite composante d'une image numérique. Il est possible de distinguer chaque pixel en grossissant fortement l'image. Logiquement, plus une image comporte de pixels, plus elle est détaillée. Plus une image comporte de pixels, plus elle est « lourde » en terme de poids informatique. Le pixel, souvent abrégé p ou px, est l'unité de base de la définition d'une image numérique matricielle. L'ensemble de ces pixels est contenu dans un tableau à deux dimensions (largeur et hauteur) constituant l'image.

13.1.1. Définition

Un pixel est la plus petite unité de base d'une image numérique. Il représente un point discret sur la grille qui forme l'image. Le pixel est l'unité minimale adressable par le contrôleur vidéo. C'est aussi l'unité utilisée pour spécifier les définitions d'affichage (**largeur × hauteur**).

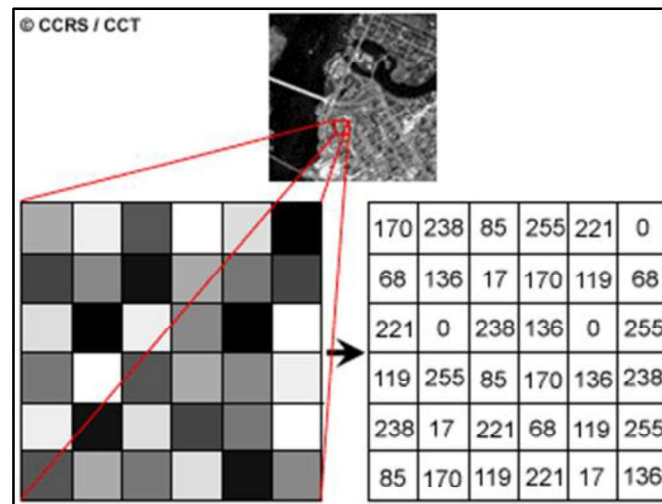


Figure N° 33 : Affichage et codage des Pixels.

13.2. La visualisation des images numériques

Consiste à associer un niveau de gris ou une couleur à chaque valeur de pixel. Avec un codage en 8 bits, le 0 correspond au noir et le 255 au blanc (sur un octet). Il est possible de visualiser plusieurs canaux en même temps en synthèse additive de couleur : on obtient une composition colorée.



Figure N° 34 : Intensité lumineuse sur un octet.

A retenir

- L'image numérique tend à se substituer à l'émulsion chimique
- Elle est donc utile par sa maniabilité, la qualité de sa résolution et son coût.
- Les satellites acquièrent aujourd'hui des résolutions plus fine et meilleures que les photos.

Enfin un pixel est la plus petite unité discrète constituant une image numérique. Combinés en une matrice, les pixels forment l'image visuelle, chacun possédant des attributs tels que couleur et luminosité. La taille et la résolution des pixels influencent la qualité de l'image, jouant un rôle crucial en photographie numérique et sur les écrans numériques. La densité de pixels détermine la netteté visuelle, et l'évolution technologique a permis des captures d'image avec une résolution toujours plus élevée.

14. Conclusion

L'intégration de la photographie aérienne, des images satellitaires, de la qualité d'image, des pixels, de la résolution, de la télédétection, des SIG, et de la cartographie permet une compréhension complète de la planète. Ces technologies offrent une exploration détaillée du territoire, collectant des données cruciales pour la gestion des ressources, la surveillance environnementale, et l'aménagement du territoire. La qualité d'image, liée à la résolution et aux pixels, influe sur la précision des données, tandis que la télédétection et les SIG facilitent l'analyse spatiale. En combinant ces outils, on obtient une cartographie environnementale précise, soutenant les initiatives de préservation et de gestion durable de l'environnement.

CHAPITRE VI : LA CARTOGRAPHIE ECOLOGIQUE

1. Introduction

La cartographie écologique constitue une discipline essentielle dans la compréhension et la préservation de la biodiversité et des écosystèmes. Cette pratique cartographique spécialisée vise à représenter spatialement les interactions complexes entre les composants biotiques et abiotiques d'un environnement donné. En mettant l'accent sur les relations entre les espèces, les habitats et les facteurs environnementaux, la cartographie écologique offre des outils précieux pour la gestion durable des ressources naturelles, la conservation des habitats, et la prise de décisions éclairées dans le domaine de l'environnement. Grâce à l'utilisation de technologies modernes telles que la télédétection, les SIG et les données écologiques détaillées, la cartographie écologique permet une représentation visuelle et analytique des écosystèmes, contribuant.

La cartographie écologique vise à décrire les caractéristiques écologiques d'un territoire en utilisant divers paramètres intégrés. Diverses méthodologies, telles que celles de Christian, Steward, McHarg, Bernâldez, et d'autres, utilisent des indicateurs pour simplifier l'information nécessaire à la synthèse intégrée du territoire. Ces indicateurs servent également de base à la cartographie. La cartographie et l'écologie, bien que distinctes, sont étroitement liées, la cartographie étant au service de l'écologie, notamment à travers la cartographie écologique. L'application de la théorie de l'information en écologie a donné des résultats satisfaisants pour la description des structures écologiques et l'étude de l'organisation des écosystèmes. Cependant, son application à la biogéographie et à la cartographie écologique reste limitée. La carte, en tant qu'objet socio-technique, devient un acteur-réseau, cristallisant un processus collectif qui relie les acteurs entre eux et à la nature. La cartographie, en tant que support privilégié, facilite la représentation des données spatiales et la compréhension des problématiques liées aux paysages et à la biodiversité.

La cartographie est l'un des supports le plus approprié pour donner une représentation qualitative et quantitative des données brutes spatialisées et faciliter la compréhension des problématiques de paysages (corridor, fragmentation de milieu) et de biodiversité (espèces, habitats, fonctionnalités écologiques, distribution spatial..etc).

1.1. Les niveaux d'intégration en écologie

Les niveaux d'intégration en écologie se réfèrent à la manière dont les chercheurs abordent l'étude des interactions dans les écosystèmes en considérant différents niveaux d'organisation biologique. Ces niveaux varient en complexité, allant des composants individuels d'un écosystème aux interactions complexes entre différentes espèces et communautés. Les principaux niveaux d'intégration en écologie comprennent :

- **Niveau moléculaire et cellulaire** : Se concentre sur les processus biologiques au niveau des molécules et des cellules, examinant les mécanismes moléculaires qui régissent le fonctionnement des organismes.
- **Niveau individuel** : Explore les caractéristiques et le comportement des organismes individuels, en mettant l'accent sur les adaptations, la physiologie et la dynamique des populations.

- **Niveau de la population** : Analyse la dynamique des populations, étudiant les facteurs qui influent sur la taille, la distribution et la structure des populations d'une espèce donnée.
- **Niveau de la communauté** : Se penche sur les interactions entre différentes espèces au sein d'une communauté écologique spécifique, examinant la diversité et les relations trophiques.
- **Niveau de l'écosystème** : Étudie les flux d'énergie, les cycles biogéochimiques et la structure globale d'un écosystème, en examinant comment les différentes populations interagissent entre elles et avec leur environnement physique.
- **Niveau du paysage** : Considère la distribution spatiale des écosystèmes et des communautés à grande échelle, examinant les motifs de paysage, les corridors écologiques et les interactions entre différents types d'habitats.
- **Niveau de la biosphère** : Englobe l'ensemble de la Terre en tant que système interconnecté, étudiant les cycles globaux, les influences climatiques et les grands modèles biogéographiques.

La compréhension complète des écosystèmes nécessite souvent une approche intégrée, combinant plusieurs de ces niveaux pour capturer la complexité des interactions biologiques et environnementales.

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG), la cartographie et les systèmes de gestion de l'information écologique sont désormais indispensables pour la planification forestière et la gestion des ressources naturelles. Cependant, les chercheurs sont confrontés à de nouveaux défis, notamment en termes d'échelle, de changements dynamiques dans la structure des paysages, de précision et d'intégration des données, d'efficacité de l'analyse, et d'applications émergentes telles que le suivi de la biodiversité.

Le lien étroit entre l'écologie et l'habitat a conduit à l'utilisation de la cartographie à plusieurs niveaux d'études. En premier lieu, le terme "habitat" fait référence à l'environnement naturel de vie des espèces, et en second lieu, cet environnement habitable est situé à un endroit réunissant les conditions nécessaires à la vie d'une espèce. Ainsi, pour présenter de manière synthétique et facilement interprétable un environnement écologique, y compris son emplacement précis et les caractéristiques déterminantes pour la prospérité d'une espèce, la cartographie se révèle être la solution la plus appropriée.

1.2.L'apport de la cartographie

L'apport de la cartographie à l'écologie est significatif, offrant des avantages majeurs pour la compréhension et la gestion des écosystèmes. Une carte permet d'identifier et de référencer divers éléments sur un territoire donné, offrant une représentation échelonnée du patrimoine naturel, de l'échelle nationale jusqu'au niveau local, tel qu'un parc communal. Voici quelques contributions clés de la cartographie à l'écologie :

- **Visualisation Spatiale** : La cartographie permet une représentation visuelle spatiale des données écologiques, facilitant la compréhension des schémas et des relations géographiques entre les éléments de l'écosystème. Cela aide à identifier les tendances, les concentrations et les zones d'intérêt écologique.
- **Analyse des Habitats** : La cartographie écologique permet la représentation détaillée des habitats naturels et des environnements spécifiques requis par différentes espèces.

Elle offre une vue d'ensemble des types de couvertures végétales, des zones humides, des reliefs, et d'autres caractéristiques cruciales.

- **Suivi des Changements Environnementaux** : Les cartes permettent le suivi temporel des changements dans les écosystèmes, qu'il s'agisse de modifications dans la couverture végétale, de variations climatiques, de la dégradation des habitats, ou d'autres évolutions environnementales.
- **Planification de la Conservation** : La cartographie écologique aide à identifier les zones de grande valeur écologique, orientant ainsi la planification des initiatives de conservation. Elle permet de cibler les zones nécessitant une protection particulière en raison de leur biodiversité ou de leur importance écologique.
- **Modélisation des Écosystèmes** : Les cartes sont intégrées dans les modèles écologiques pour simuler le fonctionnement des écosystèmes, prévoir les impacts des changements environnementaux, et évaluer les scénarios potentiels pour la gestion des ressources.
- **Communication et Sensibilisation** : Les cartes simplifient la communication des résultats de recherche écologique auprès du grand public, des décideurs politiques et d'autres parties prenantes. Elles facilitent la sensibilisation aux enjeux environnementaux.
- **Planification Territoriale** : Les cartes écologiques jouent un rôle crucial dans la planification territoriale en intégrant les considérations écologiques dans les décisions liées à l'aménagement du territoire, à l'urbanisme et au développement.

La cartographie constitue un outil puissant pour l'écologie, offrant une perspective spatiale essentielle pour comprendre, gérer et préserver les écosystèmes de manière durable.

2. Notions fondamentales

2.1. Carte écologique (Ecosite map)

Une carte écologique, également connue sous le nom d'Ecosite map, est une représentation visuelle détaillée des caractéristiques écologiques d'une région spécifique. Elle inclut des informations sur les différents habitats, les types de sol, la biodiversité, les zones humides, les cours d'eau, et d'autres éléments qui contribuent à la compréhension de l'écosystème local. Ces cartes sont des outils essentiels pour la planification environnementale, la conservation de la biodiversité et la gestion durable des ressources naturelles. Elles permettent de visualiser l'impact des activités humaines sur l'environnement et aident à prendre des décisions éclairées pour la préservation des écosystèmes.

Une carte écologique est une représentation géographique détaillée présentant la répartition d'informations spécifiques telles que les types de couverts forestiers, les essences végétales, l'origine des peuplements, la densité, la hauteur, les perturbations, les classes d'âge, les pentes, les dépôts de surface, les classes de drainage, et les types écologiques. En essence, il s'agit d'une carte thématique axée sur des aspects écologiques particuliers.

2.2. Exemple de carte écologique

Les cartes écologiques peuvent prendre diverses formes en fonction de l'objectif de l'étude et des informations à représenter. Voici quelques exemples d'éléments que l'on pourrait trouver sur des cartes écologiques :

- **Carte de la couverture végétale** : Affiche la distribution des différents types de végétation dans une région donnée.
- **Carte de la biodiversité** : Indique les zones riches en diversité biologique, mettant en évidence la présence d'espèces spécifiques.
- **Carte des habitats naturels** : Identifie et classe les habitats naturels, tels que les forêts, les marais, les zones humides, etc.
- **Carte de la qualité de l'air ou de l'eau** : Présente la qualité de l'air ou de l'eau dans différentes zones, soulignant les niveaux de pollution ou de pureté.
- **Carte des corridors écologiques** : Montre les voies de migration ou les corridors utilisés par les espèces pour se déplacer entre différents habitats.
- **Carte des zones de conservation** : Désigne les zones spécifiques réservées à la protection de la faune et de la flore.
- **Carte des zones protégées** : Identifie les zones dédiées à la préservation de l'environnement et à la régulation des activités humaines.
- **Carte des écosystèmes aquatiques** : Représente la distribution des écosystèmes aquatiques, tels que les lacs, les rivières et les estuaires.
- **Cartographie du risque feu des forêts** : Cette carte identifie les zones présentant un risque élevé d'incendies forestiers, permettant une gestion proactive de la prévention et de la lutte contre les feux de forêt.
- **Cartographie de la végétation** : Cette carte illustre la distribution spatiale des types de végétation dans une région donnée, offrant des informations cruciales pour la conservation et la gestion des écosystèmes.
- **Cartes de l'occupation du sol** : Ces cartes décrivent la répartition des différentes utilisations des terres, telles que les zones urbaines, agricoles, forestières, etc., facilitant la planification du développement et de la préservation.
- **Carte de répartition des plantes** : Elle indique les zones où certaines espèces végétales spécifiques sont présentes, aidant à la conservation de la biodiversité et à la protection des écosystèmes fragiles.
- **Carte de répartition des habitats** : Cette carte met en évidence la localisation des habitats naturels, contribuant à la préservation des écosystèmes spécifiques et à la gestion durable des ressources.
- **Carte de répartition des espèces** : Identifie les régions où des espèces particulières d'animaux ou de plantes sont présentes, essentielle pour la protection des espèces en danger et la mise en place de mesures de conservation.

Ces exemples illustrent la diversité des cartes écologiques, chacune visant à fournir des informations spécifiques pour soutenir la gestion et la conservation de l'environnement.

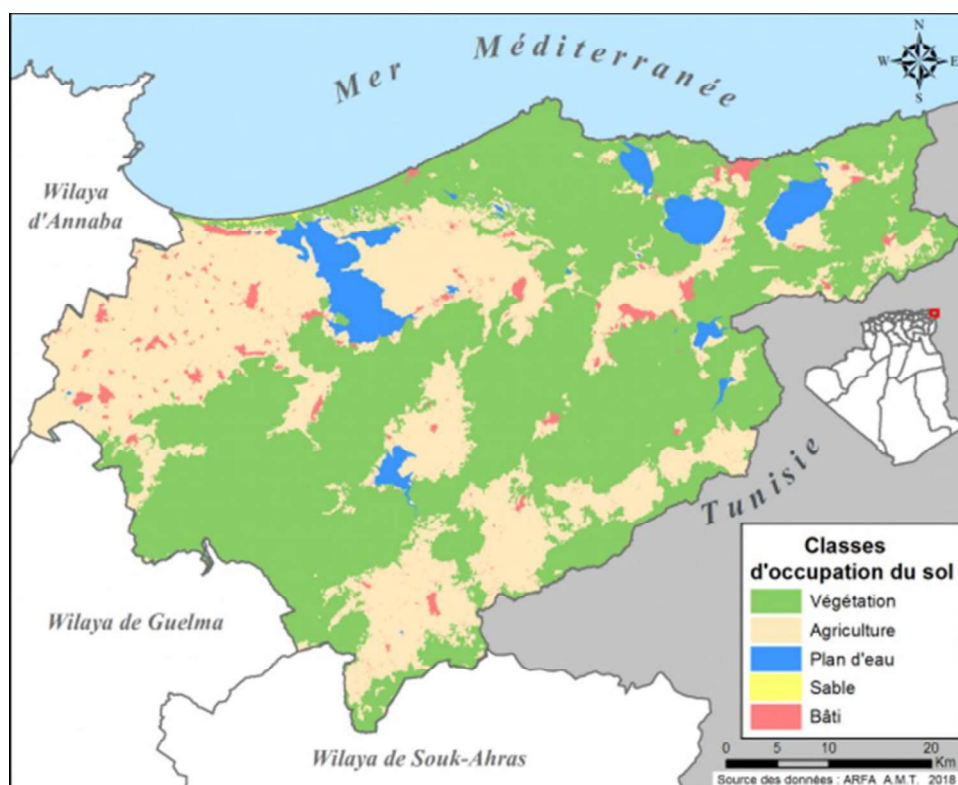


Figure N° 35 : Localisation et classes d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf (Arfa et *al.*, 2019).

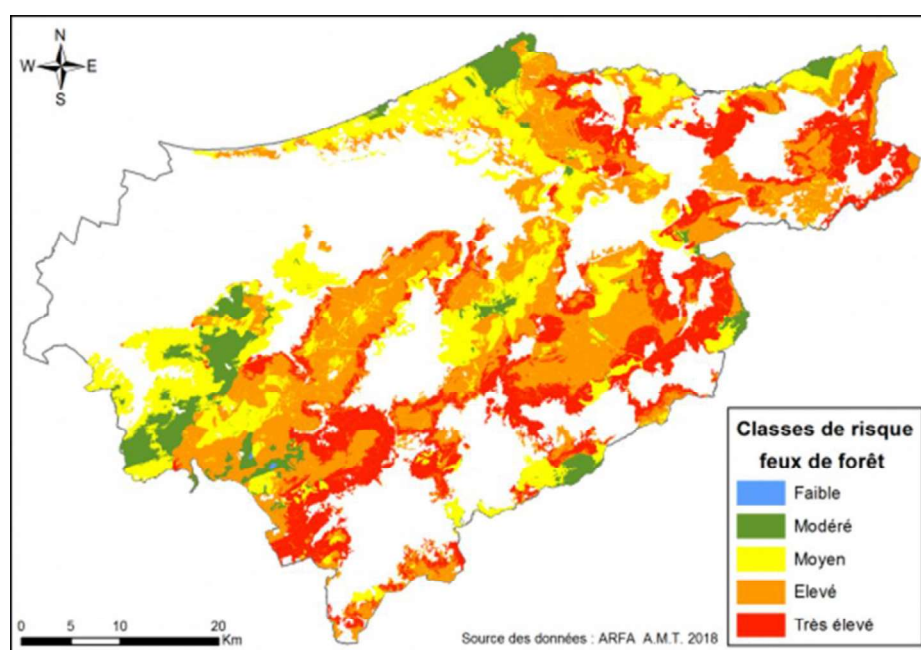


Figure N° 36 : Risque feux de forêt des massifs forestiers de la wilaya d'El Tarf (Arfa et *al.*, 2019).

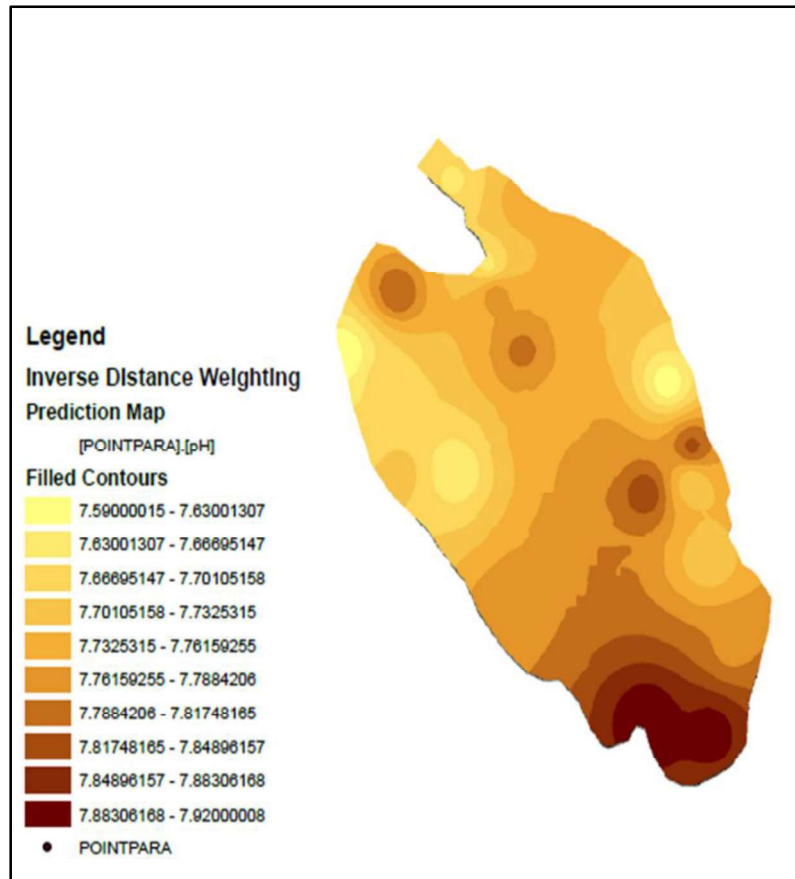


Figure N° 37 : Carte de distribution spatiale de pH dans la lagune d'El Mellah (PNEK-Algérie). (Rebbah, 2013).

Ces cartes écologiques sont des outils précieux pour la prise de décision dans divers domaines, tels que la gestion des risques naturels, la planification urbaine, la conservation de la biodiversité et la surveillance environnementale.

3. Les cartes de végétation à différentes échelles

Les cartes de végétation sont des représentations graphiques qui décrivent la distribution spatiale des types de végétation dans une zone donnée. Ces cartes fournissent des informations essentielles sur la diversité biologique, les écosystèmes et les habitats naturels. Elles sont créées en utilisant des données collectées sur le terrain, des images satellites, des photographies aériennes et d'autres sources. Les cartes de végétation sont cruciales pour plusieurs domaines, dont la gestion des ressources naturelles, la conservation de la biodiversité et la planification environnementale. Elles peuvent également être utilisées pour évaluer les changements dans la couverture végétale au fil du temps, fournissant ainsi des indications précieuses sur les tendances écologiques.

3.1. La végétation

La végétation regroupe l'ensemble des plantes présentes dans un lieu donné, englobant des concepts tels que le tapis végétal, le paysage végétal, le type de végétation et la formation végétale. Elle se divise en végétation naturelle, composée de plantes spontanées, et végétation

artificialisée, comprenant des plantes cultivées. La couverture végétale ou paysage végétal se rapporte à ce qui pousse sur une surface terrestre ou dans un milieu aquatique.

La végétation joue un rôle fondamental dans le domaine de l'écologie en raison de son impact significatif sur les écosystèmes et l'environnement. Voici quelques points soulignant l'importance de la végétation dans l'écologie :

- **Biodiversité** : La végétation est une composante clé de la biodiversité. Elle abrite une variété d'espèces végétales, animales et microbiennes, contribuant à la richesse et à l'équilibre des écosystèmes.
- **Cycle de l'eau** : Les plantes participent au cycle de l'eau par le processus de transpiration, où elles libèrent de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cela influence la pluviométrie, l'humidité atmosphérique et les régimes hydrologiques.
- **Production d'oxygène** : Les plantes effectuent la photosynthèse, produisant de l'oxygène et absorbant le dioxyde de carbone. Elles contribuent ainsi à maintenir l'équilibre des gaz atmosphériques essentiels à la vie.
- **Habitats et refuges** : La végétation offre des habitats cruciaux pour de nombreuses espèces, agissant comme des refuges, des zones de reproduction et des sources de nourriture. La diversité des plantes crée des niches écologiques variées.
- **Protection des sols** : Les racines des plantes contribuent à stabiliser le sol, prévenant l'érosion. La végétation joue un rôle clé dans la préservation de la qualité des sols et dans la régulation des cycles des éléments nutritifs.
- **Climat et microclimats** : La végétation influence les conditions climatiques locales en fournissant de l'ombre, en régulant la température et en créant des microclimats. Les forêts, par exemple, peuvent influencer le climat à l'échelle régionale.
- **Épuration de l'air** : Les plantes contribuent à purifier l'air en absorbant des polluants atmosphériques et en libérant de l'oxygène. Elles participent ainsi à la qualité de l'air.
- **Services écosystémiques** : La végétation fournit une gamme de services écosystémiques, tels que la pollinisation des cultures, la régulation des ravageurs, la fourniture de ressources alimentaires et médicinales, et la régulation du climat.
- **Études écologiques** : La végétation sert de base pour de nombreuses études écologiques. L'analyse de la composition floristique, de la structure des communautés végétales et des modèles de distribution spatiale aide à comprendre les écosystèmes.

La végétation est essentielle à la santé et à la durabilité des écosystèmes, et son rôle est interconnecté avec de nombreux aspects de l'écologie et de l'environnement.

3.2. Formations végétales

En botanique et en biogéographie, une formation végétale désigne une communauté d'espèces végétales, caractérisée par une certaine physionomie, et qui détermine un paysage caractéristique. Cette physionomie, on dit aussi, « végétation », qui permet de faire une description générale à une échelle assez étendue, dépend des espèces qui composent la formation végétale et du milieu qui les accueille. On distingue par exemple, la forêt, la mangrove, la steppe, la savane, la lande, la mégaphorbiaie, la cariçaie, etc.

On peut préciser, à l'intérieur de ces grandes catégories des formations végétales plus précises en tenant compte des conditions écologiques qui les caractérisent : on peut de la sorte distinguer différents types de forêts ou de landes.

Une formation végétale, également appelée communauté végétale ou association végétale, se réfère à un ensemble d'espèces végétales qui coexistent dans un environnement donné, présentant des caractéristiques communes en termes de composition floristique, de structure et d'adaptations écologiques. Ces formations végétales peuvent varier en taille, allant de petits groupements de plantes à de vastes écosystèmes.

Voici quelques points clés liés aux formations végétales :

- **Composition floristique** : Les formations végétales regroupent différentes espèces de plantes qui ont évolué pour coexister dans des conditions environnementales spécifiques. La combinaison d'espèces donne une identité particulière à chaque formation.
- **Structure végétale** : Les formations végétales présentent une organisation spécifique en termes de stratification verticale, avec des strates telles que la canopée, la strate arbustive et la strate herbacée. La structure influence la répartition de la lumière, des nutriments et de l'eau.
- **Adaptations écologiques** : Les plantes au sein d'une formation végétale développent des adaptations pour prospérer dans leur environnement particulier. Cela peut inclure des traits physiologiques, morphologiques et comportementaux qui les aident à survivre et à se reproduire.
- **Facteurs environnementaux** : Les caractéristiques d'une formation végétale sont fortement influencées par les conditions climatiques, le type de sol, l'altitude, la topographie et d'autres facteurs environnementaux locaux.
- **Dynamique temporelle** : Les formations végétales évoluent au fil du temps en réponse aux perturbations naturelles telles que les incendies, les inondations et les changements climatiques. La dynamique temporelle peut également être influencée par les activités humaines.
- **Écosystèmes spécifiques** : Chaque type de formation végétale crée un écosystème spécifique avec des caractéristiques uniques en termes de biodiversité, de cycles biogéochimiques et de services écosystémiques.

Exemples de formations végétales comprennent les forêts tropicales, les prairies, les déserts, les toundras, les mangroves, les tourbières, et bien d'autres. L'étude des formations végétales est essentielle pour comprendre la diversité biologique, la distribution des espèces et les interactions écologiques au sein des écosystèmes.

3.3. Classifications

3.4.1. La classification des formations végétales

La classification des formations végétales vise à regrouper ces dernières en catégories distinctes en fonction de critères tels que la structure, la composition floristique, le climat, le type de sol et d'autres caractéristiques écologiques. Il existe plusieurs approches pour classer les formations végétales, et les systèmes de classification peuvent varier en fonction des préoccupations spécifiques de la recherche ou de la gestion. Cependant, une classification couramment utilisée est basée sur la structure et l'apparence générale des formations végétales. Voici quelques catégories générales :

- **Forêts** : Les forêts sont des formations végétales caractérisées par une canopée continue d'arbres qui couvre une grande partie du sol. Elles peuvent être subdivisées en forêts tropicales, tempérées et boréales, chacune adaptée à des conditions climatiques spécifiques.
- **Savanes** : Les savanes se caractérisent par une végétation composée d'arbres dispersés ou en groupes, avec une strate herbacée plus abondante. Elles sont souvent associées à des climats tropicaux ou subtropicaux.
- **Prairies** : Les prairies sont des formations végétales dominées par des herbacées, avec peu ou pas d'arbres. Elles se trouvent dans des climats variés et peuvent être des prairies naturelles ou des prairies aménagées par l'homme.
- **Déserts** : Les déserts sont des formations végétales caractérisées par une faible couverture végétale due à des conditions arides. Les plantes adaptées à la sécheresse prédominent.
- **Toundras** : Les toundras sont des formations végétales présentes dans les régions polaires, caractérisées par une végétation basse, notamment des mousses et des lichens, en raison des conditions froides et du permafrost.
- **Maquis et Garrigues** : Ces formations végétales méditerranéennes se caractérisent par une végétation arbustive et herbacée adaptée aux climats chauds et secs.
- **Mangroves** : Les mangroves sont des formations végétales côtières adaptées aux milieux salins, composées d'arbres et d'arbustes.
- **Tourbières** : Les tourbières sont des formations végétales situées dans des zones humides où l'accumulation de matière organique morte forme de la tourbe.

3.3.2. Une autre classification

Classification internationale, établie en 1973 par la FAO en a ainsi distingué 225 types différents dans un classement cohérent. Cette classification retient cinq classes de formations fondamentales :

- **Forêts fermées**
- **Forêts claires**
- **Buissons et fourrés**
- **Sous-arbrisseaux et landes basses**
- **Végétation herbacée**

Ces classes de base sont ensuite divisées chacune en sous-classes :

- **Sempervirentes ;**
- **Décidues ;**
- **xéromorphiques, etc.**

Dans chaque sous-classe on distingue ensuite des formations et des sous-formations. Cependant, avec les progrès réalisés dans les domaines de la chorologie et de la phytosociologie, cette notion tend à être abandonnée pour être remplacée par celle plus précise de groupement végétal, qui tient compte des espèces précises qui composent la communauté et de la manière dont elles se trouvent associées.

La classification des formations végétales est un outil essentiel pour comprendre la diversité des écosystèmes, faciliter la recherche écologique, et contribuer à la gestion durable des ressources naturelles.

3.4. La phytosociologie

La phytosociologie est une discipline de l'écologie végétale qui analyse les groupements de plantes et leur répartition géographique. Elle étudie les relations entre les espèces végétales au sein de communautés, identifie des associations végétales caractérisées par des espèces indicatrices et des conditions écologiques spécifiques. Cette approche permet une meilleure compréhension de la biodiversité, des dynamiques écologiques, et ses résultats sont utilisés dans la conservation de la nature, la gestion des écosystèmes et la cartographie écologique.

3.5. La flore

La flore représente l'ensemble des espèces végétales présentes dans une région donnée. Elle englobe la diversité des plantes, allant des espèces herbacées aux arbres, et peut varier en fonction des conditions climatiques, géographiques et écologiques. La flore est un composant essentiel des écosystèmes, contribuant à l'équilibre écologique, la production d'oxygène, la fourniture d'habitats, et joue un rôle crucial dans de nombreux cycles biogéochimiques. L'étude de la flore, connue sous le terme de floristique, est importante pour la conservation de la biodiversité, la gestion des ressources naturelles et la compréhension des interactions au sein des écosystèmes.

3.6. La botanique

La botanique est la branche de la biologie qui étudie les plantes, incluant leur structure, leur croissance, leur reproduction, leur classification et leur distribution géographique. Elle englobe également l'étude des champignons et d'autres organismes apparentés. Les botanistes explorent une variété de domaines, tels que la physiologie végétale, la taxonomie, l'écologie végétale, la génétique des plantes, et la biotechnologie végétale. La botanique joue un rôle essentiel dans la compréhension de la diversité des plantes, leur adaptation à différents environnements, ainsi que leur utilisation dans l'agriculture, la médecine et d'autres domaines.

3.7. L'écologie végétale

L'écologie végétale est une branche de l'écologie se concentrant sur les interactions entre les plantes, leur environnement et d'autres organismes. Elle étudie comment les plantes réagissent aux facteurs environnementaux, leur dynamique de population, la succession écologique et les adaptations aux conditions locales. Essentielle pour évaluer les impacts environnementaux, la conservation des espèces végétales et la gestion durable des ressources, l'écologie végétale contribue à notre compréhension des écosystèmes et de la biodiversité.

3.8. Phytogéographie

La phytogéographie est une branche de la biogéographie qui étudie la distribution des plantes à l'échelle mondiale. Elle analyse les facteurs physiques, climatiques, géologiques et biotiques qui influent sur la répartition des espèces végétales. Cette discipline contribue à la compréhension de la diversité végétale et des interactions entre les plantes et leur environnement. **Des cartes phytogéographiques (quand elles existent) permettent de diffuser la connaissance et d'entreprendre des études affinées de la phytogéographie.**

Une carte phytogéographique c'est une représentation à différentes échelles (mondiale, européenne, nationale, régionale...) de zones homogènes du point de vue la répartition des

végétaux terrestres. Ces cartes reflètent, via la végétation naturelle différents facteurs géographiques, mésologiques (climat, sol) et biologiques.

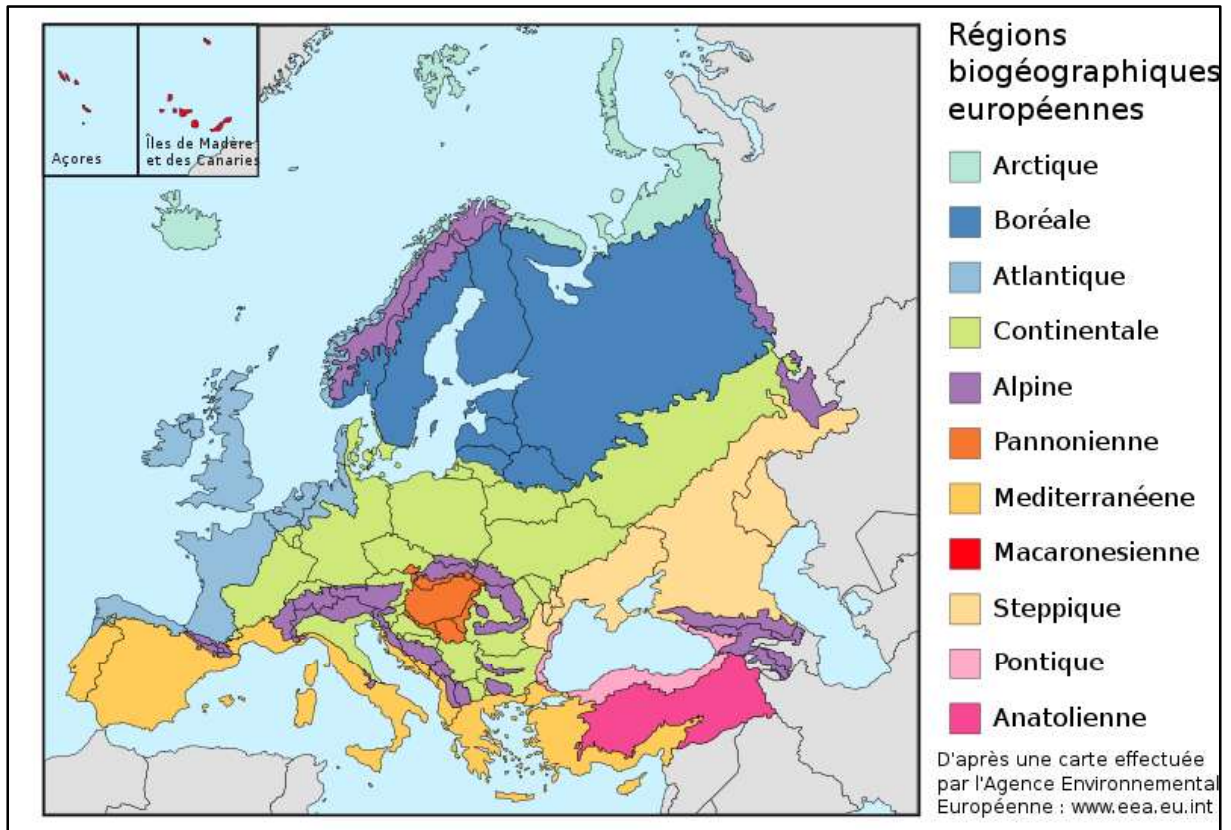


Figure N° 38 : Carte phytogéographique d'Europe.

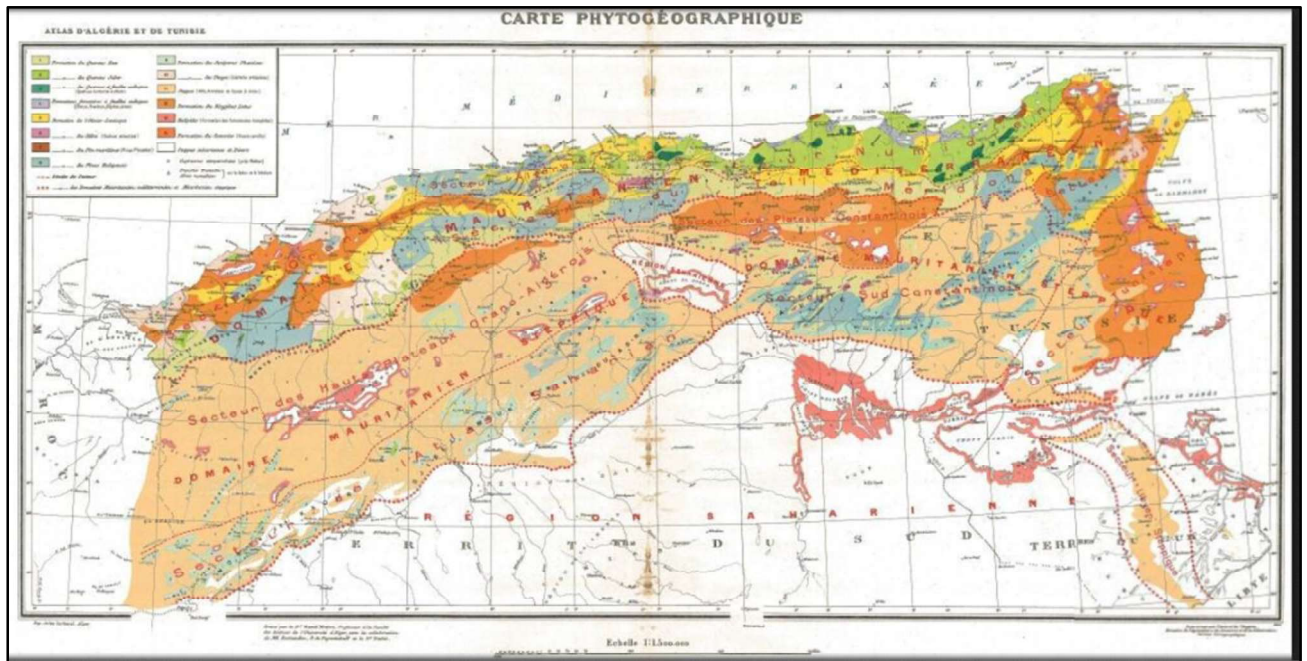


Figure N° 39 : Carte phytogéographique Nord d'Algérie.

Une carte phytogéographique est une représentation cartographique des différentes régions ou zones de végétation sur la Terre. Elle illustre la distribution géographique des divers types de végétation, en mettant en évidence les caractéristiques botaniques spécifiques de chaque zone. Ces cartes peuvent être basées sur divers critères tels que le type de sol, le climat, l'altitude et d'autres facteurs environnementaux. Une carte phytogéographique permet de visualiser les variations de la couverture végétale à l'échelle mondiale, régionale ou locale. Elle est un outil essentiel pour comprendre la diversité des écosystèmes et des communautés végétales à travers le globe. Ces cartes sont souvent utilisées dans le domaine de la recherche en biogéographie, en écologie et en sciences de l'environnement pour étudier les modèles de distribution des plantes et les facteurs qui les influent.

4. Les cartes de végétation à différentes échelles

Les cartes de végétation, disponibles à différentes échelles, sont des outils essentiels pour comprendre la répartition des plantes. Elles représentent graphiquement la végétation d'une région, indiquant l'emplacement des espèces avec des couleurs spécifiques. Ces cartes, numérisées aujourd'hui, résultent de divers systèmes de cartographie développés au fil du temps. Elles permettent d'étudier la végétation moléculaire, génétique, et biochimique à différentes échelles, de l'individu à la population ou à la communauté végétale. Les informations qu'elles fournissent sont cruciales pour modéliser la végétation actuelle, anticiper les changements futurs, et contribuer à la résolution de problèmes complexes, notamment en matière de gestion environnementale. Les cartes de végétation existent à différentes échelles, de mondiale à locale. Elles montrent la répartition des types de végétation, offrant des perspectives globales ou détaillées selon le besoin, pour des applications telles que la conservation, la gestion des ressources et l'étude de la biodiversité.

4.1. Carte de végétation

La carte de végétation est une représentation cartographique qui indique la distribution spatiale des types de végétation dans une région donnée. Cette carte utilise des symboles, des couleurs ou d'autres représentations graphiques pour illustrer les zones où différents types de plantes prédominent.

Les cartes de végétation sont élaborées à différentes échelles pour fournir des informations variées et adaptées à différents besoins. Voici une explication succincte des échelles couramment utilisées :

- **Échelle mondiale** : À cette échelle, les cartes de végétation montrent la répartition générale des grands types de végétation à l'échelle planétaire. Elles mettent en évidence des zones telles que les forêts tropicales, les déserts, les prairies, et les toundras.
- **Échelle continentale** : Ces cartes se concentrent sur la distribution des types de végétation à l'intérieur de chaque continent. Elles révèlent des variations régionales importantes en prenant en compte la diversité climatique, topographique et géologique.
- **Échelle nationale** : À cette échelle, les cartes se focalisent sur la végétation à l'intérieur des frontières nationales, fournissant une vue détaillée des types de végétation spécifiques à chaque pays. Elles sont utiles pour la planification de la conservation et la gestion des ressources naturelles.
- **Échelle régionale** : Ces cartes mettent en évidence les variations à l'intérieur d'une région plus restreinte, en tenant compte des différences locales telles que l'altitude, la proximité des plans d'eau, ou la présence d'espèces endémiques.

- **Échelle locale** : À cette échelle, les cartes de végétation se concentrent sur des zones géographiques plus petites, comme une réserve naturelle, une vallée, ou une forêt spécifique. Elles sont utilisées pour des études détaillées de la biodiversité locale et de l'impact des activités humaines sur la végétation.

Les cartes de végétation à différentes échelles offrent des perspectives variées pour étudier la distribution des plantes à travers les régions, des échelles globales aux échelles locales.

4.2. Les différentes échelles de la cartographie de végétation

Il existe en réalité trois approches pour la cartographie de la végétation, ces trois approches peuvent être développées à différentes échelles de territoire.

4.2.1. Les cartes de végétation potentielle

(la végétation herbacée, buissonnante et arborée supposée être présente en l'absence d'activité humaine). C'est Reinhold Tuexen (1899 - 1980), cofondateur et directeur de l'Institut fédéral allemand de cartographie de la végétation qui a fondé ce concept en Europe, suivi du **Pr Jean-Marie Géhu** en France (*Fondateur du Centre régional de phytosociologie de Bailleul, devenu Conservatoire botanique national*).

4.2.2. Les cartes de végétation existantes

Elles sont faites à partir de l'analyse d'images satellitaires, aériennes et de relevés de terrain, avec par exemple un classement sur la base d'une analyse phytosociologique. Certaines cartes s'attachent à intégrer un niveau de qualité (arbres malades, défoliés, type de structure ou d'aménagement pour les forêts).

4.2.3. Les cartes de paléovégétation

Elles cherchent à reconstituer les végétations antérieures des siècles à milliers d'années en arrière, pour étudier par exemple l'impact des changements climatiques, via les fossiles et pollens conservés dans les tourbes.

4.3. Utilité de la carte de végétation

Les cartes de végétation sont des outils précieux dans plusieurs domaines en raison de leur capacité à représenter visuellement la distribution spatiale des types de végétation. Voici quelques-unes des utilisations et utilités de ces cartes :

- **Conservation de la biodiversité** : Les cartes de végétation sont essentielles pour identifier les zones riches en biodiversité et sont utilisées dans la planification de la conservation pour protéger les habitats naturels et les espèces végétales menacées.
- **Gestion des ressources naturelles** : Ces cartes aident à évaluer les ressources naturelles disponibles, comme les forêts, les prairies et les zones humides, facilitant ainsi la gestion durable des écosystèmes et des activités humaines qui en dépendent.
- **Agriculture** : Les agriculteurs utilisent des cartes de végétation pour planifier les cultures, en prenant en compte les types de sol et les conditions climatiques spécifiques à chaque zone.
- **Études écologiques** : Les chercheurs utilisent ces cartes pour étudier les interactions entre les différentes espèces végétales, les cycles de vie des plantes, et les changements écologiques au fil du temps.

- **Planification urbaine** : Les autorités urbaines peuvent utiliser des cartes de végétation pour intégrer des espaces verts dans la planification urbaine, favorisant ainsi la durabilité et le bien-être des habitants.
- **Prévention des incendies de forêt** : Les cartes de végétation peuvent être utilisées pour évaluer le risque d'incendies de forêt en identifiant les zones à haut risque en fonction du type de végétation et des conditions climatiques.
- **Études climatiques** : En examinant la distribution des types de végétation, les scientifiques peuvent mieux comprendre les modèles climatiques locaux et régionaux.
- **Éducation et sensibilisation** : Ces cartes sont également utilisées à des fins éducatives, aidant le grand public à comprendre la diversité végétale et les enjeux liés à la conservation de l'environnement.

Les cartes de végétation sont des outils polyvalents qui contribuent à la prise de décision dans divers domaines, de la gestion de l'environnement à l'agriculture en passant par la conservation de la biodiversité. Elles fournissent des informations cruciales pour une utilisation durable des ressources naturelles et la protection des écosystèmes.

Selon P.Ozenda, *«la cartographie de la végétation a été à l'origine et reste le centre de la cartographie écologique»*.

Le livre de P. Ozenda pourra être utilisé comme ouvrage de référence important dans un cours de cartographie de l'environnement ou un cours de biogéographie. Il sera utile aux biogéographes, aux biologistes, aux aménagistes, aux cartographes, et à tous les spécialistes de l'aménagement du territoire. En effet, l'auteur accorde une grande importance à la démonstration du potentiel d'utilisation des cartes écologiques en aménagement.

5. Conclusion

En conclusion, la cartographie écologique, la carte écologique, et les cartes de végétation occupent une place cruciale dans le domaine de la cartographie de l'environnement. Ces outils offrent une représentation visuelle précieuse de la diversité écologique, des habitats naturels, et des ressources végétales. Leur importance réside dans leur capacité à informer la prise de décision dans divers secteurs tels que la conservation de la biodiversité, la gestion des ressources naturelles, l'agriculture durable, la prévention des incendies de forêt, et la planification urbaine. Ces cartes fournissent des données essentielles pour comprendre les interactions complexes entre les éléments de l'écosystème, contribuant ainsi à des pratiques environnementales plus éclairées et à la préservation à long terme de notre planète. En résumé, la cartographie écologique et les cartes de végétation jouent un rôle central dans la gestion et la préservation de l'environnement, facilitant une approche holistique pour répondre aux défis écologiques contemporains.

CHAPITRE VII : LA CARTOGRAPHIE DE L'ENVIRONNEMENT

1. Introduction

Le terme "environnement" englobe tous les éléments naturels et artificiels qui entourent la vie humaine. Avec les préoccupations écologiques actuelles, il acquiert une dimension mondiale, traitant des éléments physiques, chimiques, biotiques, et socio-économiques qui façonnent les conditions de vie à différentes échelles. La protection de l'environnement, des espèces et du patrimoine culturel est une responsabilité commune, réglementée au niveau national et international. Bien que liées, les notions d'écologie et d'environnement sont distinctes, nécessitant une attention particulière à la sémantique pour comprendre les enjeux spécifiques associés. La cartographie de l'environnement et les cartes environnementales abordent divers aspects, problèmes et défis liés à notre milieu naturel.

La cartographie de l'environnement, une discipline essentielle dans le domaine des sciences de l'environnement, offre une vision détaillée et structurée de la répartition des éléments naturels sur notre planète. Cette discipline va au-delà de la simple représentation graphique des paysages, englobant une variété de données écologiques, climatiques, géologiques et biologiques pour nous aider à comprendre et à analyser les complexités de notre environnement. À travers des cartes spécialisées, elle permet non seulement de visualiser la diversité des écosystèmes, mais aussi de soutenir la prise de décision dans des domaines cruciaux tels que la conservation de la biodiversité, la gestion des ressources naturelles et la planification environnementale. Cette introduction marque le point de départ pour explorer la cartographie de l'environnement, une discipline au cœur de la compréhension et de la préservation de notre monde naturel.

2. Notions fondamentales

2.1.Définition de l'environnement

L'environnement désigne l'ensemble des éléments, naturels et artificiels, qui entourent un individu, une population, ou une communauté. Il englobe les conditions physiques, chimiques, biotiques et socio-économiques dans lesquelles se déroule la vie humaine. Dans un contexte contemporain, le terme "environnement" tend à prendre une dimension globale, intégrant les enjeux écologiques à l'échelle mondiale.

2.2.Définition de l'écologie

L'écologie est la science qui étudie les interactions entre les organismes vivants et leur environnement. Elle examine les relations complexes entre les êtres vivants, les facteurs abiotiques tels que le climat et le sol, ainsi que les influences humaines. L'écologie s'intéresse aux flux d'énergie, aux cycles biogéochimiques et à la diversité des écosystèmes, contribuant ainsi à la compréhension des dynamiques écologiques.

2.3.Environnement et écologie

Bien que les termes "environnement" et "écologie" soient souvent associés en raison de leurs enjeux communs, ils représentent des concepts distincts. L'environnement englobe l'ensemble des conditions de vie, tandis que l'écologie se concentre sur l'étude des relations entre les êtres vivants et leur milieu naturel. Cette distinction souligne l'importance de

comprendre chaque notion de manière précise pour aborder les questions environnementales et écologiques de manière éclairée.

2.4.Problème de l'environnement

Les problèmes environnementaux sont des préoccupations majeures qui affectent la santé de la planète et de ses habitants. Voici quelques-uns des problèmes de l'environnement les plus urgents et répandus :

- **Changement climatique** : L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, principalement due à l'activité humaine, contribue au réchauffement climatique, entraînant des changements dans les modèles météorologiques mondiaux.
- **Déforestation** : La déforestation massive pour l'agriculture, l'exploitation forestière et d'autres activités humaines diminue la couverture forestière, menaçant la biodiversité et contribuant au changement climatique.
- **Perte de biodiversité** : La destruction des habitats naturels, la pollution et les changements climatiques entraînent une perte rapide de la biodiversité, mettant en danger de nombreuses espèces animales et végétales.
- **Pollution de l'air** : Les émissions industrielles, les échappements de véhicules et d'autres activités humaines entraînent la pollution atmosphérique, nuisant à la qualité de l'air et à la santé humaine.
- **Pollution de l'eau** : Les déchets industriels, les produits chimiques agricoles et les déchets plastiques contaminent les ressources en eau, menaçant la vie aquatique et la santé humaine.
- **Gestion inadéquate des déchets** : L'accumulation croissante de déchets plastiques et autres déchets non biodégradables contribue à la pollution et affecte les écosystèmes terrestres et marins.
- **Surpêche** : La surpêche intensive épuise les populations de poissons, perturbant les écosystèmes marins et menaçant la sécurité alimentaire pour de nombreuses communautés.
- **Utilisation excessive des ressources naturelles** : L'extraction non durable des ressources naturelles, telle que l'eau, les minéraux et les combustibles fossiles, aggrave l'épuisement des ressources.
- **Urbanisation non durable** : L'expansion rapide des zones urbaines sans une planification adéquate peut entraîner la perte d'habitats naturels, la fragmentation des écosystèmes et la détérioration de la qualité de l'air et de l'eau.
- **Gestion inadéquate des produits chimiques** : L'utilisation non réglementée de pesticides, d'engrais et d'autres produits chimiques agricoles peut avoir des effets néfastes sur les sols, l'eau et la santé humaine.

Les problèmes de l'environnement sont liés aux :

- **Sols**
- **Eaux, Eau ressource, Qualité de l'eau**
- **L'Air**
- **La Biodiversité**
- **Les Ressources naturelles**
- **Les Catastrophes écologiques**
- **Les Effets sur la santé humaine**

- **Les Relations de l'humain avec l'environnement**

La résolution de ces problèmes exige une action collective à l'échelle mondiale, des politiques environnementales solides et des changements significatifs dans les modes de vie et les pratiques industrielles.

2.5. Liste des principaux problèmes de l'environnement

- **Changement climatique**
- **Pollution atmosphérique**
- **Pluies acides**
- **La déforestation**
- **La dégradation des sols**
- **Pollution des sols**
- **Problème des déchets**
- **Absence de recyclage**
- **Utilisation de plastique jetable**
- **Augmentation de l'empreinte écologique**
- **Absence la production écologique**
- **L'obsolescence programmée**
- **Altération de la biodiversité**
- **Trafic illégal des espèces**
- **Chasse illégale et braconnage**
- **Pénurie de l'eau**
- **Sécheresse**
- **Perte des habitats**
- **Les incendies de forêt**
- **Urbanisation**
- **Les épidémies et les maladies émergentes**

2.6. Enjeux de l'environnement

Face aux impacts environnementaux de l'activité humaine, une action urgente est nécessaire pour changer de paradigme après les révolutions industrielles des 19^e et 20^e siècles. Il est impératif de construire une société respectueuse de l'environnement, favorisant une gestion durable des ressources. La lutte contre le changement climatique et la préservation de l'environnement exigent une prise de conscience générale, soutenue par l'éducation. Des actions individuelles telles que la réduction des déchets et le recyclage sont cruciales, mais une mobilisation collective à tous les niveaux est essentielle. Les acteurs mondiaux doivent innover et investir dans des solutions respectueuses de l'environnement pour répondre aux enjeux écologiques par le biais d'une politique environnementale urgente et réfléchie.

2.7. Techniques de protection de l'environnement

Les techniques de protection de l'environnement visent à minimiser les impacts négatifs des activités humaines sur la planète. Voici quelques-unes de ces techniques :

- **Énergies renouvelables** : L'utilisation de sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique et géothermique réduit la dépendance aux combustibles fossiles et diminue les émissions de gaz à effet de serre.
- **Conservation de l'énergie** : L'efficacité énergétique dans les bâtiments, les transports et l'industrie permet de réduire la consommation d'énergie, diminuant ainsi l'empreinte écologique.
- **Agriculture durable** : Des pratiques agricoles durables, telles que l'agroécologie et la permaculture, favorisent la gestion responsable des terres, la préservation de la biodiversité et la réduction des produits chimiques agricoles.
- **Gestion durable des ressources** : Une exploitation judicieuse des ressources naturelles, y compris l'eau, les forêts et les sols, contribue à éviter l'épuisement des écosystèmes et à maintenir l'équilibre écologique.
- **Traitement des déchets** : La gestion adéquate des déchets, notamment le recyclage, la réutilisation et la réduction des déchets, limite la pollution et préserve les ressources.
- **Transport durable** : L'utilisation de transports publics, de véhicules électriques et le développement de modes de transport respectueux de l'environnement contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre liées aux déplacements.
- **Protection des écosystèmes** : La création de réserves naturelles, la restauration des écosystèmes dégradés et la préservation des habitats naturels sont des mesures cruciales pour protéger la biodiversité.
- **Technologies propres** : L'adoption de technologies propres dans l'industrie, telles que les procédés de production plus propres et les technologies respectueuses de l'environnement, contribue à réduire les émissions et les déchets.
- **Éducation et sensibilisation** : La sensibilisation du public à travers l'éducation environnementale favorise une conscience collective, encourage des comportements durables et promeut la participation citoyenne.
- **Législation environnementale** : L'élaboration et l'application de lois environnementales strictes incitent les entreprises et les individus à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Ces techniques, combinées et appliquées à l'échelle mondiale, contribuent à atténuer les pressions exercées sur l'environnement et à promouvoir un développement durable.

2.8. Apport de la cartographie

La cartographie joue un rôle crucial dans la gestion et la protection de l'environnement. Voici quelques relations entre les techniques de protection de l'environnement et la cartographie :

- **Cartographie des énergies renouvelables** : Les cartes peuvent être utilisées pour identifier les zones propices à l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, etc. Cela aide à planifier l'installation d'infrastructures énergétiques durables.
- **Cartographie de l'efficacité énergétique** : La cartographie des consommations d'énergie dans les bâtiments, les industries et les transports permet d'identifier les points à améliorer en matière d'efficacité énergétique.
- **Cartographie de l'agriculture durable** : Les cartes agricoles peuvent être utilisées pour planifier des pratiques agricoles durables, identifier les zones vulnérables et promouvoir une gestion écologique des terres.
- **Cartographie de la gestion des ressources** : La cartographie des ressources naturelles, y compris l'eau, les sols et les forêts, est essentielle pour une gestion durable de ces ressources et la prévention de la dégradation environnementale.

- **Cartographie du traitement des déchets** : La cartographie des installations de traitement des déchets, des centres de recyclage et des sites d'enfouissement aide à gérer efficacement les déchets et à minimiser leur impact sur l'environnement.
- **Cartographie des transports durables** : Les cartes des infrastructures de transport, combinées à des données sur les émissions, peuvent orienter les efforts vers des modes de transport durables et des itinéraires plus écologiques.
- **Cartographie de la protection des écosystèmes** : Les cartes des réserves naturelles, des zones protégées et des habitats critiques sont essentielles pour la conservation de la biodiversité et la préservation des écosystèmes.
- **Cartographie des technologies propres** : Les cartes peuvent montrer la répartition des technologies propres et des entreprises engagées dans des pratiques respectueuses de l'environnement, encourageant ainsi l'adoption généralisée.
- **Cartographie de l'éducation environnementale** : La cartographie peut être utilisée pour visualiser les programmes d'éducation environnementale, identifier les lacunes géographiques et adapter les initiatives éducatives en conséquence.
- **Cartographie de la législation environnementale** : Les cartes peuvent représenter les zones couvertes par différentes lois environnementales, facilitant la surveillance et l'application de la législation.

En intégrant la cartographie aux initiatives de protection de l'environnement, il devient plus facile de planifier, surveiller et évaluer les actions entreprises pour assurer la durabilité et la préservation de notre planète.

2.9.Observation (monitoring) de l'environnement

La surveillance de l'environnement consiste à utiliser des techniques et des outils d'observation (tels que des capteurs, des moyens de communication sans fil et des systèmes d'alarme). Logiciel de gestion à distance télédétection) pour détecter, observer et mesurer les conditions environnementales sur un site ou un emplacement spécifique. Toutefois, la réalité de ces processus - les outils utilisés, les paramètres sélectionnés et la manière dont les processus sont mis en œuvre - peut varier considérablement en fonction du cas d'utilisation. Des agences ou observatoires de l'environnement se sont constitués dans de nombreux pays. Ils relèvent, mesurent, et suivent des indicateurs environnementaux et produisent des statistiques, éventuellement agrégées au niveau local, régional, national, européen (ex : Eurobaromètre) et planétaire (sous l'égide de l'ONU et du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Ce sont des outils d'aide à la décision. La cartographie est considérée comme l'un des meilleurs outils de surveillance et de monitoring de l'environnement, car une carte peut être à la base d'une décision.

3. Cartographie de l'environnement

En réalité il n'y a pas une définition précise pour la cartographie de l'environnement, c'est un concept général. La cartographie de l'environnement vise à répondre aux besoins d'illustration d'une vision pour les enjeux de l'environnement, en l'exposant de manière concise sous forme de cartographies. La cartographie de l'environnement c'est la réalisation et

la conception des cartes thématiques relatives à l'environnement et aux problèmes, et enjeux liés à l'environnement et la protection de ce dernier.

3.1.Définition

La cartographie de l'environnement est considérée comme une discipline qui se consacre à la représentation graphique et à l'analyse spatiale des divers éléments de l'environnement naturel, ainsi que des interactions entre ces éléments. Elle utilise des techniques cartographiques pour visualiser des données environnementales telles que la topographie, la végétation, les ressources en eau, la qualité de l'air, les habitats naturels, la biodiversité, les zones protégées, et d'autres aspects liés à l'environnement. L'objectif principal de la cartographie de l'environnement est de fournir des outils visuels et analytiques permettant une compréhension approfondie des caractéristiques écologiques, facilitant ainsi la prise de décision en matière de gestion et de préservation environnementale.

3.2.Modélisation et cartographies de l'environnement

La modélisation et les cartographies de l'environnement sont des approches complémentaires visant à comprendre, représenter et analyser les aspects complexes de notre environnement naturel.

3.2.1. Modélisation de l'environnement

La modélisation environnementale implique la création de représentations mathématiques ou informatiques de processus environnementaux. Ces modèles peuvent simuler des phénomènes tels que les changements climatiques, la dispersion des polluants, la croissance des populations d'espèces, ou d'autres dynamiques environnementales. Les modèles aident à prédire les tendances, évaluer les scénarios futurs, et comprendre les interactions complexes au sein des écosystèmes. Ils sont essentiels pour la prise de décision en matière de gestion environnementale.

3.2.2. Cartographie de l'environnement

La cartographie de l'environnement utilise des techniques graphiques pour représenter spatialement des données environnementales. Cela peut inclure des cartes traditionnelles illustrant la topographie, la végétation, ou les zones protégées, ainsi que des cartes thématiques qui visualisent des éléments spécifiques tels que la qualité de l'air, la biodiversité, ou les ressources en eau. Les cartes environnementales facilitent la communication visuelle des informations complexes et sont des outils précieux pour la planification, la gestion des ressources et la conservation.

3.2.3. Relation entre la modélisation et la cartographie

La modélisation fournit des données dynamiques et des scénarios futurs, tandis que la cartographie offre une représentation visuelle statique et immédiate. Cependant, ces deux approches sont souvent intégrées. Les résultats de la modélisation peuvent être cartographiés pour fournir des visualisations accessibles des phénomènes modélisés. Par exemple, les modèles climatiques peuvent générer des cartes montrant les variations régionales des

températures ou des précipitations. La cartographie peut également fournir des données de base utilisées comme entrées dans les modèles, contribuant ainsi à améliorer la précision des simulations.

En somme, la modélisation et la cartographie de l'environnement sont des outils essentiels pour comprendre et gérer notre monde naturel. Leur intégration permet une approche holistique de la compréhension et de la préservation de l'environnement.

4. La cartographie épidémiologique

L'épidémiologie est une discipline scientifique qui étudie les problèmes de santé dans les populations humaines, leur fréquence, leur distribution dans le temps et dans l'espace, ainsi que les facteurs exerçant une influence sur la santé et les maladies de populations. L'étude de la répartition et des déterminants des événements de santé sert de fondement à la logique des interventions faites en matière de santé publique et de médecine préventive.

La reconnaissance de l'épidémiologie comme champ d'étude est relativement récente, puisque la première étude significative remonte à 1854. Cependant, l'épidémiologie est l'un des piliers de la santé publique et de la médecine à travers l'histoire. Les approches des épidémiologistes sont variées : elles vont de l'étude de terrain (au cœur de la communauté, souvent dans un service de santé publique) au front de la recherche et de la lutte contre l'émergence des maladies en passant par la modélisation et la veille sanitaire.

Les études épidémiologiques sont en général réparties en trois catégories, ou comportent trois parties :

- **Descriptive** : recueil des informations sur le nombre de cas et les caractéristiques d'une maladie ;
- **Analytique** : recherche les déterminants de cette maladie (vise habituellement à proposer et/ou vérifier des hypothèses de liens de cause à effet susceptibles de déboucher sur des propositions de solution) ;
- **Évaluative** : mesure l'impact d'une politique de santé publique destinée à contrôler cette maladie.

La cartographie épidémiologique est une discipline qui utilise des techniques de cartographie pour représenter, analyser et interpréter la distribution spatiale des maladies et des troubles de santé dans une population donnée. Cette approche permet de visualiser les modèles de propagation des maladies, d'identifier les clusters de cas, d'explorer les facteurs de risque géographiques, et de soutenir la prise de décision en matière de santé publique. Voici quelques aspects importants de la cartographie épidémiologique :

- **Représentation spatiale** : La cartographie épidémiologique utilise des cartes pour représenter géographiquement l'incidence des maladies. Ces cartes peuvent montrer la répartition des cas, les zones à risque élevé, et les variations dans le temps.
- **Identification des clusters** : En examinant les données géographiques des cas de maladies, la cartographie épidémiologique permet d'identifier des clusters ou des regroupements de cas qui pourraient indiquer des sources communes d'infection ou des facteurs environnementaux particuliers.
- **Analyse des facteurs de risque** : Les cartes épidémiologiques peuvent être superposées avec d'autres données, telles que la démographie, l'utilisation des sols, ou les conditions

environnementales, pour explorer les facteurs de risque géographiques associés à la propagation des maladies.

- **Surveillance et suivi** : En mettant à jour régulièrement les cartes épidémiologiques, les autorités sanitaires peuvent suivre la progression d'une maladie, évaluer l'efficacité des interventions, et ajuster les stratégies de santé publique en conséquence.
- **Prise de décision** : Les cartes épidémiologiques fournissent des outils visuels puissants pour la communication des risques aux professionnels de la santé, aux décideurs politiques et au grand public, facilitant ainsi la prise de décision informée.
- **Planification des ressources** : En identifiant les zones à risque, la cartographie épidémiologique aide à allouer efficacement les ressources de santé, en renforçant la préparation et la réactivité face aux épidémies.
- **Recherche scientifique** : La cartographie épidémiologique soutient la recherche en identifiant des schémas spatio-temporels complexes, en explorant des corrélations potentielles, et en générant des hypothèses pour des études plus approfondies.

Cette discipline est devenue particulièrement cruciale dans le contexte de la surveillance des maladies infectieuses, des épidémies, et des pandémies, offrant des outils essentiels pour comprendre et atténuer l'impact de diverses conditions de santé sur les populations.

4.1.L'écoépidémiologie

L'écoépidémiologie est une branche de l'épidémiologie qui examine comment les facteurs écologiques influent sur la distribution des maladies. Elle intègre des concepts d'écologie pour comprendre les cycles des maladies, analyser les interactions entre les humains, les animaux et l'environnement, et informer les stratégies de prévention et de gestion des épidémies. Cette approche s'inscrit dans l'idée One Health, reconnaissant l'interconnexion entre la santé humaine, animale et environnementale. L'écoépidémiologie joue un rôle crucial dans la compréhension des maladies émergentes et la promotion de la santé globale.

Quelques aspects clés de l'écoépidémiologie incluent :

- **Approche écosystémique** : L'écoépidémiologie considère les humains comme faisant partie intégrante des écosystèmes, examinant les relations complexes entre les facteurs écologiques, les agents pathogènes, les vecteurs et les hôtes humains.
- **Étude des cycles de maladies** : Elle se penche sur les cycles de maladies dans les écosystèmes, en examinant comment les agents pathogènes circulent entre les différentes espèces animales, végétales et humaines.
- **Analyse des zoonoses** : L'écoépidémiologie se concentre sur les maladies zoonotiques, qui peuvent être transmises entre les animaux et les humains, en explorant les interactions entre la faune sauvage, le bétail, les animaux domestiques et les populations humaines.
- **Considération des facteurs environnementaux** : Elle intègre des données environnementales telles que la géographie, le climat, l'utilisation des sols et la biodiversité pour comprendre les variations spatiales des maladies.
- **Modélisation des écosystèmes** : L'écoépidémiologie utilise des modèles écologiques pour simuler la propagation des maladies dans les écosystèmes et évaluer l'impact des changements environnementaux sur la santé humaine.
- **Prévention et gestion** : En comprenant les mécanismes écologiques sous-jacents aux maladies, l'écoépidémiologie informe les stratégies de prévention, de surveillance et de gestion des épidémies.

- **One Health** : L'écoépidémiologie s'inscrit dans l'approche One Health, qui reconnaît l'interconnexion entre la santé humaine, animale et environnementale, et promeut une collaboration interdisciplinaire.

4.2.L'initiative One Health

C'est une approche collaborative qui reconnaît que la santé humaine, animale et environnementale sont interdépendantes. Elle encourage la coopération entre différents secteurs, notamment la médecine humaine, la médecine vétérinaire, les sciences de l'environnement et d'autres disciplines. L'objectif est de comprendre et de résoudre les problèmes de santé complexes à l'interface entre les humains, les animaux et leur environnement. Cette approche intégrée vise à prévenir les maladies émergentes, à améliorer la santé mondiale et à promouvoir la durabilité environnementale. L'initiative One Health reflète la compréhension que la santé de chaque composante est essentielle pour assurer la santé globale de la planète.

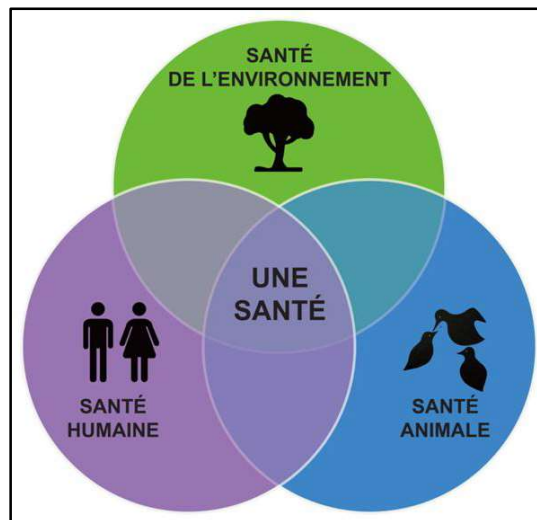


Figure N° 40 : Représentation graphique de One Health.

4.3.Relations

La relation entre l'initiative One Health, la cartographie de l'environnement et l'épidémiologie est étroite, soulignant l'importance de l'approche intégrée dans la compréhension et la gestion des problèmes de santé à l'interface entre les humains, les animaux et l'environnement.

4.3.1.One Health et Cartographie de l'environnement

- **Identification des Facteurs de Risque** : La cartographie de l'environnement est cruciale dans l'initiative One Health pour visualiser spatialement les facteurs environnementaux susceptibles d'influencer la santé humaine et animale. Cela inclut la représentation des habitats naturels, des zones à risque élevé, des sources d'eau, etc.
- **Surveillance Environnementale** : Les cartes environnementales sont utilisées pour suivre les changements dans l'écosystème et identifier les zones où des maladies zoonotiques pourraient émerger. Cela permet une meilleure surveillance et préparation aux risques sanitaires.

4.3.2. One Health et Épidémiologie

- **Cartographie Épidémiologique** : L'épidémiologie, intégrée à l'initiative One Health, utilise la cartographie pour représenter la distribution spatiale des maladies, identifiant les clusters de cas, analysant les tendances temporelles et spatiales, et informant les stratégies de prévention.
- **Modélisation des Maladies** : Les modèles épidémiologiques intégrés à One Health utilisent des données spatiales pour simuler la propagation des maladies dans les écosystèmes, tenant compte des interactions complexes entre les humains, les animaux et l'environnement.
- **Planification des Ressources** : La cartographie épidémiologique contribue à la planification des ressources de santé en identifiant les zones à risque, facilitant l'allocation efficace de ressources pour prévenir, surveiller et contrôler les maladies.

4.4. Intégration Globale

- **Approche Holistique** : L'initiative One Health adopte une approche holistique en intégrant les données cartographiques de l'environnement avec les informations épidémiologiques. Cela permet une compréhension globale des interconnexions entre la santé humaine, animale et environnementale.
- **Communication et Sensibilisation** : La cartographie aide à communiquer les résultats de l'épidémiologie et de la surveillance environnementale de manière accessible, favorisant la sensibilisation et la compréhension du public, des décideurs et des professionnels de la santé.

L'approche One Health, en intégrant la cartographie de l'environnement et l'épidémiologie, renforce notre capacité à comprendre, prévenir et gérer les défis de santé complexes qui émergent à l'intersection des domaines humain, animal et environnemental. **(Exemple d'épidémie : La grippe aviaire (H5N1)).**

4.5. Exemple d'épidémie

4.5.1. La grippe aviaire

La grippe aviaire, également connue sous le nom de grippe aviaire H5N1, est une maladie virale qui affecte principalement les oiseaux sauvages et domestiques, mais qui peut également être transmise à l'homme. Voici un résumé des aspects clés de la grippe aviaire H5N1 :

4.5.2. Virus H5N1

- **Origine** : Le virus de la grippe aviaire H5N1 est un sous-type du virus de la grippe A qui se propage principalement chez les oiseaux aquatiques sauvages, mais peut infecter différentes espèces d'oiseaux.
- **Transmission aux Oiseaux Domestiques** : La grippe aviaire peut être transmise aux oiseaux domestiques tels que les poulets et les canards, entraînant souvent une maladie sévère et des taux de mortalité élevés au sein de ces populations.
- **Transmission à l'Homme** : Bien que rare, le H5N1 peut être transmis à l'homme. Les cas humains sont généralement associés à une exposition directe ou étroite aux oiseaux infectés ou à leurs excréments.

- Sévérité chez l'Homme : L'infection humaine par le H5N1 peut entraîner des symptômes graves, y compris une pneumonie grave, et peut avoir un taux de mortalité élevé. Cependant, la transmission d'homme à homme reste rare.

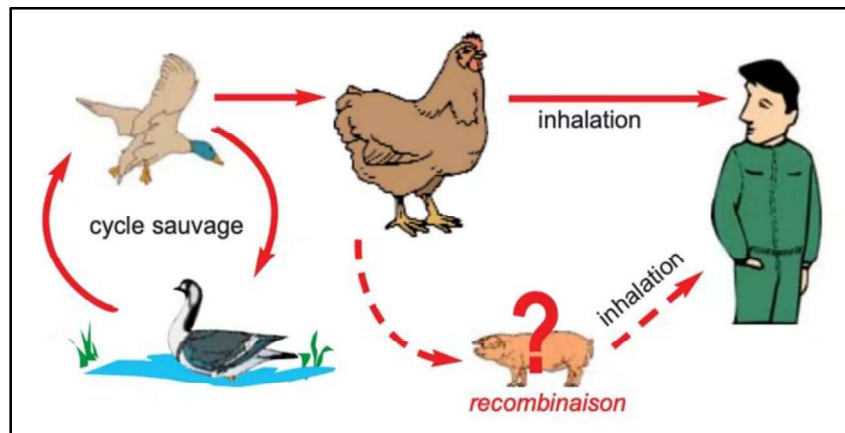


Figure N°41 : Cycle de transmission de la grippe aviaire.

4.5.3. Préoccupations et Impacts

- Pandémie Potentielle : En raison de sa sévérité et du potentiel de mutation, le H5N1 suscite des inquiétudes quant à la possibilité d'une pandémie grippale si le virus acquiert la capacité de se propager facilement entre humains.
- Contrôle chez les Oiseaux : Le contrôle de la grippe aviaire chez les oiseaux domestiques implique souvent l'abattage massif des animaux infectés pour prévenir la propagation du virus.
- Surveillance et Prévention : La surveillance étroite des épidémies chez les oiseaux et les efforts pour prévenir la transmission à l'homme sont essentiels pour atténuer les risques de pandémie.
- Vaccination : Des programmes de vaccination ciblés peuvent être mis en œuvre pour réduire la prévalence du virus chez les oiseaux et minimiser les risques de transmission à l'homme.

La grippe aviaire H5N1 est une maladie virale qui affecte principalement les oiseaux, mais qui peut avoir des implications graves pour la santé humaine en raison de son potentiel pandémique. Les efforts de surveillance, de prévention et de contrôle sont cruciaux pour atténuer les risques associés à cette maladie.

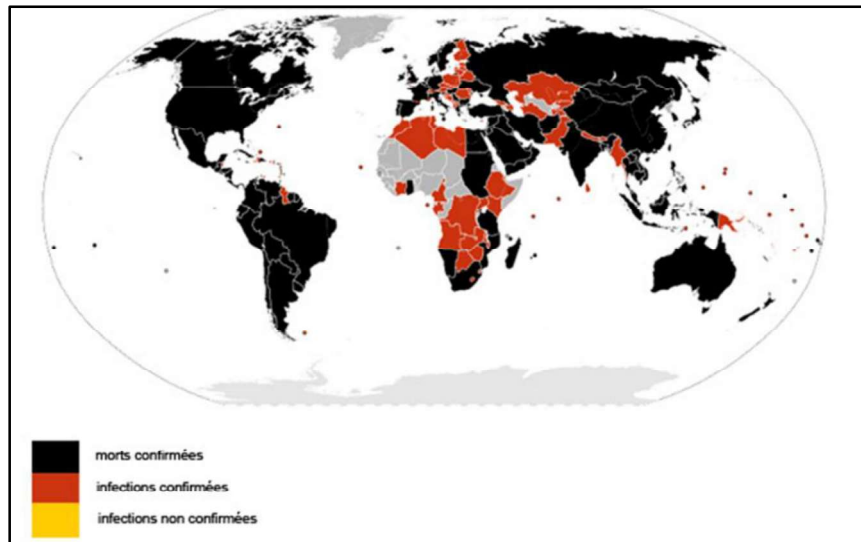


Figure N° 42 : Carte de distribution de la grippe aviaire dans le monde 2002.

4.6.Organisations mondiales

Les organisations internationales (ONG) jouent des rôles importants dans la surveillance, la prévention et la gestion des problèmes de santé, de l'environnement, liés à la grippe aviaire et d'autres maladies infectieuses, en adoptant une approche One Health.

- **L'Organisation mondiale de la santé (OMS)**
- **L'Organisation mondiale de la santé animale (OIE)**
- **L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) sous l'égide de l'Organisation des Nations unies (ONU).**

4.7.Une pandémie

Une pandémie est une épidémie mondiale qui se propage rapidement, affectant de vastes régions géographiques. Caractérisée par la transmission efficace d'un agent pathogène, elle a des conséquences graves sur la santé publique, l'économie et la société. Les pandémies peuvent entraîner des perturbations majeures, nécessitant une surveillance mondiale, des réponses rapides, des vaccins et une préparation rigoureuse pour minimiser les impacts. Exemples historiques incluent la grippe espagnole (1918) et la pandémie de grippe A (H1N1) de 2009. La préparation à de telles crises est cruciale pour atténuer les effets dévastateurs sur la population mondiale.

4.7.1.Exemple de pandémie

4.7.1.1.La pandémie de Covid-19

La pandémie de Covid-19, déclenchée par le coronavirus SARS-CoV-2, est un exemple contemporain majeur d'une pandémie mondiale.

4.7.1.2.Origine et Propagation

- **Origine :** Le virus SARS-CoV-2 est apparu pour la première fois à Wuhan, en Chine, en décembre 2019.

- **Transmission** : Il se propage principalement par des gouttelettes respiratoires et a une transmission interhumaine.

4.7.1.3. Caractéristiques Cliniques

- **Symptômes** : Les symptômes courants comprennent fièvre, toux, essoufflement, fatigue et perte de goût ou d'odorat.
- **Gravité** : La gravité des symptômes varie, avec des cas allant de légers à graves, entraînant parfois une pneumonie sévère et la mort.

4.7.1.4. Impact Mondial

- **Propagation Internationale** : La pandémie s'est rapidement propagée à travers le monde, entraînant des mesures strictes telles que les confinements, les restrictions de déplacement et les fermetures d'entreprises.
- **Conséquences Économiques** : Elle a eu des répercussions économiques massives, affectant les marchés mondiaux, l'emploi et la stabilité financière.

4.7.1.5. Réponse Mondiale

- **Recherche et Développement** : La communauté scientifique a travaillé rapidement pour développer des tests, des traitements et des vaccins.
- **Mesures de Prévention** : Les gouvernements et les organisations de santé publique ont mis en œuvre des mesures de prévention telles que la distanciation sociale, le port du masque et la vaccination de masse.

4.7.1.6. Enjeux Sanitaires et Sociaux

- **Systèmes de Santé** : La pandémie a mis à rude épreuve les systèmes de santé, mettant en lumière la nécessité de renforcer la préparation aux situations d'urgence.
- **Inégalités Sociales** : Elle a exacerbé les inégalités sociales, mettant en évidence les disparités d'accès aux soins de santé et aux ressources.

4.7.1.7. Importance de la Collaboration Internationale

- **Collaboration Scientifique** : La pandémie a souligné l'importance de la collaboration internationale en matière de recherche, de partage d'informations et d'accès équitable aux ressources.

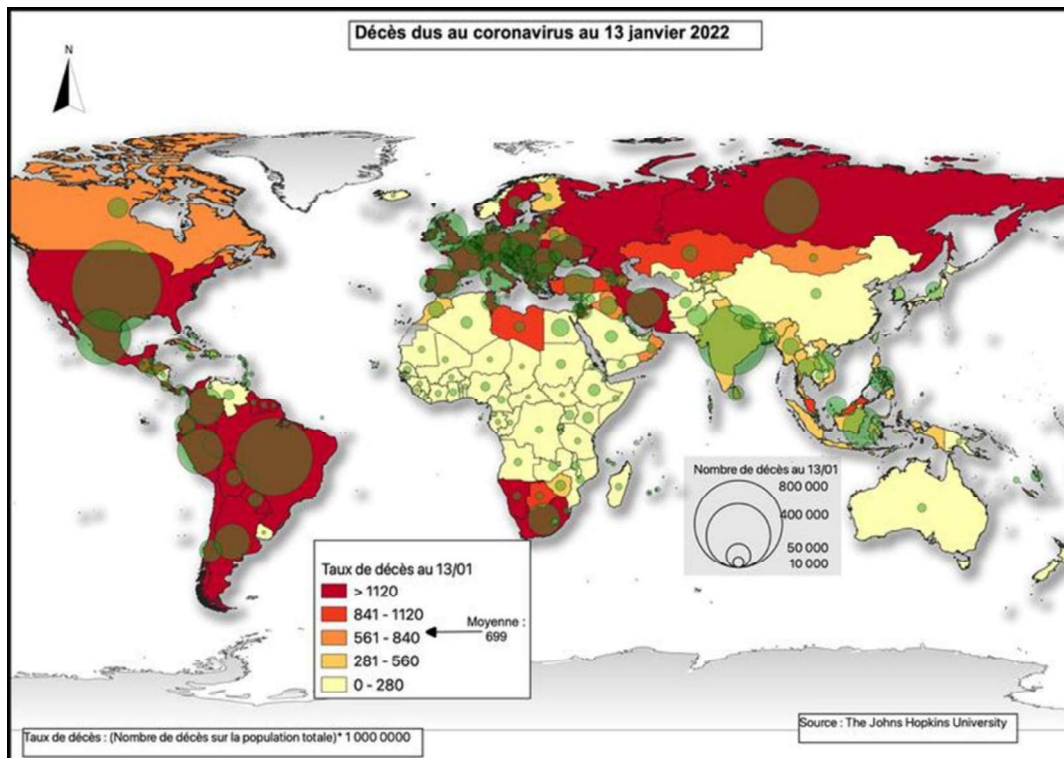


Figure N° 43 : Carte des décès due au Covid-19 (2022).

La cartographie a joué un rôle crucial dans la gestion de la pandémie de Covid-19. Elle a été utilisée pour surveiller et visualiser la propagation du virus, prendre des décisions basées sur l'analyse géospatiale, et communiquer efficacement avec le public. Des cartes interactives en temps réel ont suivi les cas mondiaux, tandis que des analyses cartographiques ont aidé à planifier la distribution des ressources médicales et à anticiper la propagation du virus. Les tableaux de bord cartographiques ont simplifié la communication des mesures de prévention, et la cartographie continue d'être un outil essentiel pour suivre la vaccination. En résumé, la cartographie a été un instrument crucial dans la compréhension et la gestion de la pandémie de Covid-19 à différentes échelles.

4.7.2. La cartographie de l'environnement et COVID-19

La cartographie occupe une place cruciale dans la compréhension et la gestion de la pandémie de COVID-19. Elle est utilisée pour représenter visuellement la répartition géographique des cas, les taux d'infection et les points chauds épidémiologiques. Les rapports épidémiologiques générés à partir de ces cartes aident à orienter les décisions en matière de santé publique. De plus, la cartographie offre une perspective visuelle des effets économiques et sociaux de la pandémie, illustrant l'impact sur l'emploi, les déplacements et les fermetures d'entreprises. L'importance des relations spatiales entre les lieux, en particulier en termes de distanciation sociale, est également mise en lumière par ces représentations cartographiques. Enfin, la cartographie permet d'explorer la relation entre la COVID-19 et l'environnement, mettant en évidence des facteurs tels que la qualité de l'air qui peuvent influencer la propagation du virus. En somme, la cartographie fournit une perspective visuelle essentielle pour comprendre les multiples facettes de la pandémie et guider les actions nécessaires.

5. La conservation de la nature

La conservation de la nature est une discipline qui vise à protéger, restaurer et gérer les écosystèmes, les espèces et les ressources naturelles afin de maintenir la diversité biologique et d'assurer la durabilité environnementale.

La conservation de la nature vise à préserver la biodiversité et les écosystèmes, assurant la durabilité environnementale. Elle utilise des approches variées, telles que la création d'aires protégées, la restauration écologique et la gestion durable des ressources. En mettant l'accent sur la protection des espèces menacées et des habitats cruciaux, la conservation de la nature intègre également des initiatives pour lutter contre le changement climatique et promouvoir une consommation responsable. Des organisations internationales, comme la Convention sur la Diversité Biologique et l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, jouent un rôle clé dans ces efforts de préservation globale. En résumé, la conservation de la nature vise à équilibrer les besoins humains avec la préservation de la biodiversité et des écosystèmes.

5.1. La cartographie et conservation de la nature

La cartographie joue un rôle essentiel dans la conservation de la nature en fournissant des outils visuels et analytiques pour comprendre, surveiller et gérer les écosystèmes, les espèces et les ressources naturelles.

5.1.1. Inventaire de la Biodiversité

- **Cartographie des Espèces** : Les cartes de répartition des espèces aident à identifier les zones riches en biodiversité, facilitant la planification de mesures de conservation ciblées.
- **Zonage Écologique** : La cartographie est utilisée pour créer des zones écologiques en fonction des caractéristiques des habitats, aidant à délimiter des aires protégées.

5.1.2. Surveillance des Écosystèmes

- **Imagerie Satellitaire** : Les données satellitaires permettent une surveillance continue des changements dans les écosystèmes, y compris la déforestation, la fragmentation des habitats et d'autres menaces.
- **Cartographie des Corridors Biologiques** : La création de cartes des corridors biologiques aide à identifier les voies de migration et de déplacement des espèces, contribuant à leur conservation.

5.1.3. Gestion des Aires Protégées

- **Cartes des Aires Protégées** : La cartographie est utilisée pour définir les limites des aires protégées, indiquant les zones où des activités humaines spécifiques sont réglementées pour la conservation.
- **Évaluation des Pressions Humaines** : Les cartes permettent d'évaluer les pressions anthropiques sur les aires protégées, facilitant la mise en œuvre de stratégies de gestion appropriées.

5.1.4. Planification de la Restauration Écologique

- **Cartes des Sites de Restauration** : La cartographie identifie les sites propices à la restauration écologique, aidant à planifier la réhabilitation des écosystèmes dégradés.
- **Suivi des Initiatives de Restauration** : Les cartes fournissent des outils de suivi pour évaluer l'efficacité des projets de restauration et ajuster les interventions si nécessaires.

5.1.5. Analyse des Changements Climatiques

- Cartographie des Risques Climatiques : La cartographie des risques climatiques aide à identifier les zones vulnérables aux changements climatiques, guidant les stratégies d'adaptation.
- Cartes de Migration des Espèces : La cartographie des schémas de migration des espèces permet de comprendre comment les changements climatiques peuvent influencer la distribution géographique des espèces.

La cartographie offre des outils puissants pour la conservation de la nature en fournissant des informations spatiales cruciales pour la prise de décision, la planification stratégique et la surveillance continue des écosystèmes, contribuant ainsi à assurer la durabilité et la préservation de la biodiversité.

5.2. Conventions internationales

À l'échelle internationale, plusieurs conventions dont l'objectif est la conservation de la nature, ont été ratifiées par un grand nombre d'États :

- Convention de Ramsar sur les zones humides d'importance internationale ;
- Convention sur le Patrimoine mondial culturel et naturel, signée en 1972 sous l'égide de l'UNESCO ;
- Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), signée en 1973 par 178 États ;
- Convention de Bonn sur les espèces migratrices en 1979, réunissant 119 États-parties ;
- Convention de Bern qui projette la création d'un réseau d'aires protégées à l'échelle européenne ;
- Convention sur la diversité biologique, signée à la conférence de Rio en 1992. Elle a été ratifiée par 193 États-parties ;
- Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification, adoptée en 1994 à Paris.

Les conventions internationales jouent un rôle crucial dans la promotion de la conservation de la nature en établissant des normes, des protocoles et des mécanismes de coopération pour protéger la biodiversité et les écosystèmes à l'échelle mondiale.

6. Conclusion

La cartographie de l'environnement, la cartographie épidémiologique, la conservation de la nature, ainsi que la lecture et l'interprétation des cartes jouent des rôles cruciaux dans notre compréhension et notre gestion de l'environnement et de la santé publique.

La cartographie de l'environnement offre des outils visuels puissants pour représenter la diversité des écosystèmes, des habitats naturels, et des facteurs environnementaux. Cela permet une planification stratégique, la surveillance des changements écologiques, et la prise de décisions informées pour une utilisation durable des ressources naturelles. De l'échelle mondiale à la locale, les cartes environnementales offrent des perspectives précieuses pour comprendre notre impact sur la planète.

La cartographie épidémiologique, quant à elle, est essentielle pour la surveillance et la gestion des maladies à l'échelle géographique. Elle permet d'identifier les foyers de maladies,

de suivre leur propagation, et de planifier des interventions ciblées. La visualisation spatiale des données épidémiologiques est un outil clé pour les professionnels de la santé publique, les chercheurs et les décideurs, facilitant la compréhension des tendances, la planification des ressources, et la communication avec le public.

En ce qui concerne la conservation de la nature, les cartes sont des instruments indispensables pour la planification et la gestion des aires protégées, des corridors biologiques, et des habitats critiques. Elles aident à surveiller les changements dans la biodiversité, à identifier les espèces menacées, et à guider les initiatives de restauration écologique. La conservation de la nature repose sur une compréhension spatiale approfondie des écosystèmes et des pressions anthropiques.

La lecture et l'interprétation des cartes sont des compétences cruciales pour tirer pleinement parti de ces outils. Les individus, les chercheurs, et les responsables peuvent utiliser ces compétences pour analyser des données complexes, identifier des tendances, et prendre des décisions éclairées. Une compréhension approfondie des informations cartographiques permet de mobiliser des efforts efficaces en faveur de la protection de l'environnement, de la prévention des maladies, et de la préservation de la biodiversité.

En somme, ces domaines interconnectés de la cartographie jouent un rôle central dans la manière dont nous comprenons, gérons, et préservons notre environnement et notre santé collective. L'utilisation judicieuse de la cartographie renforce notre capacité à relever les défis complexes qui façonnent notre planète.

CONCLUSION

En conclusion de ce cours sur la cartographie de l'environnement, les objectifs fixés visent à doter les étudiants des connaissances nécessaires pour comprendre les principes fondamentaux de la cartographie écologique et de l'environnement. Ce parcours éducatif s'est articulé autour de plusieurs axes, avec un accent particulier sur la carte de végétation, dans un cadre résolument pluridisciplinaire.

L'enseignement a commencé par établir des bases solides avec des notions générales de cartographie, englobant la cartographie thématique, la détermination des coordonnées géographiques, les mesures sur les cartes, et l'interprétation des photographies aériennes. Ces compétences préliminaires ont jeté les fondements nécessaires pour aborder les aspects plus spécifiques de la cartographie écologique.

La cartographie écologique a été explorée à travers les niveaux d'intégration en écologie, fournissant un cadre conceptuel pour la représentation spatiale des données écologiques. L'étude des cartes de végétation à différentes échelles a permis une compréhension approfondie des modèles végétaux, soulignant l'importance de la pluridisciplinarité dans cette démarche.

Ensuite, la cartographie de l'environnement a été abordée, avec un focus sur la cartographie épidémiologique, mettant en évidence son rôle crucial dans la surveillance et la gestion des maladies à l'échelle géographique. La conservation de la nature a été présentée comme un aspect fondamental de la cartographie environnementale, mettant en lumière l'importance de protéger la biodiversité et les habitats naturels.

La cartographie de l'environnement et la cartographie en général, combinées avec les Systèmes d'Information Géographique (SIG), jouent un rôle crucial dans la recherche scientifique et l'éducation environnementale.

Enfin, des exemples concrets de lecture et d'interprétation des cartes écologiques ont été fournis, illustrant comment ces compétences peuvent être appliquées dans des contextes réels. Ce cours a ainsi offert aux étudiants une compréhension approfondie des concepts, des méthodes et des applications pratiques de la cartographie de l'environnement, les préparant à aborder de manière éclairée les enjeux complexes liés à la préservation de notre planète.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Abis, S., & Brun, M. (2020). 2020-2030: Une cartographie des mondes agricoles et alimentaires. In *Le Déméter 2020* (pp. 15-22). IRIS éditions.

Adams, A. M., Chen, X., Li, W., & Zhang, C. (2023). Normalizing the pandemic: exploring the cartographic issues in state government COVID-19 dashboards. *Journal of Maps*, 19(1), 1-9.

Airault, S., & Jamet, O. (1995). Détection et restitution automatique du réseau routier sur des images aériennes. *Traitement du signal*, 12(2), 189-200.

Arfa, A. M. T., Benderradji, M. E. H., Saint-Gérard, T., & Alatou, D. (2019). Cartographie du risque feu de forêt dans le Nord-est algérien: cas de la wilaya d'El Tarf. *Cybergeog: European Journal of Geography*.

AVIAIRE, C. L. C. L. G., DE REACTION, E. D. A. E., & LA PANDEMIE, F. A. (2007). PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE.

B

Baba, A. (2007). Cartographie de l'environnement et suivi simultané de cibles dynamiques par un robot mobile (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

Bélanger, L., & Pineau, M. (1983). La planification écologique et l'aménagement du territoire urbain québécois: une problématique. *Cahiers de géographie du Québec*, 27(70), 5-21.

Bellon, S., & Ollivier, G. (2012). L'agroécologie en France: l'institutionnalisation d'utopies. *L'agroécologie en Argentine et en France. Regards croisés*, Paris, l'Harmattan, 55-90.

Benimmas, A. (1999). Apprendre à lire la carte thématique au secondaire ou développer le raisonnement géographique chez l'élève. *Cahiers de géographie du Québec*, 43(120), 539-558.

Bérard, J. (1977) Photo-interprétation. Notes de cours, École polytechnique de Montréal, Montréal, 161 p.

Betina, S. I., & Harrat, A. Analyse systématique et étude bio-écologique de la faune des acridiens (Orthoptera, Acridomorpha) de la région des Aurès, Batna, Algérie (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).

Bioret, F., Lazare, J. J., & Géhu, J. M. (2011). Évaluation patrimoniale et vulnérabilité des associations végétales du littoral atlantique français. *Le Journal de Botanique*, 56(1), 39-67.

Bouazza, M., Benabadji, N., Loisel, R., & Metge, G. (2004). Evolution de la végétation steppique dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie). *Ecologia mediterranea*, 30(2), 219-231.

Brossard, T., & Wieber, J. C. (1984). Le paysage: trois définitions, un mode d'analyse et de cartographie. *L'Espace géographique*, 5-12.

Brun, F., & Giau, B. (1998). Une méthode cartographique d'évaluation qualitative de la valeur globale des forêts de montagne. *Revue forestière française*, 50(sp), 131-147.

Burini, F. (2008, June). La cartographie participative et la pratique du terrain dans la coopération environnementale: la restitution des savoirs traditionnels des villages de l'Afrique subsaharienne. In *À travers l'espace de la méthode: les dimensions du terrain en géographie*.

C

Caloz, R., & Collet, C. (2001). *Précis de télédétection-Volume 3: Traitements numériques d'images de télédétection* (Vol. 3). PUQ.

Chenchouni, H. (2012). Diversité floristique d'un lac du bas-sahara algérien. Flora diversity of a lake at algerian low-sahara. *Acta Botanica Malacitana*, 37, 33-44.

Cherifi, K., Bouazza, N., & Babali, I. (2021). Apport à la connaissance cartographique du peuplement à *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis* de la réserve de Moutas-Tlemcen (AlgérieNord-Occidentale).

Cherpeau, A. (1994). Identification des milieux pâturés de montagne: d'un modèle agroécologique à une cartographie en unités physiologiques par télédétection (massif des Ecrins). In *Atelier télédétection et modèles LCT Cemagref-ENGREF, Montpellier, 20 octobre 1994* (p. 1).

Cherpeau, A. (1996). *Télédétection et agroécologie: un essai de cartographie destinée à la gestion des milieux herbacés de haute montagne: application au Parc national des Ecrins* (Doctoral dissertation, Université Joseph Fourier (Grenoble; 1971-2015)).

Ciotti, M., Ciccozzi, M., Terrinoni, A., Jiang, W. C., Wang, C. B., & Bernardini, S. (2020). The COVID-19 pandemic. *Critical reviews in clinical laboratory sciences*, 57(6), 365-388.

Clark, M. A., Springmann, M., Hill, J., & Tilman, D. (2019). Multiple health and environmental impacts of foods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(46), 23357-23362.

Cornélis, B., & Billen, R. (2001). La cartographie des risques et les risques de la cartographie. 90-5201-944-4.

D

De Pablo, C. L., Sal, A. G., & Pineda, F. D. (1987). Elaboration automatique d'une cartographie écologique et son évaluation avec des paramètres de la théorie de l'information. *L'Espace géographique*, 115-128.

Debarbieux, B. (1994). La cartographie à travers l'histoire. *L'Espace géographique*, 23(2), 186-187.

DeGregori, T. R. (2008). *Origins of the organic agriculture debate*. John Wiley & Sons.

Didier, P. (1999). *Manuel de Cartographie*.

Donnay, J. P. (2013). *Guide de rédaction des cartes thématiques. Méthodes et consignes*.

F

Fernez, T., Vuilleminot, M., & Bailly, G. (2010). Mise en place d'une méthode d'inventaire quantitatif des groupements végétaux en Franche-Comté. *Revue forestière française*, 62(3-4), 441-448.

G

Gagnon, H., & GAGNON, H. (1974). La photo aérienne: son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Éditions HRW.

Gebreyes, W. A., Dupouy-Camet, J., Newport, M. J., Oliveira, C. J., Schlesinger, L. S., Saif, Y. M., ... & King, L. J. (2014). The global one health paradigm: challenges and opportunities for tackling infectious diseases at the human, animal, and environment interface in low-resource settings. *PLoS neglected tropical diseases*, 8(11), e3257.

Géhu, J. M. (1964). L'excursion dans le Nord et l'Ouest de la France de la Société Internationale de Phytosociologie. *Vegetatio*, 12, 1-95.

Géhu, J. M., & Bioret, F. (1992). Étude synécologique et phytocoenotique des communautés à Salicornes des vases salées du littoral breton. *Bulletin de la Société botanique du Centre-Ouest*, NS, 23, 347-419.

Géhu, J. M., & Géhu, J. (1969). Les associations végétales des dunes mobiles et des bordures de plages de la côte atlantique française. *Vegetatio*, 18, 122-166.

H

H. MOUISSA.(Mai 2017). PHOTOGRAPHIES AERIENNES, Note de cours & Travaux pratiques.

Hernando-Amado, S., Coque, T. M., Baquero, F., & Martínez, J. L. (2019). Defining and combating antibiotic resistance from One Health and Global Health perspectives. *Nature microbiology*, 4(9), 1432-1442.

Hoppe, A. (2005). The Reinhold Tüxen Archive at the Institute of Geobotany, University of Hannover-creation of a relevé database.

K

Keck, F. (2010). Une sentinelle sanitaire aux frontières du vivant*. Les experts de la grippe aviaire à Hong Kong. *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*, (54), 26-41.

Kozlovic, N. J. (1977). Aircraft and Satellite Remote Sensing for Biophysical Analysis at Pen Island, Northwestern Ontario (Doctoral dissertation).

Kraemer, M. U., Hay, S. I., Pigott, D. M., Smith, D. L., Wint, G. W., & Golding, N. (2016). Progress and challenges in infectious disease cartography. *Trends in parasitology*, 32(1), 19-29.

L

LAKE, O. T. IDENTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES HABITATS NATURELS DU LAC TONGA (EL-KALA, ALGÉRIE).

Le Menestrel, J. (1966). L'édition des cartes thématiques. *Méditerranée*, 7(2), 159-167.

Lemercier, B., Lacoste, M., Loum, M., Berthier, L., Le Bris, A. L., & Walter, C. (2013). Apport de la cartographie numérique des sols pour prédire l'hydromorphie et l'extension des zones humides potentielles à l'échelle régionale. *Étude et Gestion des Sols*, 20(1), 47-66.

Lone, S. A., & Ahmad, A. (2020). COVID-19 pandemic—an African perspective. *Emerging microbes & infections*, 9(1), 1300-1308.

Lucas, M. J. (1963). Documents de cartographie écologique. P. Ozenda (Ed.). Université scientifique et médicale de Grenoble.

M

Manceron, V. (2008). Les oiseaux de l'infortune et la géographie sanitaire. La Dombes et la grippe aviaire (No. 51, pp. 161-173). Association Terrain.

MARTIN, R., REBBAS, K., & VÉLA, E. (2020). Étude cartographique des orchidées.

Mathevet, R., Thompson, J., Delanoë, O., Cheylan, M., Gil-Fourrier, C., & Bonnin, M. (2010). Dossier «Le réveil du dodo III»-La solidarité écologique: un nouveau concept pour une gestion intégrée des parcs nationaux et des territoires. *Natures sciences sociétés*, 18(4), 424-433.

Miller, M. (1997). Classification de cartes topographiques matricielles numérisées avec un scanner: développement d'un algorithme. Université de Sherbrooke..

Moussa, B. M. C., & Abdourahamane, B. (2022). Risques climatiques et sécurité alimentaire et nutritionnelle au Niger: cartographie des impacts et des besoins de résilience. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 22(1).

O

Ozanam, J. (1736). La Geometrie pratique, contenant la trigonometrie theorique&pratique, la longimetrie, la planimetrie, &la stereometrie, etc. Chez l'Auteur&Estienne Michallet.

Ozenda, P. (1963). Principes et objectifs d'une cartographie de la végétation des Alpes à moyenne échelle. Laboratoire de biologie végétale.

OZENDA, P. (1971). La Cartographie de la végétation dans les Alpes Piemontaises. *Webbia*, 25(2), 481-493.

OZENDA, P. (1971). La Cartographie de la végétation dans les Alpes Piemontaises. *Webbia*, 25(2), 481-493.

Ozenda, P. (1985). La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen.

Ozenda, P. (1986). La cartographie écologique et ses applications. Masson.

Ozenda, P. (1986). La cartographie écologique et ses applications. Paris: Masson.

Ozenda, P., & Lucas, M. J. (1987). Esquisse d'une carte de la végétation potentielle de la France à 1/1 500 000. *Documents de cartographie écologique*, 30, 49-80.

P

Palsky, G. (2003). Cartes topographiques et cartes thématiques au XIX siècle. Cartes topographiques et cartes thématiques au XIX siècle, 1000-1016.

Paul Rey, « Histoire de la cartographie de la végétation en France », *Bulletin du Comité Français de Cartographie. Le Monde des Cartes*, no 199, 2009, p. 106.

Piroux, M., Mbaye, B., Ndour, M., & Sene, M. B. (2023). Cartographie des acteurs et évaluation du plan d'action 2023 de la DYTAEL de Fatick (Dynamique pour une transition agroécologique locale).

R

Ramli, M. N., Abdul Rasam, A. R., & Rosly, M. A. (2022). Cartography and Mapping for Precision Health: Review of Essential Elements for Disease Mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 273-280.

Randrianasolo, E. B. (2009). Nouvelles méthodes de cartographie sur le socle protérozoïque du Sud de Madagascar. Nature et géométrie de la croûte continentale d'un domaine orogénique en convergence, implications économiques (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).

Rebbah, A., Samar. N. (2013). Contribution à l'inventaire et l'analyse de la distribution spatiale (horizontale) des paramètres de richesse et de diversité du phytoplancton des eaux saumâtres (Cas du la lagune d'El Mellah -PNEK -Région d'El Tarf) : Université d'El Tarf.

Rey, P. (2009). Histoire de la cartographie de la végétation en France. *Bulletin du Comité Français de Cartographie. Le Monde des Cartes*, 105-115.

Rey, P. (2009). Histoire de la cartographie de la végétation en France. *Bulletin du Comité Français de Cartographie. Le Monde des Cartes*, 105-115.

Rognant, C., & Steward, A. (2015). Qui garde le mieux la terre?. L'agriculture familiale face aux stratégies de conservation forestière dans la Réserve de Développement Durable Amanã, Amazonas, Brésil. *Anthropology of food*, (S11).

S

SÈNE, A. M., MBALO, I., & SY, O. (2019). Aménagements agricoles et sécurité alimentaire au Sénégal: cas de la Haute Casamance (Sénégal). *Espace Géographique et Société Marocaine*, (27).

Sonn, J. W., & Lee, J. K. (2020). The smart city as time-space cartographer in COVID-19 control: the South Korean strategy and democratic control of surveillance technology. *Eurasian Geography and Economics*, 61(4-5), 482-492.

Steinberg, J. (1981, November). Cartographie de l'environnement. In *Annales de Géographie* (Vol. 90, No. 502, pp. 726-729). Armand Colin.

Stevens, K., Glanville, W. A. D., Costard, S., Métras, R., Theuri, W., Kruska, R. L., ... & Pfeiffer, D. U. (2009). Cartographie du risque d'influenza aviaire de sous-type H5N1 en Afrique-Amélioration de la surveillance de la grippe aviaire. Rapport préliminaire sur les cartes de risque de grippe aviaire.

T

Toubal, O. (1986). Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'edough (Algérie nord-orientale) cartographie à 1/25000 (Doctoral dissertation, Grenoble).

V

Vaughan, L. (2018). Mapping society: The spatial dimensions of social cartography (p. 268). UCL Press.

Vimal, R., & Mathevet, R. (2011). La carte et le territoire: le réseau écologique à l'épreuve de l'assemblée cartographique. Cybergeog: European Journal of Geography.

W

Watteaux, M. (2009). La dynamique de la planimétrie parcellaire et des réseaux routiers en Vendée méridionale. Études historiographiques et recherches archéogéographiques (Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I).

Worms, F. (2008). La grippe aviaire entre soin et politique. Une catastrophe annoncée?. Esprit, (3), 20-35.

Z

Zanin, C., & Trémélo, M. L. (2003). Savoir faire une carte (p. 199). Belin.

Zinsstag, J., Schelling, E., Waltner-Toews, D., & Tanner, M. (2011). From "one medicine" to "one health" and systemic approaches to health and well-being. Preventive veterinary medicine, 101(3-4), 148-156.

Webographie

- <https://www.anses.fr/fr/content/one-health>
- <https://sciencespoenvironnement.fr/environnement-ecologie/>
- <https://www.universalis.fr/encyclopedie/cartographie/3-cartographie-thematique/>
- <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/92-195-x/2011001/other-autre/theme/def-fra.htm>
- <https://www.naturalia-environnement.fr/sig/>
- <https://www.emro.who.int/fr/health-topics/avian-influenza/introduction.html#:~:text=Cr%C3%A9dit%20photo%20%3A%20OMS.La%20grippe,%20infection%20chez%20l'homme.>
- <https://www.who.int/fr/news-room/questions-and-answers/item/one-health>
- <https://www.anses.fr/fr/content/one-health>
- <https://www.scribd.com/document/465913880/CARTOGRAPHIE-COURS-L2>
- https://www.odsef.fss.ulaval.ca/sites/odsef.fss.ulaval.ca/files/rapport_odsef_chabane_2016_final.pdf.
-