



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Scientifique

MEHmed

MEDITERRANEAN ENVIRONMENTAL CHANGE MANAGEMENT

MASTER STUDY & ECOSYSTEM BUILDING

Université Constantine 3

Salah BOURNIDER

جامعة قسنطينة 3

حالم پوینڈر

Institut de Gestion des Techniques Urbaines

POLICOPIE DE LA MATIERE : SIG & ENVIRONNEMENT (IMPACT ET EVALUATION) 2.

NIVEAU : MASTER 1 : Gestion des changements environnementaux en Méditerranée (MEHmed).

Présenté par : Dr. Latifa BOULAHIA

L.BOULAHIMA

AVANT PROPOS

Avant tous, je remercie toutes les personnes qui nous ont assistées de près ou de loin à l'élaboration de cet humble travail.

L'objectif principal de ce polycopié est d'aider les étudiants à acquérir une certaine maîtrise du traitement numérique des images satellites. Après quelques rappels du cours de photo-interprétation, les particularités de l'analyse des images satellites seront abordées (orbitographie, caractéristiques et domaines d'applications de différents capteurs, signatures spectrales et analyse des paysages...).

Divisé en deux parties, la première présentant l'essentiel sur les notions de base de la télédétection. La deuxième est consacrée aux travaux pratiques permettant de manipuler, de gérer et de trouver des solutions à n'importe quel projet traitant des données géo spatiales avec différentes problématiques.

Au cours des séances de TP, les étudiants réaliseront des approches indicielles sur un milieu donné et l'évolution d'occupation du sol.

Le cours est destiné plus particulièrement aux étudiants du master international **ERASMUS +** sur la gestion du changement environnemental en Méditerranée (MEHmed) de la filière gestion technique urbaine et gestion des villes et peut s'appliquer à toutes les autres spécialités.

Prérequis :

- Connaissance préalable en :
- Systèmes d'Information Géographique ;
- Cartographie (Carto niveau 1...) ;
- Statistique descriptive (Statistique pour géographe...) ;
- Photo-interprétation
- Base de données, etc.

Table des matières

CHAPITRE I: NOTIONS FONDAMENTALES	1
I.1. INTRODUCTION A LA TELEDETECTION	2
I.1.1. Bref historique	3
I.1.2. Eléments de la télédétection	5
I.1.3. Objectif/Avantages	5
I.1.4. Domaines d'application de la télédétection.	6
I.1.5. Bases physiques de la télédétection	7
a) Processus d'Analyse	7
Source : Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection	8
b) Le rayonnement électromagnétique (REM).	9
c) Origine de l'énergie détectée.	9
À chaque rayonnement est associée une longueur d'onde caractéristique !	11
d) Le spectre électromagnétique	11
Test de compréhension.....	15
I.1.6. La traverse de l'atmosphère	15
a) Interactions avec l'atmosphère	15
b) La diffusion atmosphérique	15
c) L'absorption et la transmission	17
Conclusion	20
Test de compréhension.....	20
I.1.7. Les interactions	20
a) Quelques définitions des propriétés du REM	20
b) Le cas de l'émission	24
c) Rappel sur les quantités énergétiques (notions de photométrie)	25
Test de compréhension.....	26
I.2. LES SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE	27
I.2.1 Types de satellites	27
I.2.2 Liste non exhaustive des Satellites/Capteurs d'Observation de la Terre	29
• Le Landsat 8- OLI- Operational Land Imager	30
I.2.1 Où se procurer des données Landsat :.....	31
I.2.3 http://earthexplorer.usgs.gov. (Figure 22).	31
b) Le satellite Sentinel 2.....	33
I.3 CARACTERISTIQUES DES CAPTEURS.....	35
I.3.1 Télédétection passive.....	35
I.3.2 Télédétection active	35
I.3.3 Performances des capteurs.....	36
Leurs performances des capteurs dépendent des caractéristiques suivantes :.....	36
• Spectrales (nombre de bandes spectrales)	36
• Spatiales (surfaces couvertes par la scène et le pixel)	36
• Radiométrique (sensibilité des capteurs)	36

• Temporelles (temps de revisite)	36
c) Analyse de quelques comportements spectraux	38
2) D'une manière spécifique.	40
❖ Pour les minéraux.....	41
❖ Pour les sols.	42
42	
Test de compréhension.....	43
CHAPITRE II: TRAVAUX PRATIQUES	44
TP1: DECOUVRIR LE LOGICIEL ARCGIS.....	45
TP 2: OUTILS DE PRE-TRAITEMENT D'IMAGE AVANT CLASSIFICATION SOUS ARCMAP.....	49
• Prétraitement et exploration des données.....	49
• Corrections radiométriques.....	50
• Quelle est la différence entre la radiance et la réflectance?	50
• Exemple de calcul avec ArcMap :	52
TP N°4 : COMMENT AUGMENTER LA RESOLUTION D'UNE IMAGE SATELLITE LANDSAT OLI 8.....	63
TP N°5 : CLASSIFICATION SUPERVISEE ET TRAITEMENT DE POST-CLASSIFICATION	67
a) Filtrage de la sortie classée	69
b) Lissage de limites de classée	69
I.3.4	70
c) Généralisation de la sortie en supprimant de petites régions isolées	70
TP N°6 : APPLICATION DES INDICES SPECTRAUX DANS L'ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT	72
10- Indice d'eau de différence normalisé. (NDWI-Normalized Difference Water Index) 76	
12.1.Indice topo-morphologique (IM) :	77
Trois paramètres topographiques interviennent dans le modèle : la pente, l'exposition et l'altitude. Tous ces paramètres sont déduits à partir du modèle numérique de terrain (M.N.T) de la région. Cet indice est exprimé par la relation suivante :	77
TP N° 7: REALISATION DE L'INDICE DU BÄTI (NDBI)	79
TP N° 8: REALISATION DE L'INDICE DE VEGETATION NORMALISE (NDVI)	82
TP N°10: INDICE DE RISQUE D'INCENDIE DE FORÊTS (IR) EN MEDITERANNEE. Cas de la wilaya de Skikda.....	87
TP N°11: APPLICATION DES SIG DANS LE CALCUL DE LA TEMPERATURE DE SURFACE (LST).....	93
COMPARAISON ENTRE TROIS SITES DIFFERENTS DANS LE GLOBE TERRESTRE	93
TP N°12: ÉTUDE DE LA CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE SURFACE, L'INDICE DE VEGETATION ET L'INDICE DU BATI	100
TP N°13: CARTOGRAPHIE DE DEPIRISSEMENT DU CEDRE DE L'ATLAS DANS LE PARC NATIONAL DE BELEZMA.....	108
TP N°14: CARTOGRAPHIE DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LA WILAYA D'ANNABA.....	117
Références bibliographiques	122

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Fonctionnement des capteurs comme l'œil humain	2
Figure 2 Historique de l'imagerie numérique	4
Figure 3 Notions fondamentales de la télédétection.....	8
Figure 4 Le champ électromagnétique	9
Figure 5 Longueur d'onde et de fréquence.....	10
Figure 6 Le spectre électromagnétique	11
Figure 7 Longueur d'onde et de fréquence	11
Figure 8 Longueur d'ondes du visible.....	12
Figure 9 Scanner multibandes.....	14
Figure 10 Diffusion sur les particules nuageuses	17
Figure 11 Composition gazeuse de l'atmosphère et fenêtres d'absorption et de transmission ...	19
Figure 12 Mode d'interaction	21
Figure 13 : réflexion spéculaire	
Figure 14 La réflexion diffuse.....	22
Figure 15 Les signatures spectrales du sol, de l'eau et de la végétation	23
Figure 16 Émission en fonction des températures du soleil ($T^{\circ}=6\,000\text{K}$) et de la Terre ($T^{\circ}=300\text{K}$) - courbes de Planck. Source : ens-lyon.....	24
Figure 17 Les satellites Géostationnaires	28
Figure 18 Les satellites à défilement	28
Figure 19 Les satellites à orbite héliosynchrone	29
Figure 20 Radiomètre à balayage	30
Figure 21 Radiomètre « whiskbroom » : Landsat_8_OLI.....	30
Figure 22 Source d'image Landsat	31
Figure 23 Comparaison des bandes des Landsat 5 TM, 7 ETM+ et Landsat 8 OLI et TIRS....	32
Figure 24 Résolution spatiale et bandes spectrales du capteur MSI de Sentinel 2.....	34
Figure 25 Télédétection passive et active.....	35
Figure 26 Signatures spectrales de quelques surfaces naturelles dans les domaines dans le visible, le PIR et le MIR	39
Figure 27 Signature spectrale d'une feuille de coton déshydratée dans le visible, PIR, MIR. ...	40
Figure 28 Signature spectrale d'une feuille de coton dans le visible, PIR, MIR.	40
Figure 29 Évolution de la réflectance spectrale de feuilles de blé en cours de sénescence (en laboratoire)	40
Figure 30 Évolution de la réflectance spectrale d'un basalte en fonction de sa patine	41
Figure 31 Différentes réflectances spectrales de minéraux	41
Figure 32 Différentes réflectances spectrales en fonction de la part du sable dans un limon	42
Figure 33 : Différentes réflectance spectrales entre différentes cibles.....	42
Figure 34 : Les différences de réflectances d'une feuille selon la région spectrale.....	43
Figure 35 Logiciel ARCgIS	45
Figure 36 Interface Arcmap	47
Figure 37 Interface des 'applications ArcCatalogue Arctoolbox.	48
Figure 38 : correction atmosphérique	62
Figure 39 : Une image rehaussée	66
Figure 40 : Indice de bâtit dans la commune Chef-lieu de la wilaya de Guelma.....	81
Figure 41 : NDVI de la commune Chef-lieu de la wilaya de Guelma.....	83
Figure 42 : Évolution du Land Cover de la commune Chef-lieu de la wilaya de Guelma	86

Figure 43: MNT de la wilaya de Skikda	88
Figure 44: Carte des pentes de la wilaya de Skikda.....	89
Figure 45: Carte des expositions de la wilaya de Skikda.....	89
Figure 46: Carte Topomorphologique de la wilaya de Skikda.....	90
Figure 47: Lindice Topomprphologique de la wilaya de Skikda	90
Figure 48: Carte de prise de décision et zones brûlées au Parc National de Belezma	114
Figure 49: NDVI-NDBI- LST du Parc national de Belezma	116
Figure 50: Carte de potentialité à l'érosion hydrique dans la wilaya d'Annaba	121

Liste des tableaux

Tableau 1. Domaine d'application de la télédétection.....	7
Tableau 2 Caractéristiques du capteur OLI et TIRS de Landsat 8.....	31
Tableau 3 Longueurs d'ondes des Sentinel-2A et 2B.....	33
Tableau 4 Caractéristiques d'une image Satellitaire	36
Tableau 5 Spécificités thématiques de quelques bandes spectrales	37
Tableau 6 Les classes retenues pour la classification.	84

CHAPITRE I: NOTIONS FONDAMENTALES

I.1. INTRODUCTION A LA TELEDETECTION

La télédétection est définie comme étant une : « Discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plateformes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. » (CALOZ, et al, 2001).

« La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. » (MAHARUFA, et al., 2003).

La télédétection spatiale est une méthode qui, grâce à un ou plusieurs détecteurs, offre la possibilité de recueillir des informations sur un objet, une surface ou un phénomène sans interaction directe avec ces derniers. L'œil humain est un détecteur qui capte les radiations visibles. Ce rayonnement est converti en impulsions électriques par des cellules spécialisées appelées photorécepteurs. Ces signaux sont ensuite transmis au cerveau qui les interprète pour en extraire des informations.

Il s'agit du même principe que la télédétection spatiale qui comprend l'ensemble des étapes allant de la capture et de l'enregistrement de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique, à son traitement et son analyse, jusqu'à sa mise en œuvre pratique. (Figure 1).

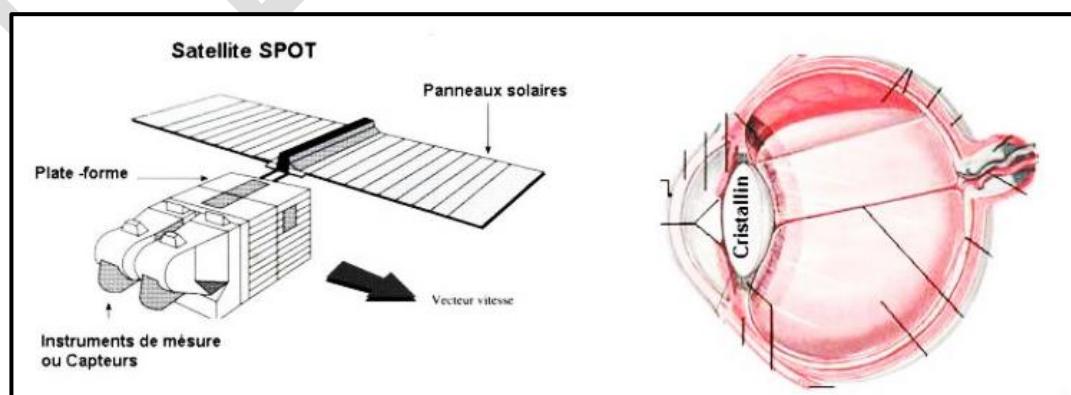


Figure 1 Fonctionnement des capteurs comme l'œil humain

Source : A. EL ABOUDI (2017)

I.1.1. Bref historique

On peut diviser l'histoire des méthodes de télédétection en cinq grandes périodes :

- De 1856, moment où un appareil photo a été fixé pour la première fois à un ballon, jusqu'à la Première Guerre mondiale, nous vivons l'ère des pionniers. Durant cette période, le potentiel de la photographie aérienne verticale est examiné pour les besoins de la cartographie ; les principes essentiels de la stéréoscopie et de la photogrammétrie sont révélés à la fin du XIXe siècle. De la première guerre mondiale à la fin des années 50, la photographie aérienne devient un outil opérationnel pour la cartographie, la recherche pétrolière, la surveillance de la végétation. On assiste à un progrès continu de l'aviation, des appareils photographiques et des émulsions (couleur, infrarouge noir et blanc, infrarouge fausse couleur). Les méthodes de la photo-interprétation sont précisées et codifiées.
- La période allant de 1957 à 1972 représente les premiers pas dans l'exploration spatiale et pave la voie vers l'émergence actuelle de la télédétection. Le déploiement initial de satellites, suivi par l'envoi de vaisseaux spatiaux habités équipés de caméras, met en évidence l'importance de la télédétection spatiale. De même, les radiomètres-imageurs sont développés et améliorés, tout comme les premiers radars installés sur des avions. L'utilisation pratique de la télédétection spatiale a vu le jour dans les années 60 avec le lancement des satellites météorologiques de la série ESSA.
- Le lancement en 1972 du satellite ERTS (rebaptisé ensuite Landsat 1), premier satellite de télédétection des ressources terrestres, ouvre l'époque de la télédétection moderne. Le développement constant des capteurs et des méthodes de traitement des données numériques ouvre de plus en plus le champ des applications de la télédétection et en fait un instrument indispensable de gestion de la planète, et, de plus en plus, un outil économique.
- Depuis les années 70, on assiste à un développement continu de la télédétection, marqué notamment par : l'augmentation de la résolution spatiale des capteurs, déjà évoquée. Et par la *diversification* des capteurs qui utilisent des domaines de plus en plus variés et spécialisés du spectre électromagnétique.
 - Dans les années 90, on assiste ainsi à la multiplication des satellites équipés de capteurs actifs, radars en particulier. Dans le domaine du rayonnement visible et infrarouge, les capteurs à très haute résolution spectrale sont aujourd'hui

d'utilisation courante dans leur version aéroportée et font leur apparition à bord de satellites.

la diffusion des données sur une base commerciale, envisagée dès le lancement du programme SPOT en 1986, se traduit aujourd'hui par le lancement de satellites de télédétection par des sociétés privées. Les données de télédétection deviennent l'objet d'un marché concurrentiel.

La diffusion accélérée et l'augmentation de la puissance des ordinateurs contribuent de façon continue à promouvoir de nouvelles méthodes d'utilisation des données toujours plus abondantes que fournit la télédétection spatiale. Les données des satellites météorologiques et océanographiques sont aujourd'hui un auxiliaire indispensable de la prévision numérique du temps et du climat et font l'objet d'une assimilation directe par les modèles numériques. Les images de télédétection destinées à l'observation fine de la surface terrestre, y compris les photographies aériennes traditionnelles, sont, sous forme numérique, intégrées aux Systèmes d'Information Géographique. (Figure.2).

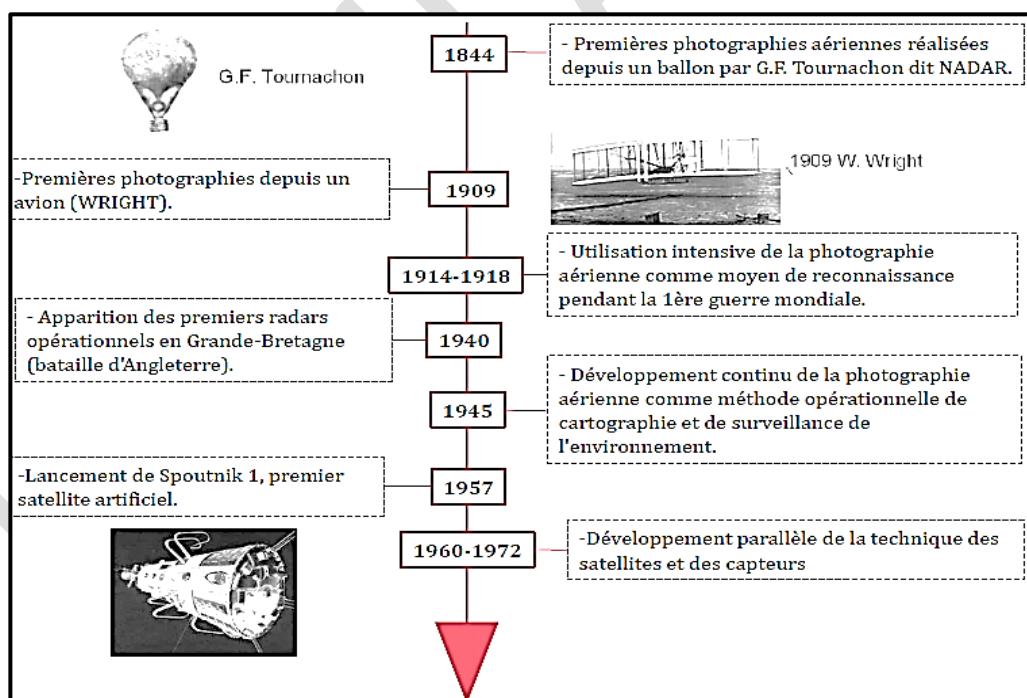


Figure 2 Historique de l'imagerie numérique

Source : N.AKDIM (2017)

I.1.2. Eléments de la télédétection

La télédétection est une méthode qui permet d'obtenir des informations sur des objets en recueillant et en analysant des données sans contact direct entre l'instrument utilisé et l'objet analysé.

Quatre éléments sont essentiels en Télédétection. Il s'agit des éléments suivants :

- Une plateforme pour tenir l'instrument
- Un objet cible à observer
- Un instrument ou capteur pour observer la cible.
- L'information obtenue à partir des données de l'image et la manière dont cette information est exploitée et stockée.

Pour les scientifiques, les plates-formes sont tous les moyens utilisés pour être “à distance” de la surface de la Terre (par exemple, les avions et les satellites). La cible est notre planète, les instruments contiennent les capteurs qui sont utilisés pour observer la Terre (caméras, scanners, radars, etc.) et l'information obtenue au final est tout ce qui peut augmenter notre connaissance de la planète (la couverture nuageuse au-dessus de l'Europe, l'évolution du trou de la couche d'ozone, l'extension des déserts, l'avancée de la déforestation et bien d'autres phénomènes encore). (http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_FR/SEMP4O1P0WF_0.html).

I.1.3. Objectif/Avantages

La télédétection présente plusieurs avantages, qui peuvent être complémentaires aux mesures du terrain :

- **En termes de couverture spatiale:** la télédétection couvre des étendues considérables de la terre ou des planètes. L'information peut être représentée dans l'espace par le biais des systèmes d'information géographiques (SIG), révélant les géométries spatiales qui ne sont pas souvent apparentes lorsque l'information est fournie sous forme de tableaux.
- **En termes de couverture temporelle :** les observations de télédétection peuvent être répétitives, permettant de contrôler les pratiques des gestionnaires et d'évaluer l'impact des interventions.
- **En termes de précision:** l'information peut être très précise par rapport à certain type de mesures au sol. Les données obtenues par télédétection sont objectives et ne sont pas basées sur des opinions.

I.1.4. Domaines d'application de la télédétection.

Les domaines d'application de la télédétection sont les suivants :

- **En étude de l'atmosphère** (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer une *couverture globale et très fréquemment répétée de la planète* entière ; par contre la résolution spatiale n'est pas primordiale pour les applications météorologiques.
- Les satellites en orbite géostationnaire, à 36000 km de la Terre, permettent d'obtenir une image couvrant près d'un cinquième de la surface terrestre toutes les demi-heures ; cinq satellites de ce type assurent une couverture globale de l'atmosphère terrestre, à l'exception des pôles. Ce système est complété par des satellites en orbite polaire, à 900 km d'altitude, qui offrent plus de précision.
- **En océanographie**, la télédétection offre l'avantage de permettre *une vision synoptique de vastes régions* qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux). Pour certaines études à petite échelle, les données des satellites météorologiques sont largement utilisées en océanographie (températures de surface de l'océan) ; pour les études côtières, ce sont les satellites de télédétection terrestre, équipés de capteurs à haute résolution, qui sont les plus utiles.
- **Les applications terrestres** de la télédétection sont extrêmement variées. La *photographie aérienne*, sous toutes ses formes, est encore, sans doute pour peu de temps, le moyen le plus usuel de télédétection ; les photographies aériennes sont de plus en plus utilisées sous forme numérique de façon à permettre leur correction géométrique (orthophotos) et leur intégration dans les Systèmes d'Information Géographique. En télédétection spatiale, ce sont surtout les *radiomètres optiques à haute ou très haute résolution* qui sont utiles pour les applications terrestres.

Depuis 1972, les progrès dans ce domaine sont remarquables : on est passé d'une résolution de 80 m (MSS de Landsat), à 30 m (Thematic Mapper) et à 20 et 10 m (HRV de SPOT). En géologie ou pour l'étude de la végétation, les *radars imageurs*, surtout aéroportés, sont aussi très utilisés.

Le champ des utilisations de la télédétection ne cesse de s'élargir : cartographie, géologie et prospection minière, mais aussi surveillance des cultures ou du couvert forestier, urbanisme, aménagement, génie civil, etc... Le

traitement de l'imagerie satellitaire numérique est une discipline en constant développement, et la baisse du coût des matériels informatiques a entraîné une augmentation rapide du nombre des utilisateurs. (Tableau 1).

Tableau 1. Domaine d'application de la télédétection

Vecteurs	Capteurs	Domaines d'applications
Télédétection de l'ATMOSPHÈRE (Météorologie, Climatologie):		
Satellites géostationnaires (Météosat). Satellites à défilement (NOAA).	Basse et moyenne résolution (on priviliege la répétitivité et la couverture spatiale). Capteurs passifs: visible, infrarouge, microondes. Sondeurs atmosphériques. Dans le futur : radars pluviométriques, lidars (capteurs à laser).	Etude de la nébulosité Mesure des températures Vapeur d'eau et précipitations Eléments du bilan radiatif
Océanographie et études littorales		
Avions. Satellites météorologiques ou de télédétection terrestre, Satellites spécialisés (Nimbus, Seasat, ERS-1).	Toutes résolutions selon les espaces considérés (de l'océanographie côtière à l'océanographie globale). Capteurs passifs : visible, infrarouge, microondes. Radars imageurs, radar-altimètre, diffusiomètre.	Analyse de la couleur de l'océan (production biologique, turbidité). Mesures des températures de surface de la mer. Vagues et vents. Altitude de la surface (dynamique de l'océan). Glaces de mer.
APPLICATIONS TERRESTRES		
Avions. Satellites à défilement en orbite polaire (Landsat, SPOT).	Surtout haute et très haute résolution spatiale : Photographie aérienne. Capteurs passifs : radiomètres à balayage (domaine optique). Capteurs actifs : radars imageurs.	Cartographie régulière et thématique Géologie, prospection minière, géomorphologie. Hydrologie, neige, risques naturels. Agriculture, sylviculture. Urbanisme. Aménagement, génie civil. etc.

Source : Source : N.AKDIM (2017)

I.1.5. Bases physiques de la télédétection

a) Processus d'Analyse

(A) Source d'énergie ou d'illumination : Tout processus de télédétection nécessite une source d'énergie pour illuminer la cible.

(B) Rayonnement et atmosphère : Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

(C) Interaction avec la cible : Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

(D) Enregistrement de l'énergie par le capteur : Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

(E) Transmission, réception et traitement : L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

(F) Interprétation et analyse : Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

(G) Application : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier. (Figure 3).

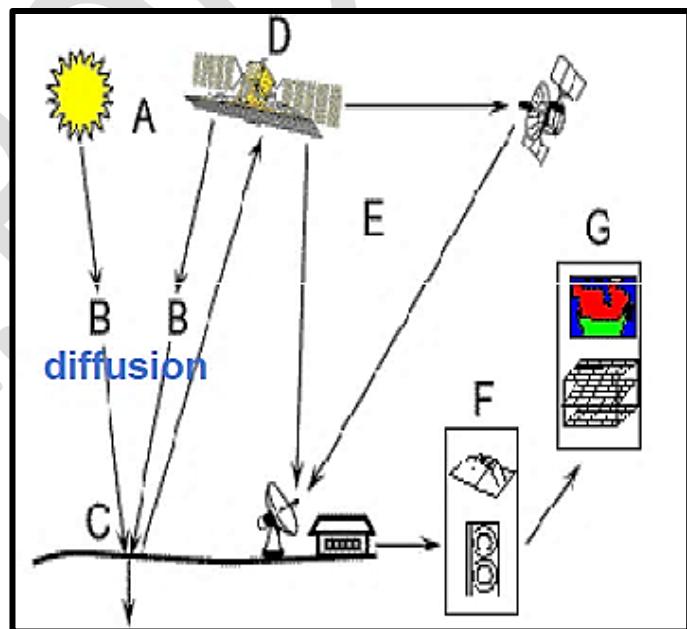


Figure 3 Notions fondamentales de la télédétection

Source : *Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection*

b) Le rayonnement électromagnétique (REM).

Les capteurs sont munis de détecteurs sensibles aux REM, **réfléchis, émis ou réémis** par la terre et l'atmosphère.

c) Origine de l'énergie détectée.

Ces REM viennent :

- Du **Soleil** sous forme de **photons** : "grains" d'énergie lumineuse
- De la **Terre** elle même
- Mais aussi du **capteur** lui-même.

Le soleil est la source d'énergie.

Ces REM détectés sont constitués d'énergie se propageant sous forme d'ondes.

Ces ondes sont dites **électromagnétiques**, c'est lié à leur nature physique. (Fig. 1).

En effet, il existe en tout point de l'espace un double champ :

Électrique **E** et Magnétique **M**. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la **lumière** (**C**). Ce double champ apporte l'énergie lumineuse qui va éclairer la cible. (Figure.4).

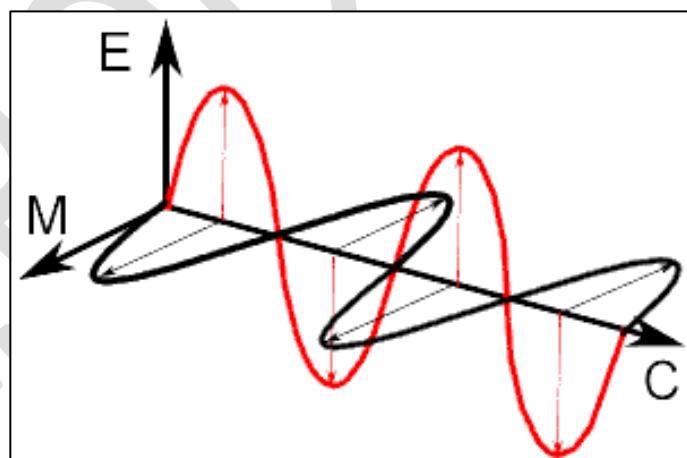


Figure 4 Le champ électromagnétique

Source : Op. Cit.

❖ Remarque :

- La **propagation** de cette onde s'effectue de manière **rectiligne** lorsque le milieu est homogène (approximation courante en télédétection),
- La direction de propagation est perpendiculaire au plan d'onde des 2 champs,

- La **propagation** est une **fonction du temps**

Donc deux composantes du REM nous intéressent particulièrement : la **longueur d'onde** et la **fréquence**.

Longueur d'onde (λ) => **longueur d'un cycle d'une onde**

Distance entre deux crêtes successives d'une onde

λ est la longueur de l'onde dans le vide, elle est mesurée en mètres ou en l'un de ces sous-multiples tels que :

- **nanomètres** => nm, 10^{-9} mètre ;
- **micromètres** => μm , 10^{-6} mètre ;
- **centimètres** => cm, 10^{-2} mètre.

Fréquence => **nombre d'oscillations par unité de temps**.

La fréquence est exprimée en Hertz (Hz), nombre d'oscillations par **seconde** (ou en multiples de Hertz). La formule suivante illustre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence :

$$f (\text{Hz}) * \lambda (\text{km}) = C (\text{km/s})$$

La longueur d'onde et la fréquence sont donc **inversement proportionnelles**, c'est-à-dire que plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et vice versa ! (Figure 5).

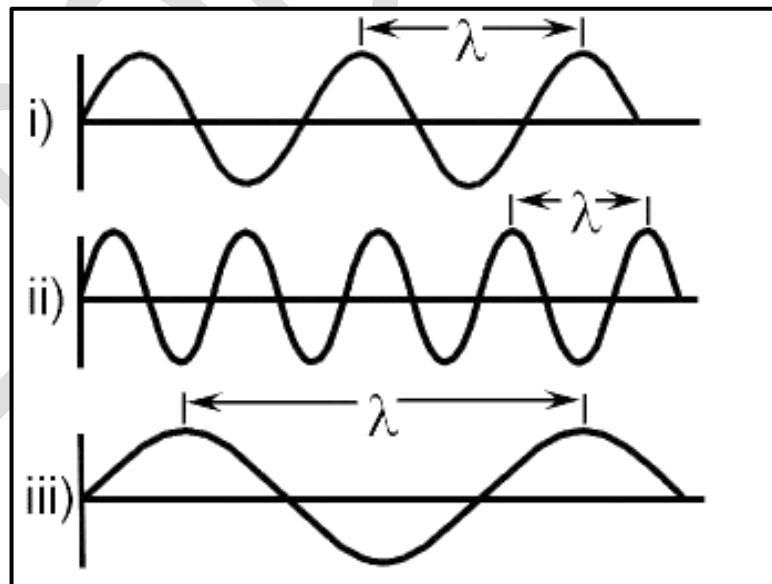


Figure 5 Longueur d'onde et de fréquence

Source : Idem.

On parle de **spectre électromagnétique** pour qualifier l'ensemble des rayonnements.

À chaque rayonnement est associée une longueur d'onde caractéristique !

d) Le spectre électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est un phénomène vibratoire constitué par un ensemble d'onde sinusoïdale appelé « Bandes spectrales », , chaque bande est caractérisée par une amplitude et une fréquence différentes, et donc par des longueurs d'onde propres. (Figure 6).

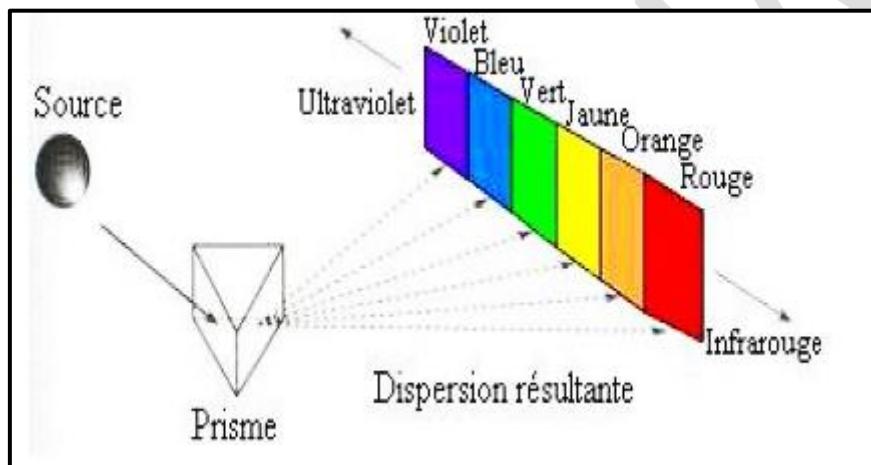


Figure 6 Le spectre électromagnétique

Source : Idem.

- Les ondes électromagnétiques sont **multiples** et **hiérarchisées** dans le spectre électromagnétique, **mais elles sont de même nature**.

Le **spectre électromagnétique** est **continu** depuis les très faibles valeurs : rayons gamma, jusqu'aux très hautes valeurs : ondes radio, télé, etc... **Cette séparation est d'ordre purement technologique.** (Figure 7).

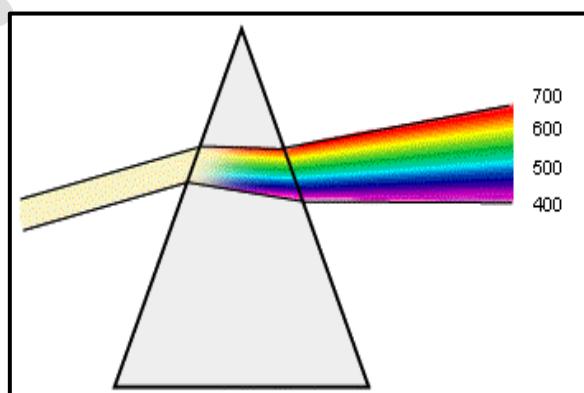


Figure 7 Longueur d'onde et de fréquence

Source : Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection

Les longueurs d'onde se regroupent en **domaines** comme :

- Le Visible, le Proche Infra-Rouge, les Rayons X, etc...

Le **rayonnement solaire** est appelé rayonnement **incident**.

❖ Pour l'observation de la Terre, on s'intéresse aux domaines suivants :

- **Le visible**
- **Le proche infra-rouge (PIR)**
- mais aussi aux :
- **moyen infra-rouge (MIR) ;**
- **infra-rouge thermique (IRTh) ;**
- **micro-ondes**
- et **L'ultraviolet.** (Figure 8).

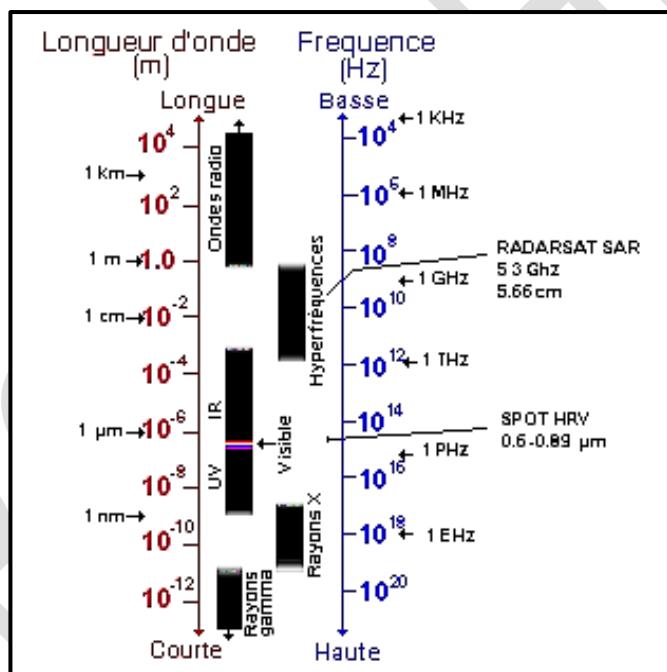


Figure 8 Longueur d'ondes du visible.
Source : Op. Cit

- **Le visible** est donc la partie du spectre que l'on voit (0,4 à 0,7 μ m.)

Dans ce domaine une variation de longueur d'onde se traduit, pour l'œil, par un changement de couleur. La couleur qui possède la plus grande longueur d'onde est le rouge, alors que le violet a la plus courte.

Si λ croît de 430 nm à 490 nm, on passe du **violet** au **bleu** en passant par l'indigo (450 nm). (Figure 9).

La lumière blanche se **décompose** en passant au travers d'un prisme (ou d'une goutte d'eau) comme suit :

- **Violet** : 0.400 - 0.446 μm
- **Bleu** : 0.446 - 0.500 μm
- **Vert** : 0.500 - 0.578 μm
- **Jaune** : 0.578 - 0.592 μm
- **Orange** : 0.592 - 0.620 μm
- **Rouge** : 0.620 - 0.700 μm

Le prisme **renvoie** la lumière de façon différente selon les longueurs d'onde. La couleur d'un objet ne correspond qu'exceptionnellement à une seule longueur d'onde (rayonnement monochromatique) en général : c'est un mélange de longueurs d'ondes différentes.

- **L'infrarouge** est 100 fois plus étendu que le domaine du visible.

Il se divise en 2 parties : l'**IR réfléchi** et l'**IR émis** (ou **IR thermique**).

- **L'IR réfléchi** comprend le : Proche infrarouge **PIR** de 0,75 μm à 1,5 μm et le moyen infrarouge **MIR** de 1,5 μm à 3 μm .
- **L'IR émis** comprend le : l'IR thermique **IRTh** de 3 μm à 15 μm (C'est la chaleur émise par la surface de la Terre et l'**IR lointain** jusqu'à 1 mm).
- Au-delà de la télédétection, sont les **hyperfréquences** encore appelées micro-ondes (1 mm à 1 m). En Hyperfréquences, les longueurs d'onde :
 - Les plus **courtes** ont des propriétés semblables à celle de l'IRTh ;
 - LES plus **longues** ressemblent aux ondes radio.
- Domaine encore peu étudié, l'**ultraviolet** est avant le visible.
Il permet la détection de certaines roches et minéraux qui entrent en **fluorescence** ou **émettent** de la lumière visible quand ils sont illuminés par un rayonnement ultraviolet.

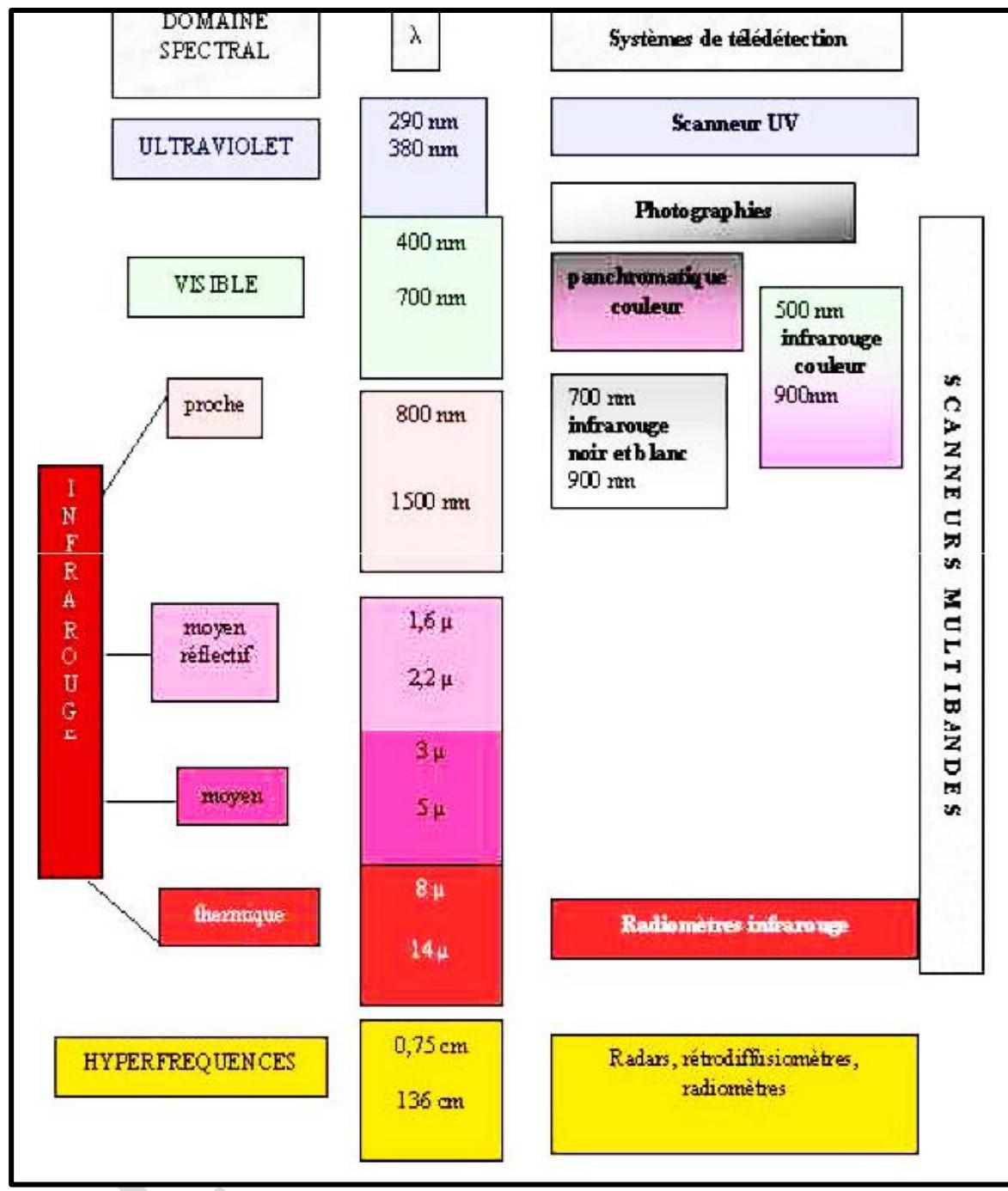


Figure 9 Scanner multibandes.

Source : Op. Cit

Test de compréhension

Question n°1. Laquelle ou lesquelles de ces phrases sont exactes :

- | | |
|---|--|
| a) Plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est haute. | c) La propagation du REM est rectiligne dans l'atmosphère |
| b) Plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est basse. | d) Les longueurs d'onde du visible sont plus courtes que celles de l'infra rouge |

Question n°2. Laquelle de ces quatre "longueurs d'onde" est la plus longue :

- | | |
|-----------|------------------|
| a) le PIR | c) l'ultraviolet |
| b) le MIR | d) le visible |

1.1.6. La traverse de l'atmosphère

a) Interactions avec l'atmosphère

Lors de son trajet, le rayonnement électromagnétique traverse une **certaine épaisseur d'atmosphère**. Les particules et les gaz qui sont présent dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident par le mécanisme de **diffusion** et **d'absorption**.

b) La diffusion atmosphérique

Encore appelée **diffusion gazeuse** : réflexion d'une partie du rayonnement dans des directions aléatoires due à la composition granulaire de l'atmosphère.

Le **niveau de diffusion** dépend de :

- La **longueur d'onde** ;
- La **densité** de particules et de molécules ;
- L'**épaisseur** de l'atmosphère.

Il existe **trois types de diffusion**, la diffusion :

- **La diffusion de Rayleigh**
- **La diffusion de Mie**
- **La diffusion non sélective**

La diffusion de Rayleigh : Se produit lorsque la taille des particules est inférieure à λ du REM. Celui-ci est surtout dévié :

- Par des molécules gazeuses (azote, oxygène, ...);
- Sur les plus petites particules de poussière ;
- Dans les plus courtes longueurs d'onde :
 - Diffusion 10 fois plus faible à 890 nm (PIR) qu'à 500 nm (bleu-vert)
 - Diffusion 16 fois plus faible à 890 nm (PIR) que dans l'UV
- Dans les plus **hautes couches de l'atmosphère**.

=> Explication du ciel bleu et du soleil rouge bas sur l'horizon (épaisseur atmosphérique => nb de molécules diffusantes).

La lumière bleue (450 nm) est diffusée 6 fois plus que la rouge (700 nm) à cause de la traversée oblique de l'atmosphère (épuration des rayons bleus).

Donc, ce sont les plus grandes longueurs d'onde qui pénètrent le plus dans l'atmosphère.

La **correction de la diffusion de Raleigh** est assez facile à l'aide des paramètres météo, radiométriques, etc. car la composition moléculaire est très stable.

On corrige surtout les faibles longueurs d'onde.

La diffusion de Mie : Se produit quand la **taille des particules** est **peu différente** de la λ du REM. Celui-ci est surtout dévié par des aérosols (poussières, pollens, fumées) et des gouttes d'eau.

– L'interaction des particules sur le REM varient lentement avec la λ
Ici, la diffusion diminue seulement **d'1 facteur 2** entre 890 nm (PIR) et 500 nm (bleu-vert).

La diffusion de Mie affecte surtout les **grandes longueurs d'onde** ; la taille des particules liquides ou solides diffusantes est inférieure au μm . Elle se produit surtout dans les **basses couches de l'atmosphère**. Là où elles sont les plus abondantes !
Cette diffusion domine sous des ciels ennuagés.

La **correction de la diffusion de Mie** est plus complexe, car il faut prendre en compte: l'épaisseur optique et la nature des aérosols (poussières de ciment, d'arsenic, volcanique, etc.).

Sous certaines conditions, **approximation de la réflectance des aérosols** à l'aide du PIR ou du MIR sur des surfaces d'eau calmes.

- **Diffusion non sélective** : Ce genre de diffusion se produit lorsque les particules (les gouttes d'eau et les grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement.

La **taille des particules** est **>** que la λ du REM

La **diffusion non sélective affecte toutes les longueurs d'onde**. (Figure 10).

Le REM est surtout dévié par des

- "Gros" aérosols (poussières ...);
- Grosses gouttes d'eau.

Nous appelons ce genre de diffusion "non sélective", car toutes les ondes sont dispersées. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc (lumière **bleue** + **verte** + **rouge** = **lumière blanche**). C'est pourquoi le brouillard et les nuages nous paraissent blancs.

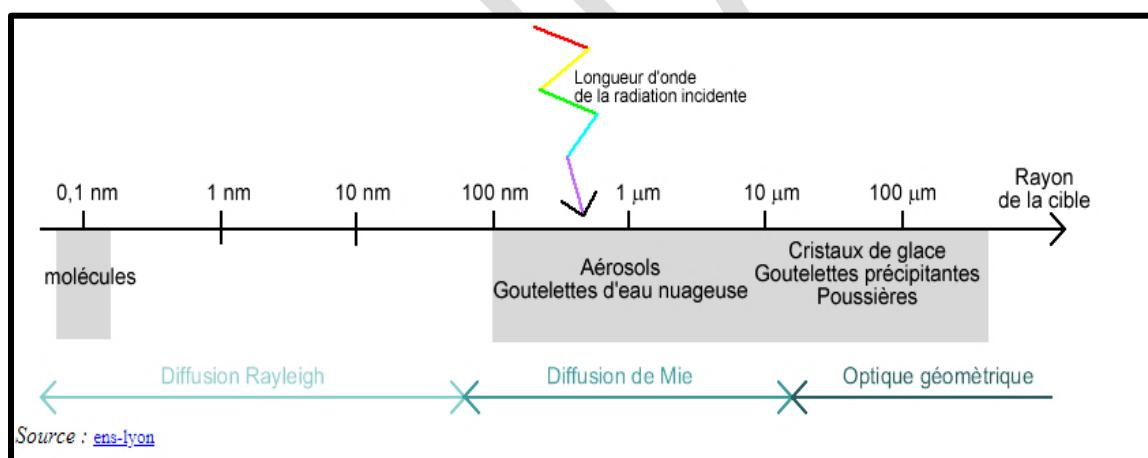


Figure 10 Diffusion sur les particules nuageuses

Source : Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection

c) L'absorption et la transmission

L'atmosphère est opaque au rayonnement électromagnétique sur de larges portions du spectre. L'absorption survient lorsque les grosses molécules de l'atmosphère (ozone O₃, bioxyde de carbone CO₂ et vapeur d'eau H₂O) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde.

- **L'ultraviolet** : L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Sans cette couche de protection dans l'atmosphère, notre peau brûlerait lorsqu'elle est exposée au Soleil.
- **Le visible** : C'est dans la fenêtre du visible que se situe le maximum de l'énergie solaire arrivant sur terre. Environ 75% de l'énergie solaire atteignant les couches supérieures de l'atmosphère arrive à la surface de la terre. On constate cependant des bandes de faible absorption dues à l'ozone vers $0,6\mu\text{m}$, à l'oxygène et à la vapeur d'eau entre $0,69$ et $0,76\mu\text{m}$.
- **L'infrarouge** : Le CO₂ est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère. Dans l'infrarouge thermique il existe des bandes d'absorption très fortes dues à la vapeur d'eau et CO₂. Entre $8,0$ et $9,2\mu\text{m}$ et entre $10,2$ et $12,4\mu\text{m}$, ces deux fenêtres correspondent à la région d'émission normale de la terre. Ces deux fenêtres sont séparées par la bande d'absorption de l'ozone centrée sur $9,6\mu\text{m}$. Pour une détection de basse altitude, on néglige cette bande d'absorption à cause de la localisation de l'O₃ dans les couches supérieures de l'atmosphère.

Il convient donc de retenir que :

- **L'absorption est totale** dans l'UV jusqu'à $0,3\mu\text{m}$ (grâce à l'ozone)
- **La transmission est très bonne** dans le **visible** et le **PIR**
- Et que dans le **MIR** et l'**IRL** seules quelques fenêtres sont utilisables.

On utilisera par exemple les fenêtres situées entre :

- $1,5$ et $1,8\mu\text{m}$ et entre $2,05$ et $2,4\mu\text{m}$ pour la détection des changements d'humidité dans la végétation.

- 3 et $5\mu\text{m}$ (fenêtre utile pour le suivi des feux de forêt, les laves volcaniques, l'industrie lourde...)
- 8 et $14\mu\text{m}$
- Dans l'IR lointain, entre $22\mu\text{m}$ et 1 mm , l'agitation moléculaire liée à la vapeur d'eau rend la télédétection impossible. La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde et des hyperfréquences de petites longueurs d'onde qui entrent dans l'atmosphère.

La présence d'eau dans la partie inférieure de l'atmosphère varie dans l'espace et le temps. Par exemple, une masse d'air au-dessus d'un désert contient très peu de

vapeur d'eau pouvant absorber de l'énergie, tandis qu'une masse d'air au-dessus des tropiques contient une forte concentration de vapeur d'eau. (Centre Canadien de Télédétection).

- Enfin dans les hyperfréquences, au-delà de 2 cm, l'atmosphère ne présente pas d'absorption marquée donc les ondes radars traversent les nuages.

Parce que ces gaz et ces particules absorbent l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre, ils influencent le choix de longueurs d'onde utilisées en télédétection.

Les **régions du spectre qui ne sont pas influencées** de façon importante par l'**absorption atmosphérique**, et qui sont donc utiles pour la télédétection, sont appelées les **fenêtres atmosphériques**.

En comparant les caractéristiques des deux sources d'énergie les plus communes (le Soleil et la Terre) avec les fenêtres atmosphériques disponibles, nous pouvons identifier les longueurs d'onde les plus utiles pour la télédétection. La portion visible du spectre correspond à une fenêtre et au niveau maximal d'énergie solaire. Notez aussi que l'énergie thermique émise par la Terre correspond à une fenêtre située à près de $10\text{ }\mu\text{m}$ dans la partie de l'infrarouge thermique du spectre. Dans la partie des hyperfréquences, il existe une grande fenêtre qui correspond aux longueurs d'onde de plus de 1 mm. (Figure 11).

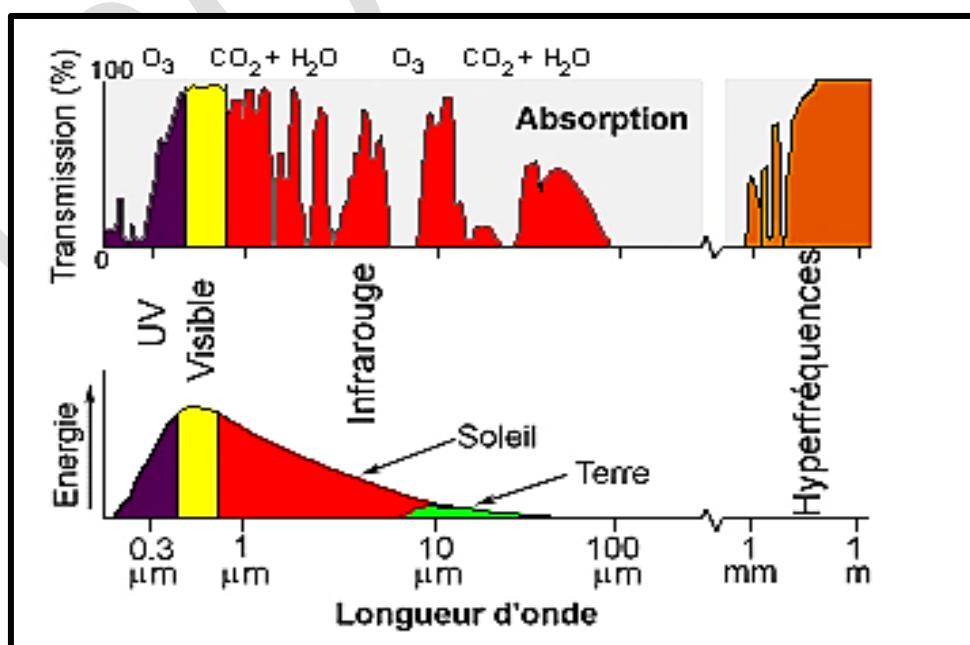


Figure 11 Composition gazeuse de l'atmosphère et fenêtres d'absorption et de transmission

Source : Op.cit.

Conclusion

- Plus un **REM** est **court** plus il est susceptible d'être **diffusé**
- Tous les rayonnements du visible sont diffusés par les nuages
- Les nuages n'ont pas une action de filtres spectraux
- Les visées obliques ont une faible incidence sur les réflectances décrites
- Si la visée passe de 0° à 27° (cas de SPOT), l'accroissement de l'effet atmosphérique n'est que de 5% par rapport à une visée verticale
- La télédétection ne peut exploiter que certaines fenêtres atmosphériques.

Test de compréhension.

Question n°1. Si la taille des particules rencontrées par le REM est très petite par rapport celui-ci, quelle partie du REM est diffusée :

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| a) les courtes longueurs d'onde | c) les longueurs d'onde du visible |
| b) les grandes longueurs d'onde | d) toutes les longueurs d'onde |

Question n°2. Si le ciel est bleu, c'est de la faute de la diffusion :

- | | |
|---------------|---------------------------------|
| a) de Raleigh | c) non sélective |
| b) de Mie | d) des grandes longueurs d'onde |

Question n°3. Pour la Terre, le domaine du visible est majoritairement dans une fenêtre :

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| a) d'absorption | c) d'émission |
| b) de transmission | d) aucune de ces propositions |

I.1.7. Les interactions

a) Quelques définitions des propriétés du REM

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagir avec la surface de la Terre.

C => réponse de la cible (dépend des propriétés de surface de celle-ci).

- **Interaction entre le REM et la cible : Déviation ou blocage sur la cible.**

Le rayonnement incident peut être : **Absorbé (A)**, **Réfléchi (R)** et/ou **Transmis (T)**

(Avec **réfraction**. syn. de déviation).

$$A + R + T = 1$$

L'énergie incidente totale interagira avec la surface de la cible selon l'un ou l'autre de ces trois modes d'interaction ou selon leur combinaison. La proportion de chaque interaction dépend de la longueur d'onde de l'énergie, ainsi que de la nature et des conditions de la surface. (Figure 12).



Figure 12 Mode d'interaction

Source : Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection

- **L'absorption (A)** : tout corps qui reçoit un rayonnement incident peut en absorber une partie cette partie absorbée modifie son énergie interne, il s'échauffe
 - **La transmission (T)** lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible. Le changement de milieu lié à la transmission entraîne une **réfraction**.
 - **La réflexion (R)** lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement. En télédétection, nous mesurons le rayonnement réfléchi par une cible.
- Quand l'énergie est solaire et que la surface irradiée est planétaire (terrestre...), la réflectance est appelée **Albedo**.

On distingue deux types de réflexion selon la surface de la cible : La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse**.

Une surface lisse produit une **réflexion spéculaire**, c'est-à-dire que toute l'énergie est redirigée dans une même direction (comme c'est le cas d'un miroir). (Figure 13).

La réflexion diffuse se produit quand la surface est rugueuse, ce qui redirige l'énergie uniformément dans toutes les directions.

La plupart des objets de la surface terrestre se situent entre ces deux extrêmes.

(Figure 14).

Un réflecteur peut être **lambertien** (surface parfaitement diffusante, égale dans toutes les directions), **spéculaire** ou, comme souvent en télédétection, un cas intermédiaire.

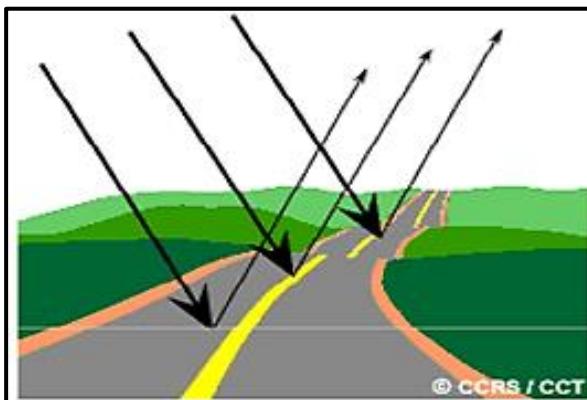


Figure 13 : réflexion spéculaire

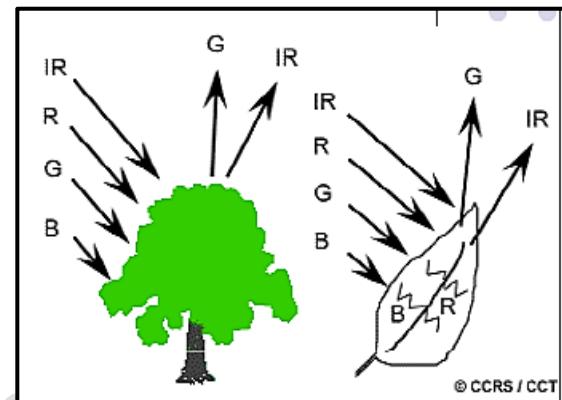


Figure 14 La réflexion diffuse

Source : Op.cit.

- **Dans les feuilles** : la chlorophylle, est une molécule qui absorbe fortement le rayonnement aux longueurs d'onde du rouge et du bleu, mais réfléchit le vert. Les feuilles, qui contiennent un maximum de chlorophylle en été, sont donc plus vertes pendant cette saison.

En automne, les feuilles qui contiennent alors moins de chlorophylle, absorbent moins de rouge, et paraissent donc rouges ou jaunes (le jaune est une combinaison des longueurs d'onde du vert et du rouge). La structure interne des feuilles en santé agit comme un excellent réflecteur diffus pour les longueurs d'onde de l'infrarouge, c'est pour cela les scientifiques utilisent d'ailleurs l'infrarouge pour déterminer l'état de santé de la végétation.

- **L'eau** : l'eau absorbe davantage les grandes longueurs d'onde du rayonnement visible et du proche infrarouge. Ainsi, l'eau paraît généralement bleue ou bleu-vert car elle réfléchit davantage les petites longueurs d'onde, elle paraît encore plus foncée si elle est observée sous les longueurs d'onde du rouge ou du proche infrarouge.

Lorsque les couches supérieures de l'eau contiennent des sédiments en suspension, la transmission diminue, la réflexion augmente et l'eau paraît plus brillante. La couleur de l'eau se déplacera légèrement vers les plus grandes longueurs d'onde. Nous confondons parfois l'eau qui contient des sédiments en suspension avec l'eau peu profonde et claire. La chlorophylle dans les algues absorbe plus de bleu et réfléchit plus de vert. L'eau paraît donc plus verte quand elle contient des algues. (Figure 15).

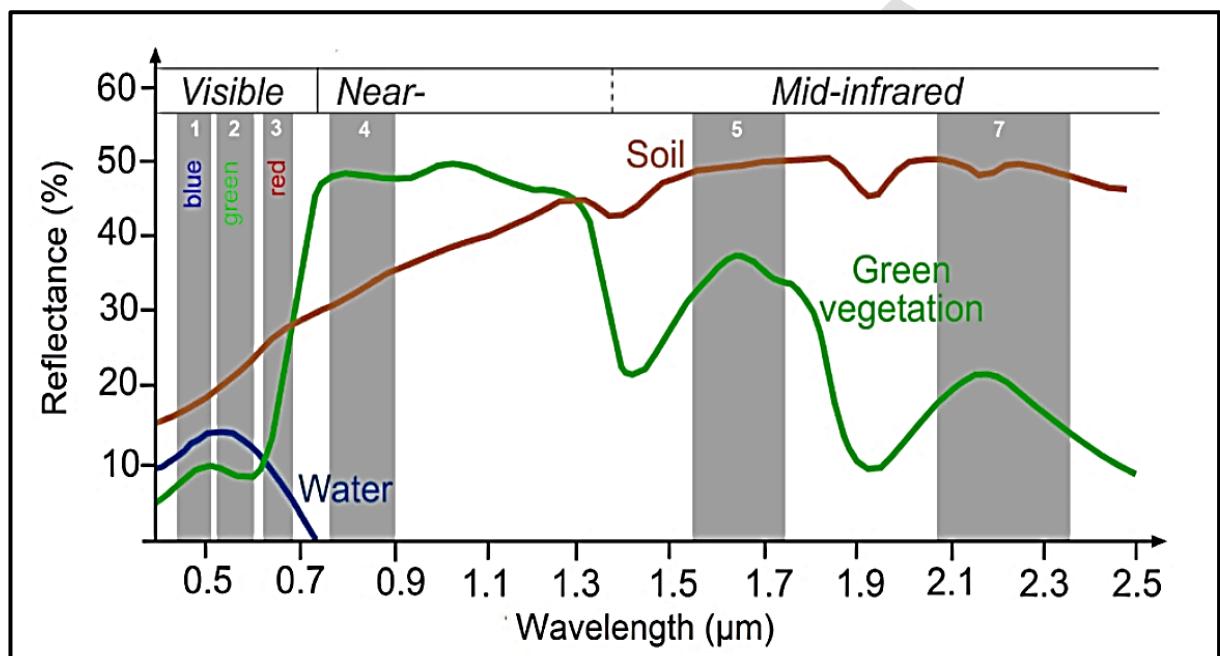


Figure 15 Les signatures spectrales du sol, de l'eau et de la végétation

Source : N.AKDIM (2017)

Enfin, on parle également de :

- **Émission** : tout corps dont la température est $> 0^{\circ}\text{K}$ émet un rayonnement électromagnétique. Ce corps est appelé source.
- **Absorption** élève la température du corps et modifie la longueur d'onde d'émission.
- **Diffraction** : c'est un effet de bordure qui dévie les rayonnements frappant un objet. S'accompagne souvent d'une dispersion spectrale (sauf si rayonnement monochromatique).

b) Le cas de l'émission

On connaît certains émetteurs comme le soleil ou les lampes en fait tout corps dont la **température** est **supérieure** à **0°K** est un **émetteur** de REM. (rayonnement électromagnétique).

Une source d'énergie électromagnétique est caractérisée par la répartition spectrale du rayonnement qu'elle émet :

- **spectre continu** : l'énergie varie de façon continue avec λ
- **spectre de raies** : l'énergie est concentrée sur un certain nombre de raies spectrales

La plupart des émetteurs que l'on connaît sur Terre sont à spectre continu.

Ils s'approchent d'un modèle théorique appelé **corps noir**.

On a vu dans la loi de la transformation de l'énergie que : $A + T + R = 1$

Si un corps absorbe tous les rayonnements incidents, alors : $A = 1$ et $T + R = 0$

Ce corps est appelé **corps noir**.

❖ **Les Corps noirs** : à son tour, ce corps **réémet** un REM dont l'intensité et la fréquence dépendent de son énergie interne : sa **température**. (Figure 16).

Il en découle différentes lois physiques (cf. **BARIOU** p.8), dont celle de **Wien** qui dit que :

"Plus la température d'un corps noir est élevée plus il émet dans de courtes longueurs d'onde"

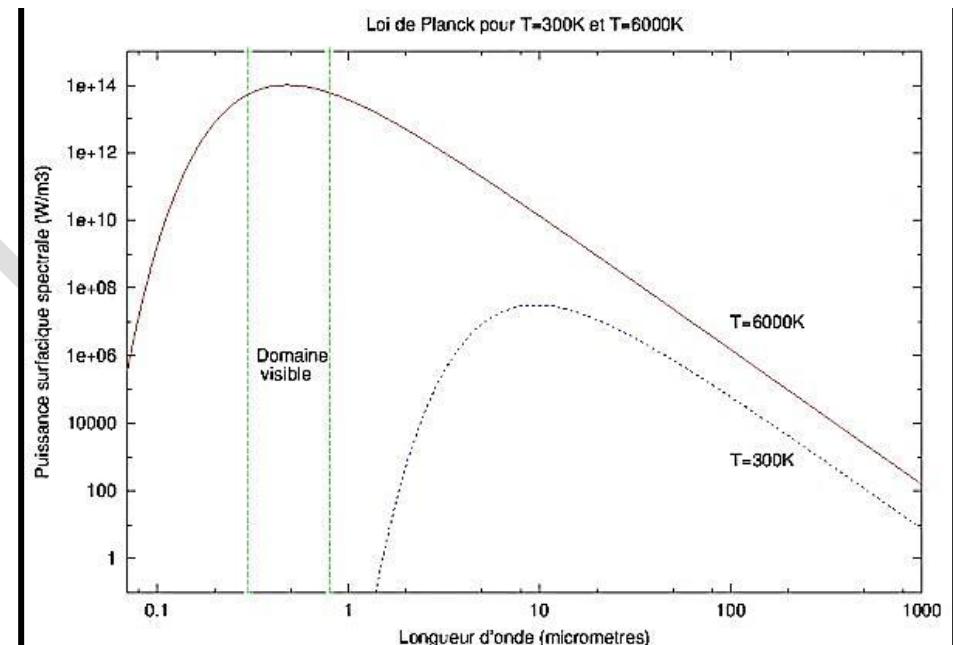


Figure 16 Émission en fonction des températures du soleil ($T=6\,000\text{K}$) et de la Terre ($T=300\text{K}$) - courbes de Planck. Source : ens-lyon

Le **Soleil** peut être considéré comme un corps noir à 6 000°K, son maximum d'émission est aux alentours de 500 nm (**vert-jaune**), c'est-à-dire au voisinage de la sensibilité maximale de l'œil humain (550 nm).

La **Terre** a une température moyenne proche de 300°K, son maximum d'émission est aux alentours de 9 500 nm (IRTh). La plupart des surfaces naturelles ne se comportent pas comme des corps noirs, où $R + T < 0$, mais plutôt comme des **corps gris**.

Les corps gris n'absorbent qu'une partie du rayonnement et leur émissivité est plus faible.

L'eau, le basalte et le bitume ont des comportements proches des corps noirs surtout pour les grandes longueurs d'onde.

❖ **Perturbations dues à l'émission atmosphérique.**

On a vu que l'atmosphère absorbait une certaine quantité d'énergie incidente. Cette **énergie est transformée en chaleur qui se traduit par un rayonnement propre de l'atmosphère**.

Globalement, **l'atmosphère perturbe le REM incident et réfléchi du sol.**

Donc le REM enregistré est sensiblement différent de celui émis ou réfléchi par l'objet.

En résumé, le REM global mesuré en 1 point quelconque de l'espace est :

- la résultante de **tous** les rayonnements (émis, réfléchis, diffusés)
- venant de **toutes** les directions
- pour **toutes** les longueurs d'onde d'où la complexité des grandeurs énergétiques à mesurer en télédétection.

c) **Rappel sur les quantités énergétiques (notions de photométrie)**

Les termes les plus utilisés sont la **luminance** énergétique et la **réflectance**.

Luminance : quantité d'énergie (intensité), par unité de surface et selon une direction donnée s'exprime en **W/ (m². sr)**. C'est une valeur de flux réfléchi (cf. [CASSANET](#) p.37-38)

- **Qu'est-ce donc que le stéradian (str) ?** Le stéradian est l'**angle solide d'un cône** qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté une longueur égale au rayon de la sphère.

Réflectance, réflectivité, ou albedo : rapport du flux réfléchi (luminance) sur le flux incident (éclairement) s'exprime en général en **%**.

Rappelons que :

- Les données numériques primitives sont souvent appelées : **Comptes numériques (CN)**,
- Ce sont en fait des **Luminances apparentes (La)**
- Après correction d'égalisation des détecteurs, elles deviennent des : **Luminances vraies (Lv)**.
- Après introduction des paramètres exo-atmosphériques, elles deviennent des : **Réflectances exo-atmosphériques (Rea)**.



Elles ne tiennent pas encore compte des phénomènes de diffusions atmosphériques (que de l'éclairement solaire hors atmosphère).

Lesquelles utiliser ?

- Souvent des **Luminances apparentes**,
- Préférable d'utiliser des **Luminances vraies** (dans la plupart des cas),
- Passage en réflectance pour comparer des données différentes (spatialement, chronologiquement, de terrain...).

Test de compréhension

Question n°1.4.1. Qu'est-ce qui peut être Lambertien :

a) la réflexion	c) l'absorption
b) la diffusion	d) la transmission

Question n°1.4.2. Dans quel cas le REM peut être réfracté, lors de :

a) la réflexion	c) l'absorption
b) la diffusion	d) la transmission

Question n°1.4.3. Quel est le comportement commun d'un corps noir et d'un corps gris ?

a) la réflexion	c) l'absorption
b) la diffusion	d) la transmission

1.2. LES SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE

Tous les satellites ne sont pas des satellites d'Observation de la Terre. L'Observation de la Terre comprend la détection des aspects : de l'atmosphère, des mers, des paysages et des ressources terrestres.

Les satellites d'observation de la Terre varient selon leur type d'orbite, leur charge utile et, du point de vue des instruments d'imagerie, de la résolution spatiale des capteurs, de leurs caractéristiques spectrales et de la largeur de leur bande d'acquisition. Tous ces paramètres sont configurés au début de la phase de définition de la mission en fonction de l'application à laquelle est destiné le satellite.

Pour une surveillance météorologique à grande échelle et avec une fréquence élevée, une orbite géostationnaire est bien adaptée. Sur cette orbite, un satellite conserve en permanence dans son champ de vision un hémisphère presque entier. Toutefois, l'orbite étant très haute (environ 36 000 km au-dessus de la Terre), il est difficile d'obtenir une résolution spatiale élevée. Mais pour des applications comme le suivi des nuages au-dessus des continents, une telle résolution n'est pas nécessaire.

Pour les applications qui nécessitent des images à haute résolution d'une zone très spécifique, comme la surveillance d'un lac de glacier ou la cartographie des immeubles détruits par un séisme, un capteur à haute résolution est nécessaire. Généralement, ce genre de capteur dispose d'une bande d'acquisition étroite et se trouve sur un satellite à basse orbite, appelé LEO pour « Low Earth Orbit » (600 km au-dessus de la Terre dans le cas du satellite QuickBird, par exemple).

Or sur une telle orbite, il n'est pas possible de surveiller en continu la même zone en raison du mouvement relatif du satellite par rapport à la Terre. Les images d'une zone donnée ne peuvent être acquises que lorsque le satellite passe au-dessus d'elle.

I.2.1 Types de satellites

- **Les satellites Géostationnaires** : Tournent en même temps que la Terre, avec une vitesse angulaire de 360° en 24h. et une Altitude de 36 000 km au-dessus la Terre. (Figure 17).

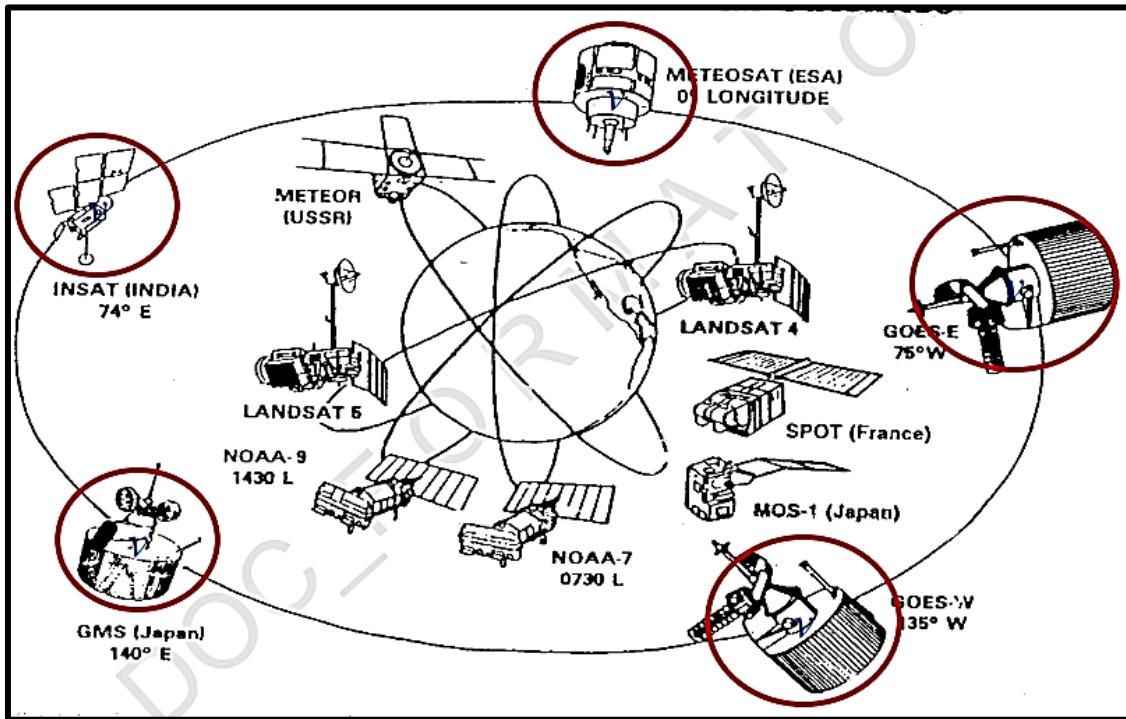


Figure 17 Les satellites Géostationnaires

Source : A. SERRADJ (2018), Séance#1, p22

- **Les satellites à défilement** : se déplacent par rapport à surface de la Terre, leurs orbites sont circulaires à excentriques, l'altitude : entre 800 et 2000 km, la période de révolution < 2 heures et leurs vitesse atteint les 25 000 km/h. (Figure 18).

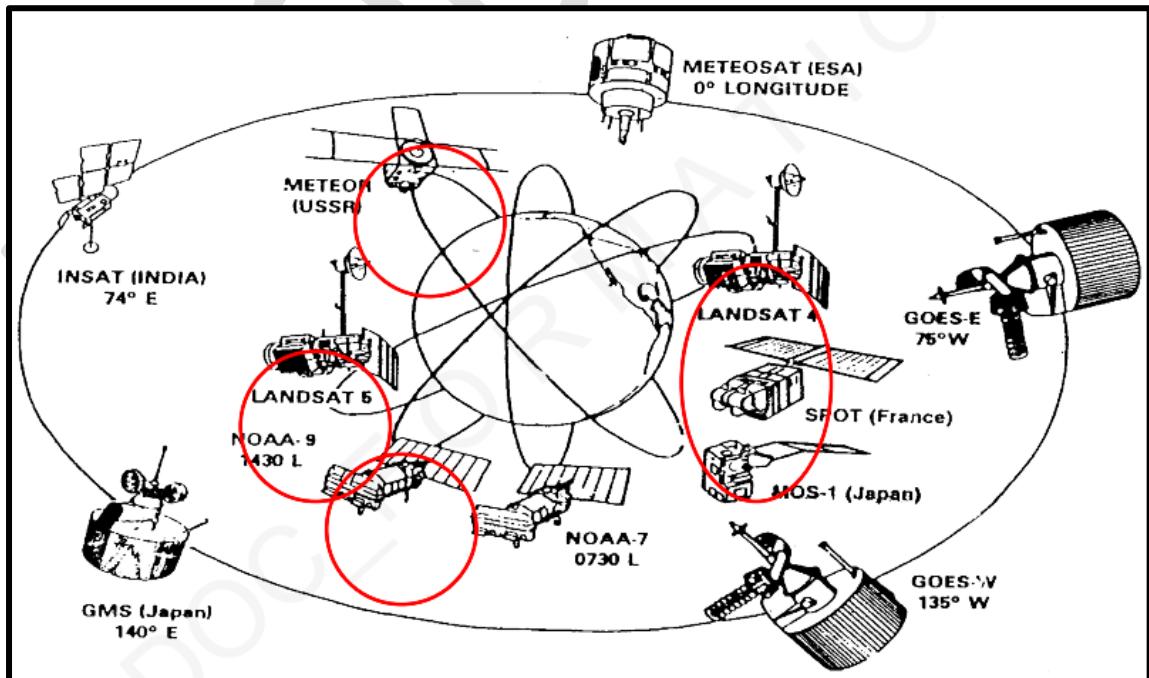


Figure 18 Les satellites à défilement

Source : A. SERRADJ (2018), Séance#1, p24

- **Les satellites à orbite héliosynchrone:** permettent des passages à heure locale constante... entre 9h30 et 11h30. Ils ont un éclairement «presque» semblable... (Figure 19).

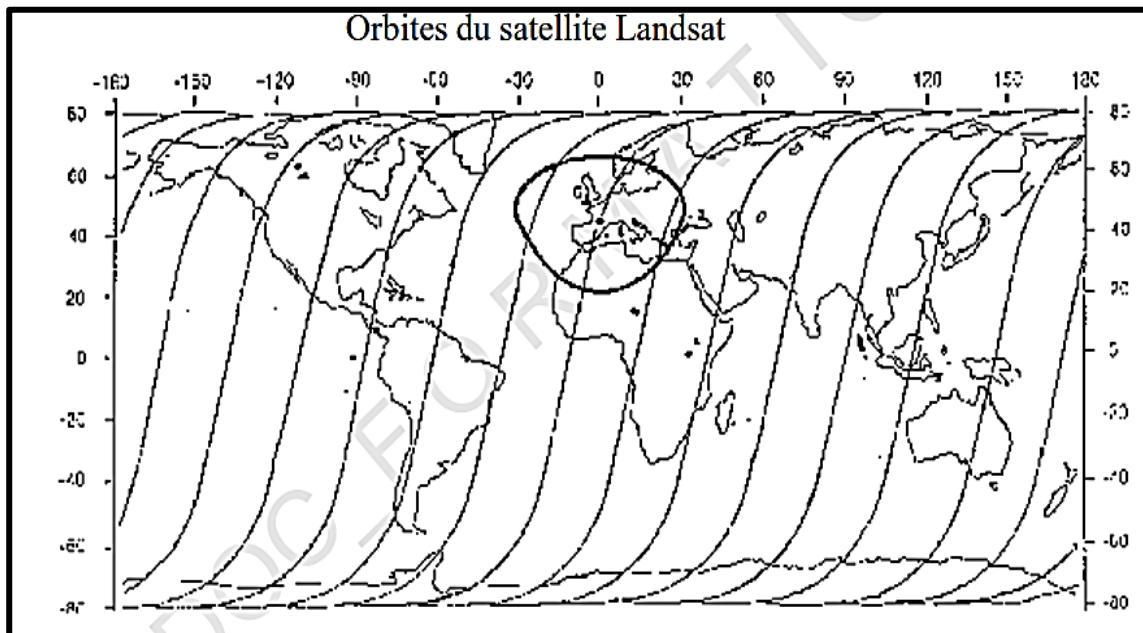


Figure 19 Les satellites à orbite héliosynchrone

Source : A. SERRADJ (2018), Séance#1, p27

I.2.2 Liste non exhaustive des Satellites/Capteurs d’Observation de la Terre

- Landsat_8 (OLI) 30m et 15m
- Landsat-7 (ETM+) 28.5m et 14.25m
- Spot-1 à 4 (HRV) 20m et 10m
- Spot-5 (HRV) 10m, 5m et 2.5m
- Ikonos (THR) 4m et 1m
- Quickbird (THR) 2.8m et 0.7m
- GeoEye-1 (2008) 1.64m et 0.41m
- WorldView-1 et 2 avec 2m et 0.5m, octobre 2009
- RapidEye Satellite Constellation, février 2009, de 5 Satellites, 5m de résolution, avec 5 canaux avec le “RedEdge” (B/V/R/RE/NIR).

a) La série LANDSAT

- **Radiomètre à balayage : Landsat-MSS, TM et ETM+** (Multi-Spectral-Scanner /Thematic-Mapper/ Enhanced-Thematic-Mapper-Plus). (Figure 20).

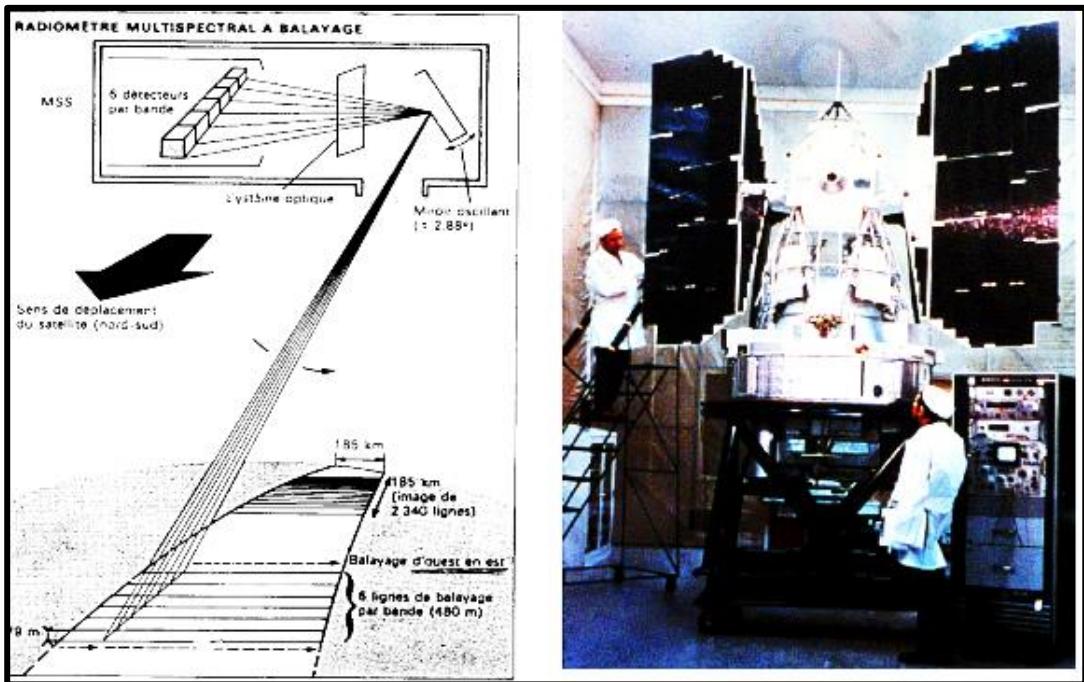


Figure 20 Radiomètre à balayage

Source : A. SERRADJ (2018), Séance#1, p16

- **Le Landsat 8- OLI- Operational Land Imager**

4^e génération de satellites d'observation de la Terre. Cycle orbital de **16 jours (orbite en 98,9 min.)** avec 2 nouveaux capteurs : Operational Land Imager (OLI) et Thermal Infrared Sensor (TIRS). (Figure 20 et 21). (Tableau 2).

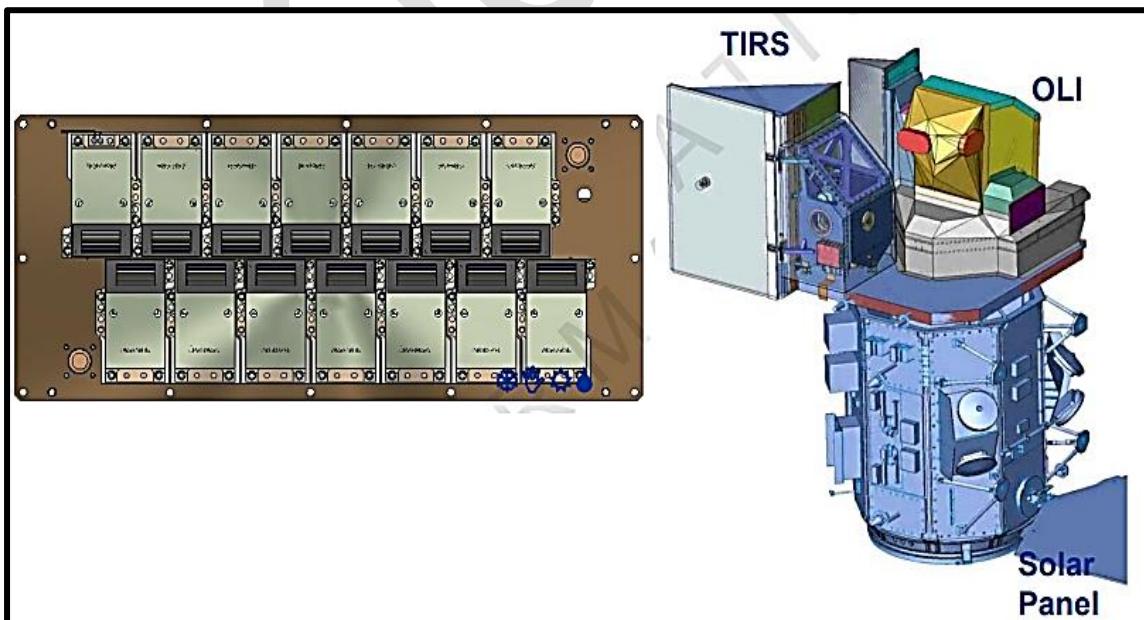


Figure 21 Radiomètre « whiskbroom » : Landsat_8_OLI

Source : A. SERRADJ (2018), p17

Tableau 2 Caractéristiques du capteur OLI et TIRS de Landsat 8

Satellite	Capteur	Bandé	λ en μm	Amplitude	Résolution spatiale
Landsat 8	OLI	Band 1 Visible	0.43 - 0.45	0,02	30
		Band 2 Visible	0.45 - 0.51	0,06	30
		Band 3 Visible	0.53 - 0.59	0,06	30
		Band 4 Red	0.64 - 0.67	0,03	30
		Band 5 Near-Infrared	0.85 - 0.88	0,03	30
		Band 6 SWIR 1	1.57 - 1.65	0,08	30
		Band 7 SWIR 2	2.11 - 2.29	0,18	30
		Band 8 Panchromatic (PAN)	0.50 - 0.68	0,18	15
		Band 9 Cirrus	1.36 - 1.38	0,02	30
	TIRS	Band 10 TIRS 1	10.60 - 11.19	0,59	100
		Band 11 TIRS 2	11.50 - 12.51	10,01	100

Sources : USGS

Où se procurer des données Landsat : <http://earthexplorer.usgs.gov>. (Figure 22).

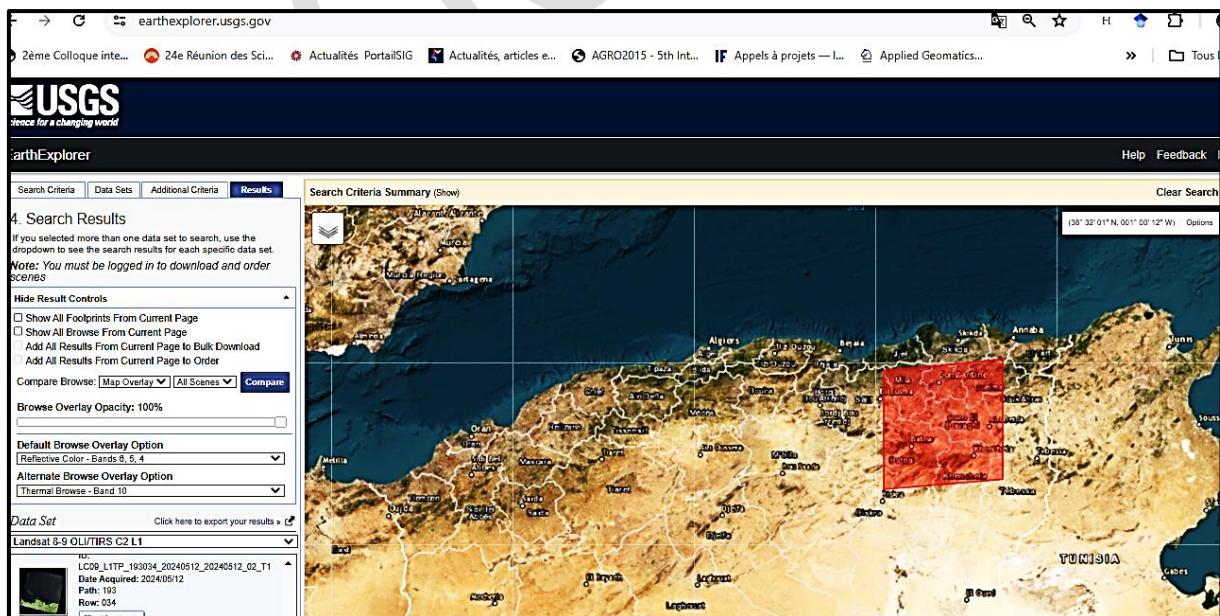


Figure 22 Source d'image Landsat

Sources : <https://earthexplorer.usgs.gov/>

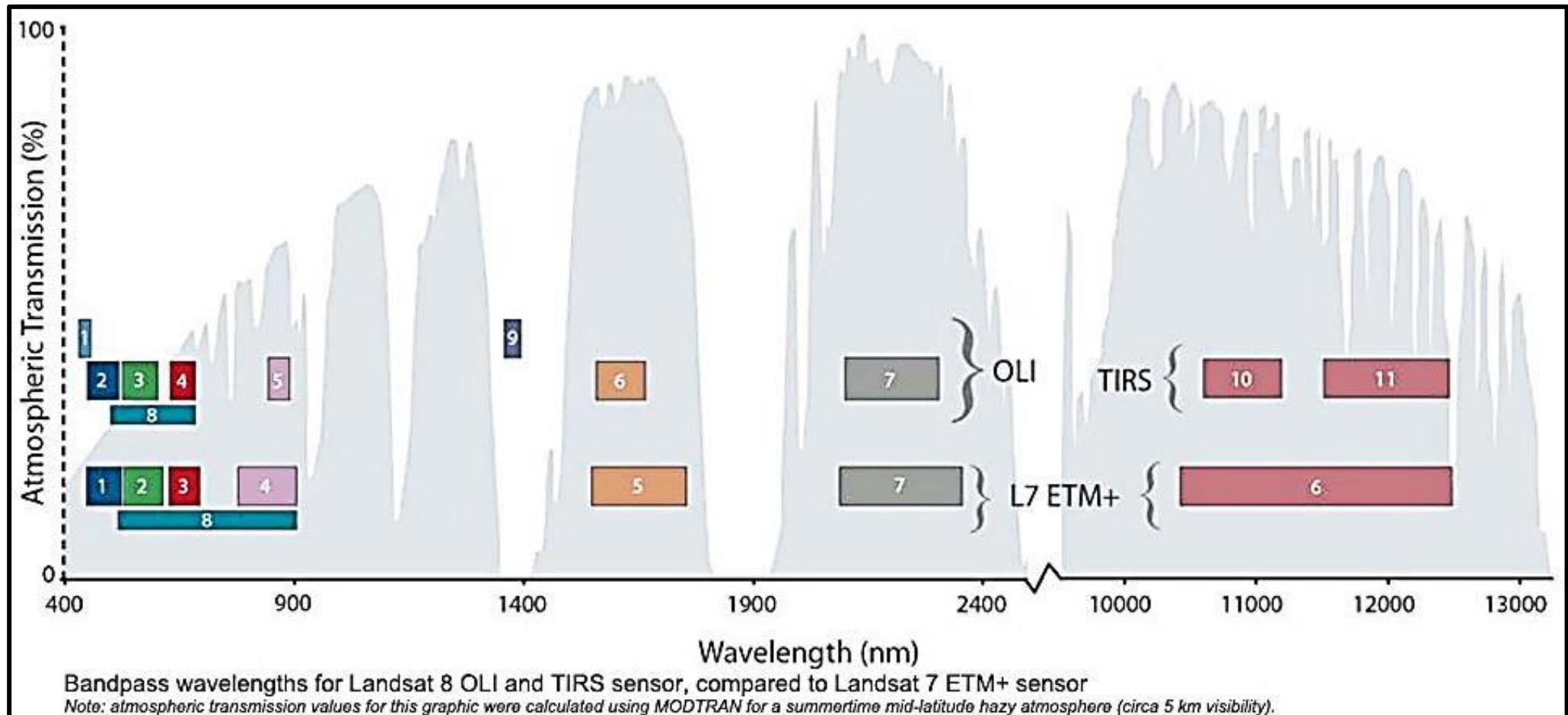


Figure 23 Comparaison des bandes des Landsat 5 TM, 7 ETM+ et Landsat 8 OLI et TIRS.

Sources : USGS

b) Le satellite Sentinel 2

- Lancement : Sentinel-2A => 23 juin 2015, Sentinel-2B => 6 mars 2017
- Délais de revisite : 5 jours (à l'équateur) avec une constellation de deux satellites
- Durée de vie minimum : 7 ans (12 ans de carburant)
- Fauchée : 290 km pour une résolution de 10 à 60 m.
- Capteur : un ensemble de capteur optique passif MSI (Multi Spectral Instrument), détecteur optique sur 13 bandes. (Figure 23). (Tableau 3).

Tableau 3 Longueurs d'ondes des Sentinel-2A et 2B

Résolution spatiale	Numéro de la bande	Satellite Sentinel-2A		Satellite Sentinel-2B	
		Longueur d'onde (nm)	Largeur de bande (nm)	Longueur d'onde (nm)	Largeur de bande (nm)
10m	2	496.6	98	492.1	98
	3	560.0	45	559	46
	4	664.5	38	665	39
	8	835.1	145	833	133
20m	5	703.9	19	703.8	20
	6	740.2	18	739.1	18
	7	782.5	28	779.7	28
	8a	864.8	33	864	32
	11	1613.7	143	1610.4	141
	12	2202.4	242	2185.7	238
60m	1	443.9	27	442.3	45
	9	945.0	26	943.2	27
	10	1373.5	75	1376.9	76

Sources : <https://sentinel2.cnes.fr/fr/instruments-2>

(cf. fiche mémo mem33tel.htm)

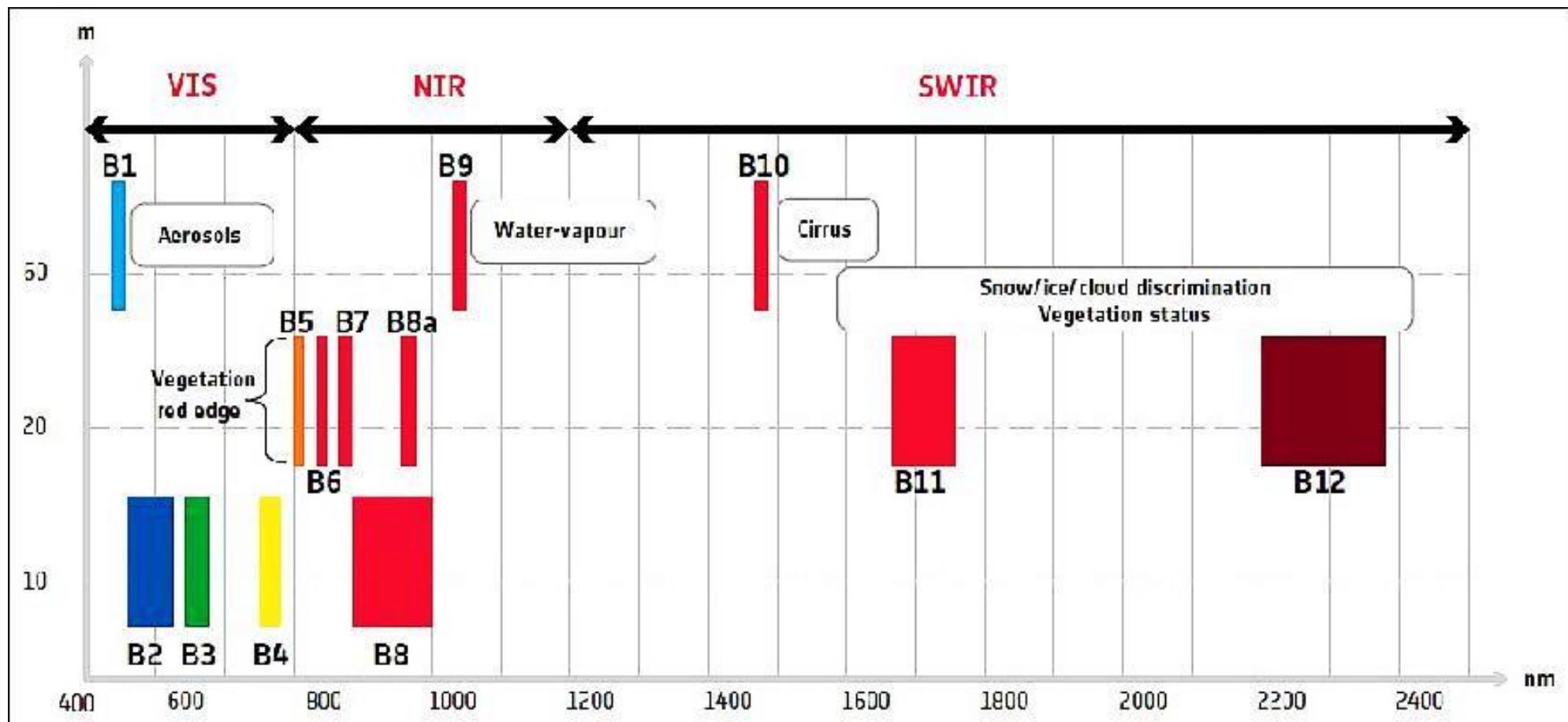


Figure 24 Résolution spatiale et bandes spectrales du capteur MSI de Sentinel 2

Sources : <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2> (fig. 119)

I.3 CARACTÉRISTIQUES DES CAPTEURS

I.3.1 Télédétection passive

Jusqu'à maintenant, nous avons vu que le Soleil est une source d'énergie pour la télédétection. L'énergie du Soleil est soit réfléchie (la portion visible) ou absorbée et retransmise (infrarouge thermique) par la cible. Les dispositifs de télédétection qui mesurent l'énergie disponible naturellement sont des capteurs passifs. Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le Soleil illumine la Terre. (Figure 25).

I.3.2 Télédétection active

Un capteur actif produit sa propre énergie pour illuminer la cible. Il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. (Figure 25).

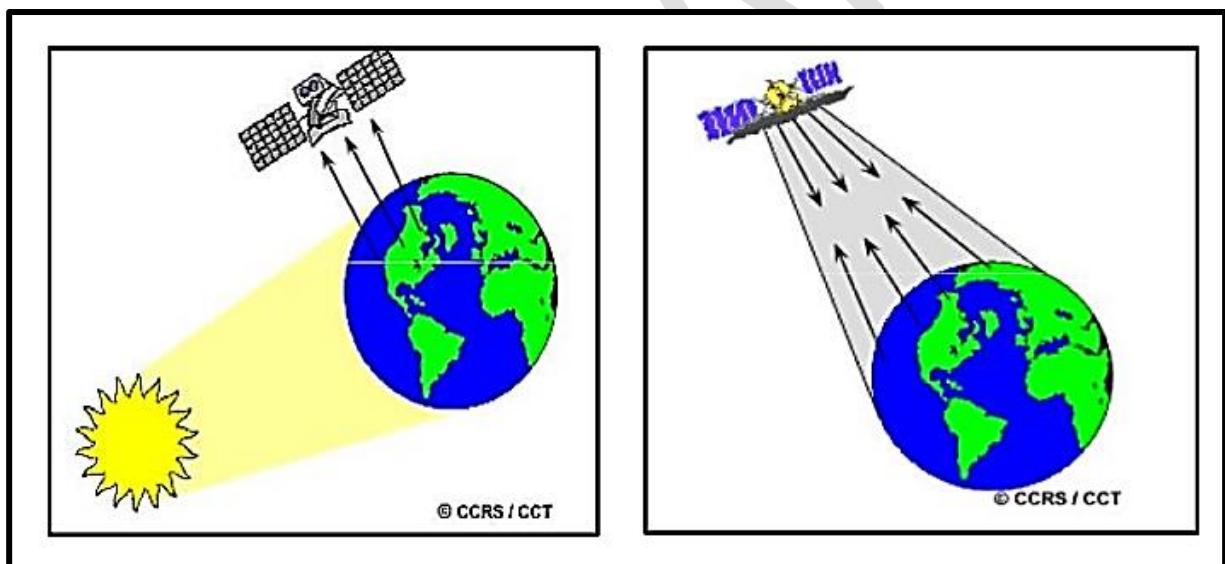


Figure 25 Télédétection passive et active

Source : Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection

I.3.3 Performances des capteurs

Leurs performances des capteurs dépendent des caractéristiques suivantes :

- Spectrales (nombre de bandes spectrales)
- Spatiales (surfaces couvertes par la scène et le pixel)
- Radiométrique (sensibilité des capteurs)
- Temporelles (temps de revisite)

Tableau 4 Caractéristiques d'une image Satellitaire

CAPTEURS	RESOLUTIONS			
	SPATIALE	SPECTRALE micromètre	RADIOMÉTRIQUE	TEMPORELLE
LANDSAT-MSS	80 m 185 km	4 bandes 0.50 - .60 0.60 - .70 0.70 - .80 0.80 - 1.1	8 bit (0 à 63)	16 jours
LANDSAT-TM	30 m 185 km	7 bandes 0.45 - .52 0.52 - .60 0.63 - .69 0.79 - .90 1.55 - 1.75 2.08 - 2.35 10.4 - 12.5	8 bit (0 à 255)	14 jours
LANDSAT-ETM+	30m ou 28,50m 185 km	7 bandes 0.45 - .52 0.52 - .60 0.63 - .69 0.79 - .90 1.55 - 1.75 2.08 - 2.35 10.4 - 12.5 0,52 - 0,90	8 bit (0 à 255)	14 jours
SPOT-XS	20 m 80 km	3 bandes 0.50 - .59 0.61 - .68 0.79 - .89	8 bit (0 à 255)	26 jours
SPOT-P	10 m 80 km	1 bande 0.51 - .73	8 bit (0 à 255)	26 jours
IKONOS-XS	4 m 11 km	4 bandes 0.45 - .52 0.52 - .60 0.63 - .69 0.76 - .90 0.52 - .90	8 bit (0 à 255)	3 jours
IKONOS-P	1 m 11 km	1 bande 0.45 - .90 0.52 - .90	8 bit (0 à 255)	3 jours

Source : A. SERRADJ (2018), Séance#2, p3

a) Caractéristiques spatiales

- À environ 900 km, l'aire élémentaire observable au sol, tâche ou pixel est de :
- 80 m x 80 m pour Landsat_MSS (ré échantillonnée actuellement à 60m x 60m)
 - 30 m x 30 m pour Landsat_TM
 - 28.5 m x 28.5 m pour Landsat_XS_ETM+
 - 14.25 m x 14.25 m pour Landsat_Panchro_ETM+
 - 20 m x 20 m pour Spot_1 à 4_XS
 - 10 m x 10 m pour Spot_1 à 4_Panchro
 - 10 m x 20 m pour Spot_5_XS
 - 5 m x 5 m pour Spot_5_Panchro
 - 2.5 m x 2.5 m pour Spot_5_Panchro_SuperMode
 - 4 m x 4 m pour Ikonos_XS 1 m x 1 m pour Ikonos_Panchro
 - 2.40 m x 2.40 m pour Quick-Bird_XS
 - 0.60 m x .60 m pour Quick-Bird_Panchro
 - 1.65 m x 1.65 m pour GeoEye_XS
 - 0.41 m x .41 m pour GeoEye_Panchro
- Spécificités thématiques de quelques bandes spectrales

Tableau 5 Spécificités thématiques de quelques bandes spectrales

Code	Longueur d'onde (microns)	Couleur	Domaine spectral	Domaines d'utilisation
OLI1 TM1 QB1	0,45-0,52	Bleu	Visible	Cartographie des eaux littorales Différenciation sol/végétation Différenciation feuillus/conifères
OLI2 TM2 QB2 XS1 MSS4	0,56-0,60 0,49-0,59 0,50-0,60 0,50-0,60	Vert Vert Vert-Jaune Vert-Jaune	Visible	Détection de la santé des végétaux Pic de réflectance du vert Chlorophylle
OLI3 TM3 QB3 XS2 MSS5	0,63-0,69 0,61-0,69 0,60-0,70 0,60-0,70	Rouge " " "	Visible	Absorption de la chlorophylle ➔ différenciation des espèces végétales
OLI4 TM4 QB4 XS3 MSS6 MSS7	0,76-0,90 0,80-0,91 0,70-0,80 0,70-0,80 0,80-1,10		PIR	Cartographie de la biomasse Délimitation des plans d'eau
OLI5 TMS	1,55-1,75		IRM-1	Mesure de l'humidité des plantes Différenciation nuage/neige
OLI7 TM7	2,08-2,35		IRM-2	Mesure des altérations végétales dues à la sécheresse.
OLI6 TM6	10,4-12,5		IRT	Cartographie hydrothermale Recherches géologiques

Source : A. SERRADJ (2018), Séance#2, p16

b) Caractéristiques radiométriques

Chacun de ces pixels peut prendre une valeur variant entre

- 0 et 255 (8 bits),
- 0 et 511 (9 bits),
- 0 et 1023 (10 bits),
- 0 et 2047 (11 bits) rarement au-delà pour les images Multispectrales Moyenne Résolution Landsat 1 à 8, Aster, Spot 1 à 4...

Ces différentes étendues de valeurs sont à mettre en relation avec la résolution radiométrique...

Les capteurs recueillent des données par millions, mais sans identifier sous forme de thèmes.

Exemples:

- Landsat-MSS-80m- (4 fois 7,5 Mo de pixels. Scène de 185.2 km x 185.2km soit 34300 km²)
- Landsat-TM-30m (7 fois 38 Mo de pixels. Scène de 185.2 km x 185.2 km)
- Spot-XS-20m- (3 fois 9 Mo de pixels. Scène de 60 km x 60 km)
- Spot-P-10m- (1 fois 36 Mo de pixels. Scène de 60 km x 60 km)
- Ikonos-XS-4m- (4 fois 25 Mo de pixels. Scène de 10 km x 10 km)
- Ikonos-P-1m- (1 fois 1,6 Go de pixels. Scène de 10 km x 10 km)
- QuickBird-XS-2.4m- (4 fois 68 Mo de pixels. Scène de 10 km x 10 km)
- QuickBird-P-0.6m- (1 fois 4,4 Go de pixels. Scène de 10 km x 10 km soit 100 km²)

c) Analyse de quelques comportements spectraux

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère va atteindre la surface de la Terre puis interagir avec les "cibles" ou "états de surface" rencontrés.

1) D'une manière générale.

Quand il y a des **sédiments en suspension** :

- La transmission diminue,
- La réflexion augmente,
 - L'eau voit sa brillance augmenté dans toutes les longueurs d'onde et sa couleur se décaler vers les plus grandes longueurs d'onde.

Il y a un risque de confusion avec les eaux peu profondes et claires (comme si on voyait le fond).

Quand il y a des **algues chlorophylliennes** dans l'eau :

- La chlorophylle réfléchit plus de rayonnement **vert** et absorbe plus de rayonnement **bleu**. Il faut attendre le PIR pour voir la réponse de l'eau l'emporter sur celle de la chlorophylle. (Figure 26).

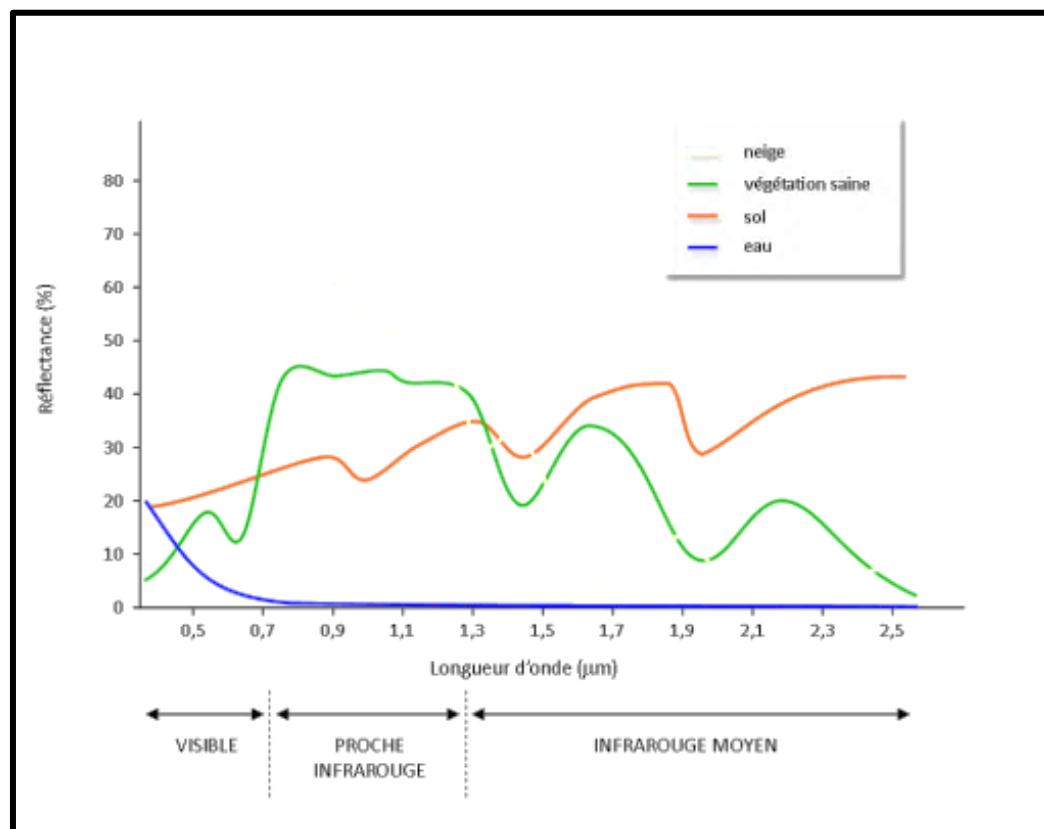


Figure 26 Signatures spectrales de quelques surfaces naturelles dans les domaines dans le visible, le PIR et le MIR

Source : [EnvCAL - UVED](#)

2) D'une manière spécifique.

❖ Pour les végétaux.

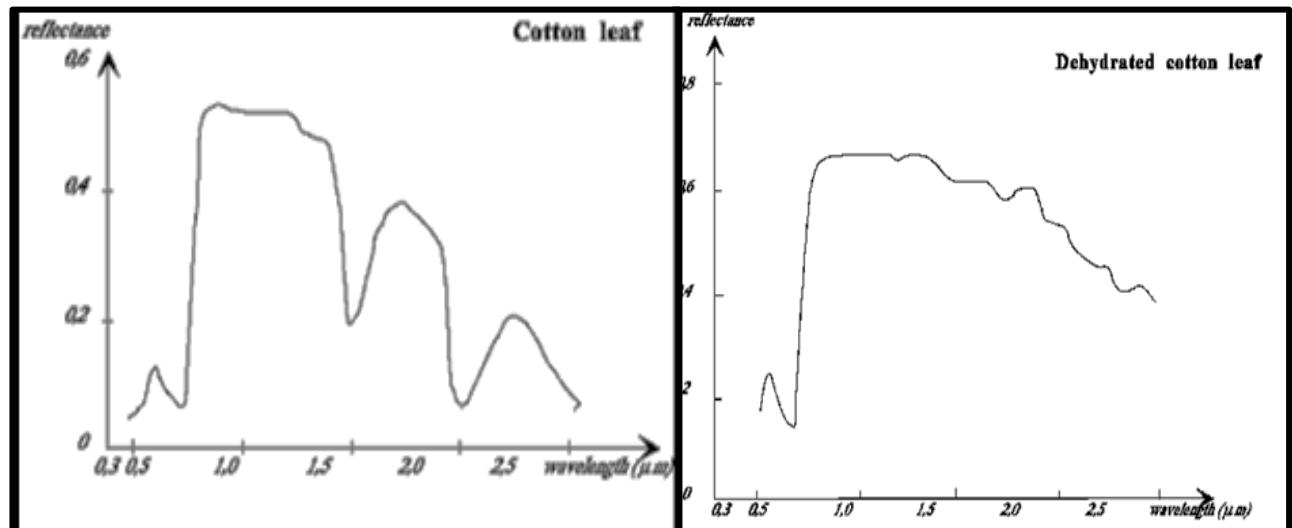


Figure 28 Signature spectrale d'une feuille de coton dans le visible, PIR, MIR.

Figure 27 Signature spectrale d'une feuille de coton déshydratée dans le visible, PIR, MIR.

Source : cf. fiche mémo mem33tel.htm)

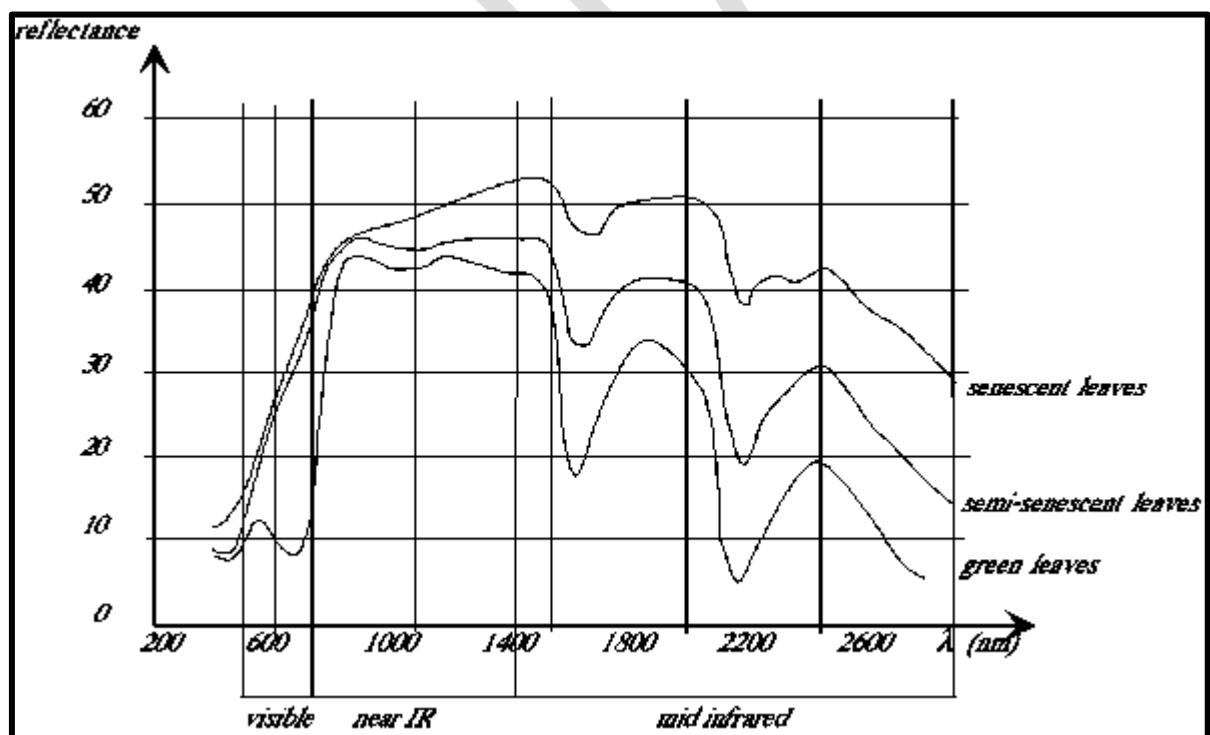


Figure 29 Évolution de la réflectance spectrale de feuilles de blé en cours de sénescence (en laboratoire)

Source : Op.cit.

❖ Pour les minéraux

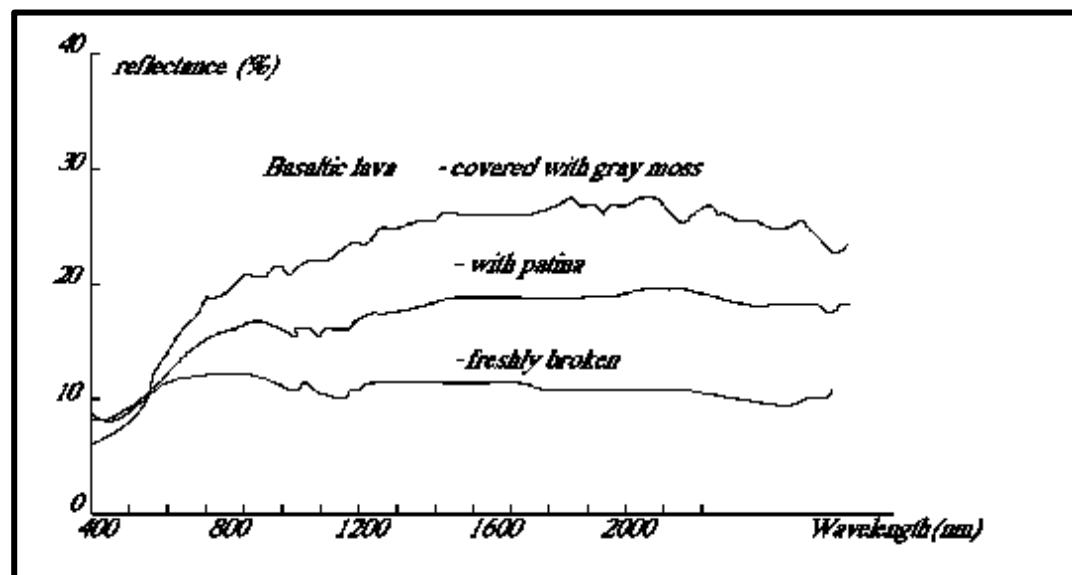


Figure 30 Évolution de la réflectance spectrale d'un basalte en fonction de sa patine

Source : G. GUYOT (1992)

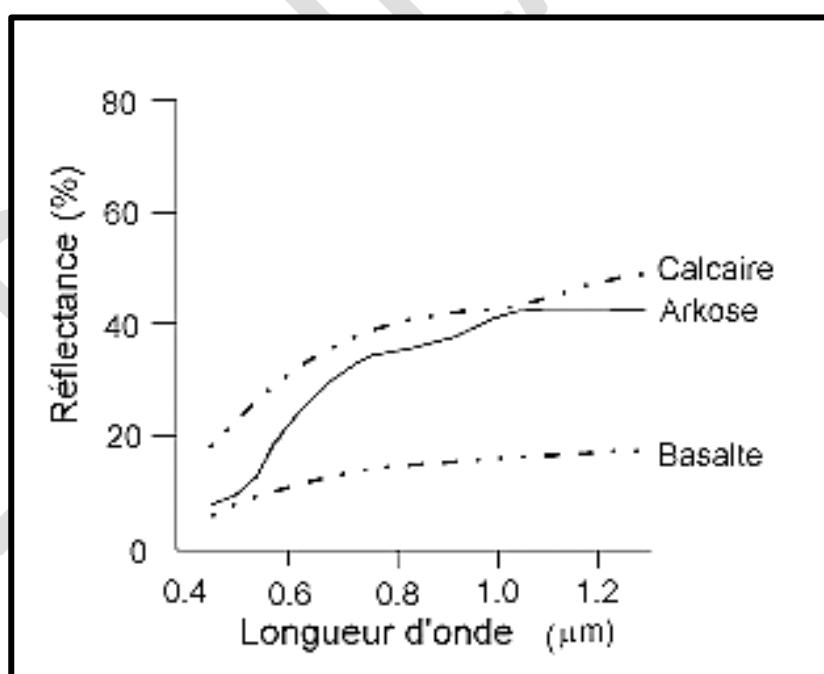


Figure 31 Différentes réflectances spectrales de minéraux

Source : [EnvCAL - UVED](#)

❖ Pour les sols.

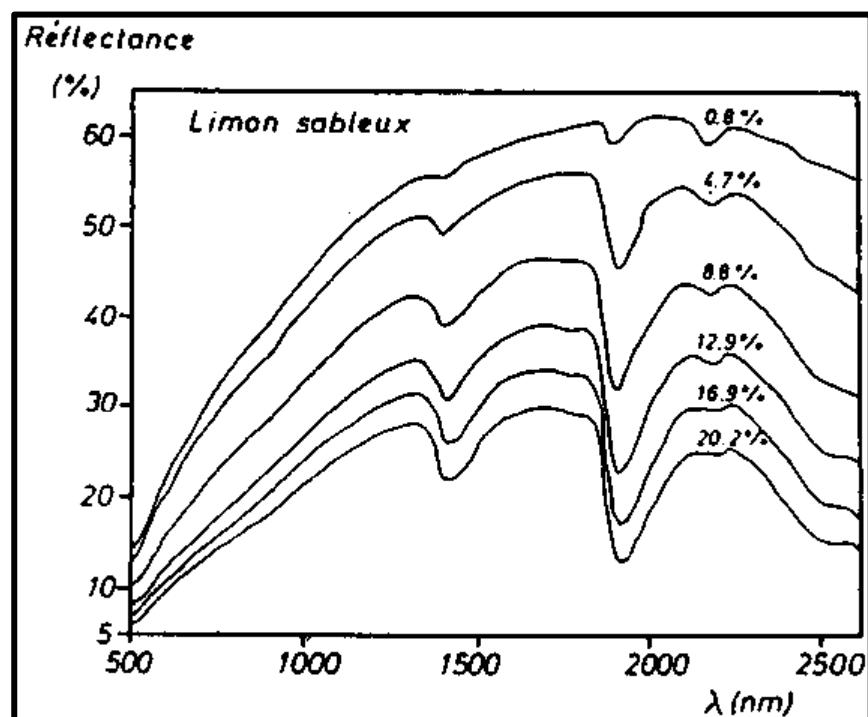


Figure 32 Différentes réflectances spectrales en fonction de la part du sable dans un limon

Source : G. GUYOT

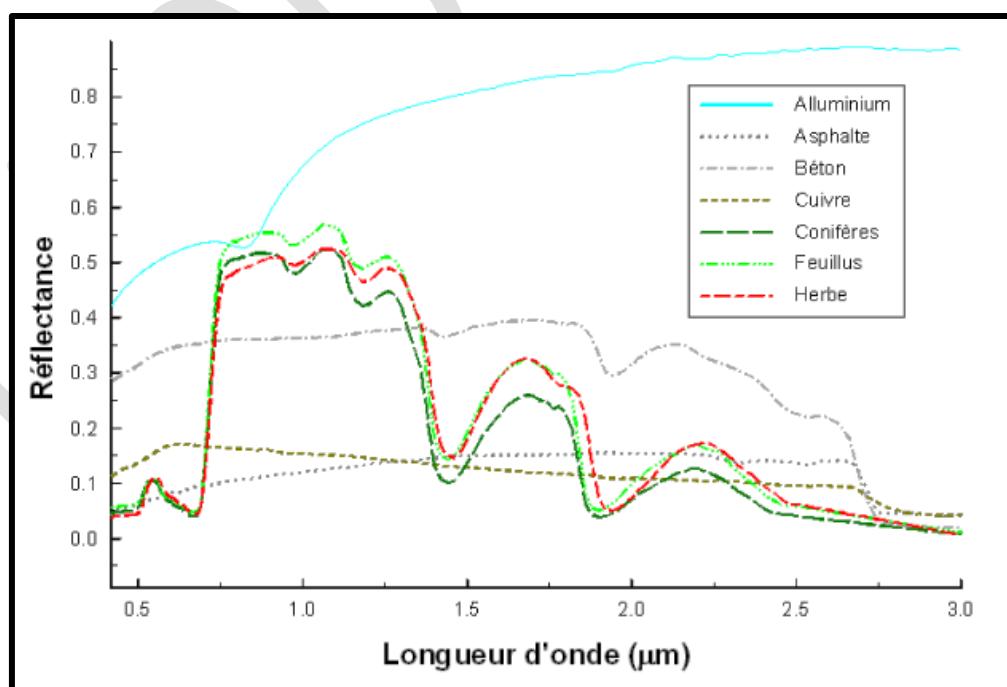


Figure 33 : Différentes réflectance spectrales entre différentes cibles

Source : cf. fiche mémo mem33tel.htm)

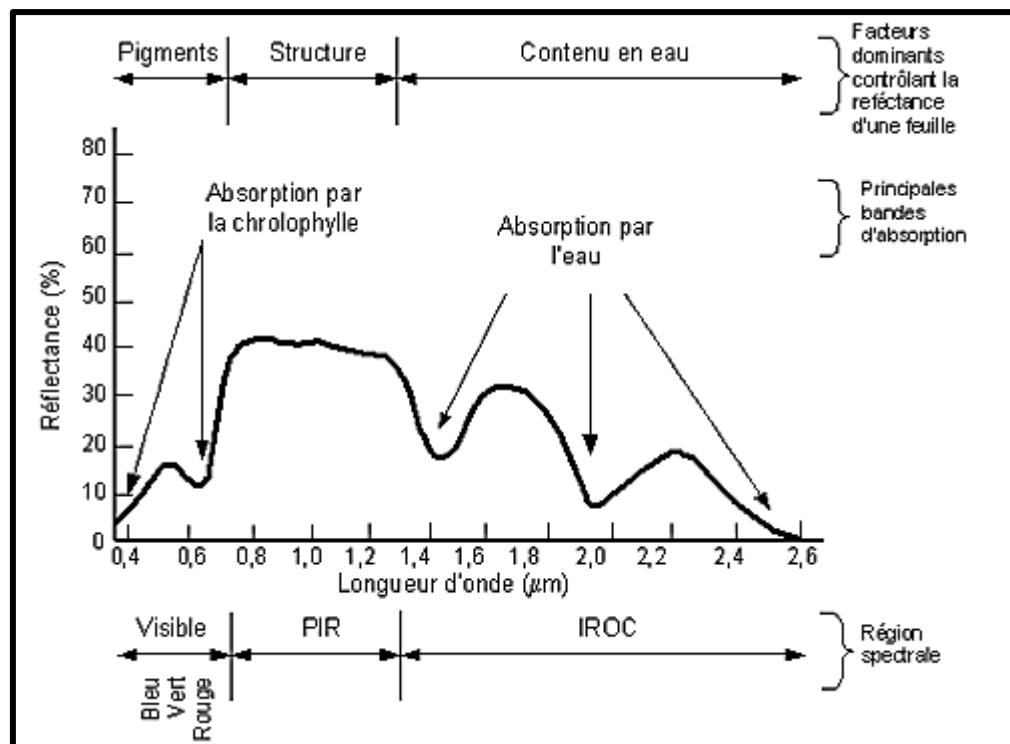


Figure 34 : Les différences de réflectances d'une feuille selon la région spectrale

Source : cf. fiche mémo mem33tel.htm)

Test de compréhension.

Question n°1.5.1. Lorsque les eaux se chargent de sédiments, la réflexion diminue dans la bande du :

- | | | |
|---------|----------|---------------|
| a) bleu | c) rouge | e) visible |
| b) vert | d) PIR | f) nulle part |

Question n°1.5.2. Pour différencier (discriminer) la neige des nuages, il est préférable de consulter la bande du :

- | | | |
|---------|----------|----------------|
| a) bleu | c) rouge | e) MIR |
| b) vert | d) PIR | f) indifférent |

CHAPITRE II: TRAVAUX PRATIQUES

TP1: DECOUVRIR LE LOGICIEL ARCGIS



- **Objectif du TP :** Expliquer le logiciel Arcgis 10.

ArcGIS 10 for Desktop est une suite intégrée d'applications SIG professionnelles : ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe et ArcScene (les applications ArcGIS Desktop traditionnelles) pour créer des cartes, effectuer une analyse spatiale, gérer des données géographiques et partager des résultats. La plupart des utilisateurs la connaissent sous la forme de trois produits : ArcView, ArcEditor et ArcInfo. Elle inclut les applications ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox et ModelBuilder. (Figure 35).

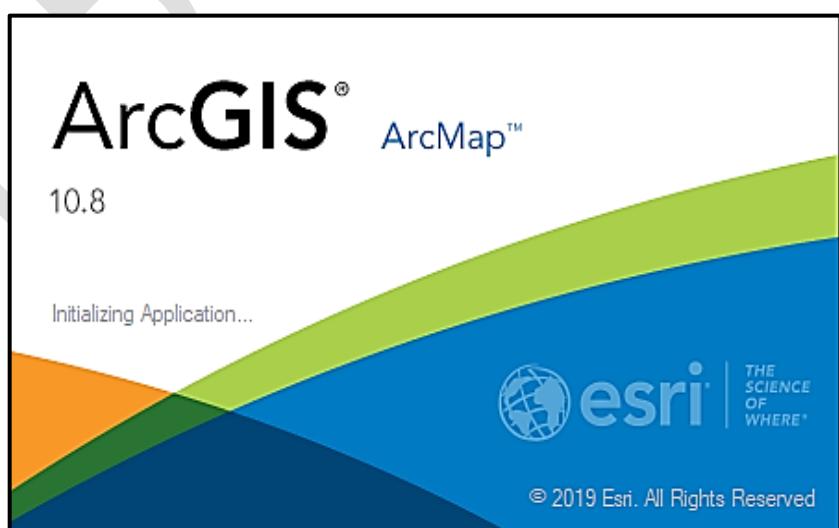


Figure 35 Logiciel ARCGIS

- **ArcMap** permet de créer, afficher, interroger, afficher, imprimer des cartes. ArcCatalog, ArcToolbox et ModelBuilder sont accessibles par des fenêtres que l'on peut ouvrir depuis ArcMap.
- **ArcCatalog** permet d'organiser et de gérer différents types d'informations géographiques.
- **ArcToolbox** regroupe un ensemble d'outils de conversion de données, de gestion des projections, de géotraitement, etc.
- **ModelBuilder** permet de créer de nouveaux outils à partir d'outils existants.

Un éditeur de scripts Python est intégré à ArcMap. On peut écrire des scripts Python pour automatiser certaines tâches. On peut aussi utiliser des scripts existants. ArcPy est un module Python fourni avec ArcGIS 10 Desktop.

- **Présentation de l'interface Arcmap.**

Arcmap permet d'éditer des cartes sous l'extension mxd. Il facilite l'analyse et la gestion des données sous forme de tableaux attributaires ou de graphiques. Il a une bonne mise en page qui permet la disposition des cartes pour l'impression. Les éléments géométriques et les données attributaires sont mémorisés dans le document ArcCatalogue,

L'organisation des données (cartes, tables, éléments graphiques, diagrammes) ainsi que la mise en page en vue de l'impression sont mémorisés dans le document Arcmap, ainsi que divers paramétrages (ex: taille et position des fenêtres, taille des caractères...) et diverses actions (ex: jointures ou relations de tables, analyses thématiques...) effectués par l'utilisateur. (Figure 36).

L'interface Arcmap se présente comme suit :

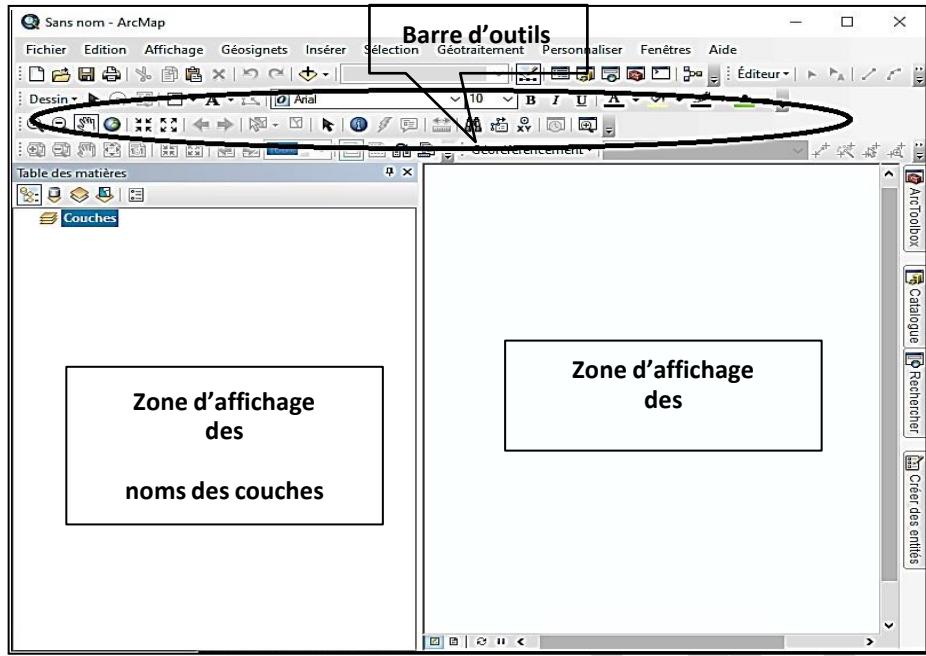


Figure 36 Interface Arcmap

- **Présentation de l'interface ArcCatalogue.**

ArcCatalogue permet d'organiser, de distribuer et de modifier les propriétés des données graphiques. Cette interface est disponible dans le document Arcmap ce qui facilite la gestion des fichiers ou comme application indépendante dans ArcGis. Elle est représentée par l'icône

- Les formats de données sont visibles dans ArcCatalogue sous plusieurs formes :
- Fichiers de bases de données (géodatabases, sous l'extension : .mdb,
 - Fichiers vectoriels dit fichiers de forme « Shapefile » sous l'extension : .shp, polylinéaires lignes points
 - Fichiers raster en forme d'image sous l'extension : .jpg ou tiff ou bitmap ou geotiff
 - Fichiers de couches qui sont les représentations graphiques des fichiers de formes, sous l'extension : .lyr
 - Des fichiers d'Autocad sous l'extension : .dwg , ou des fichiers Excel , etc.

Dans la série de version 10 d'ArcGIS, la base **Default.gdb** est automatiquement créée dans le répertoire de votre profil Windows. Les résultats des traitements sont alors souvent par défaut « envoyés » dans cette base.

- **Présentation de l'interface Arctoolbox.**

Arctoolbox est une boite à outils qui englobe un ensemble très riche de fonctions de géo-traitement. Telles qu'outils 3D Analyst, outils de conversion, outils de cartographie, outils de gestion de données, outils de projection, outils Spatial Analyst, etc. .

Il est possible d'exécuter des commandes et d'ajouter d'autres scripts de géo-traitement grâce au module Python (intégré au logiciel) ou de créer un modèle de géotraitements grâce à ModelBuilder. (Figure 37).

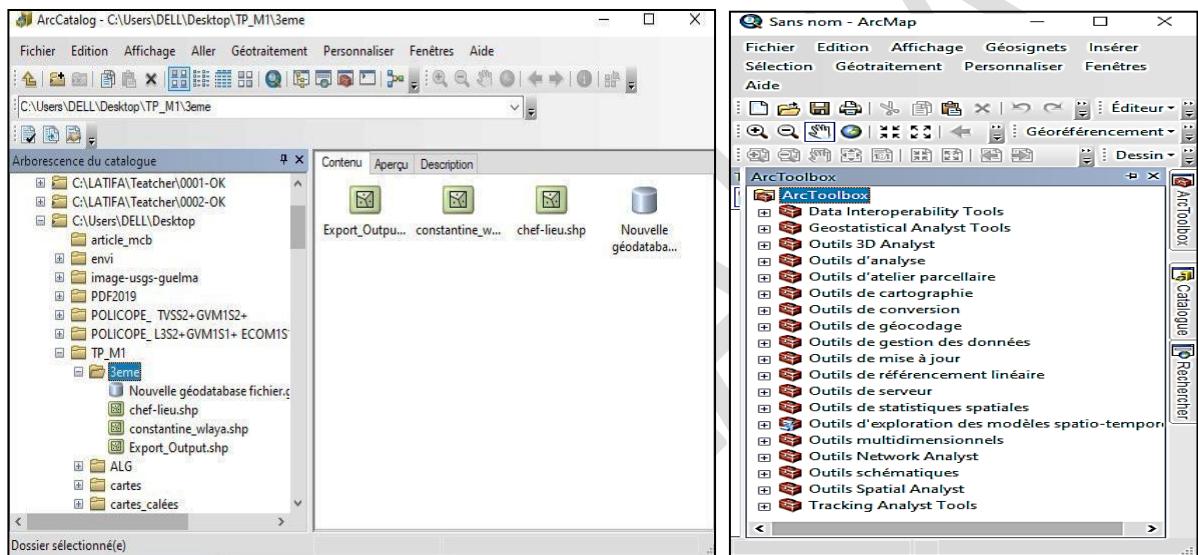
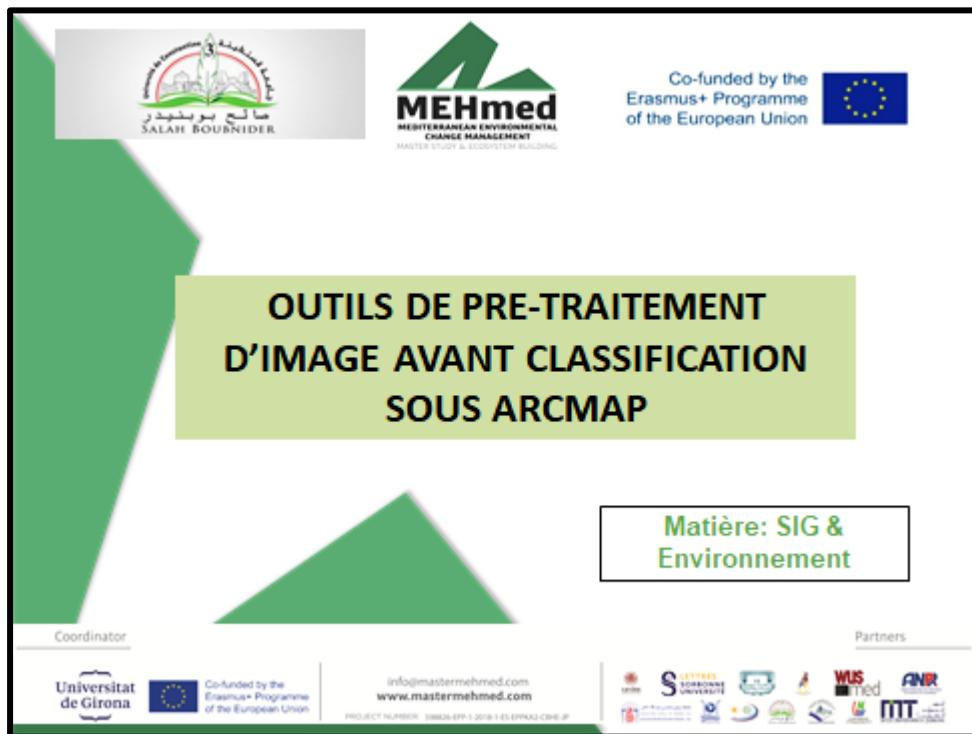


Figure 37 Interface des 'applications ArcCatalogue Arctoolbox.

TP 2: OUTILS DE PRE-TRAITEMENT D'IMAGE AVANT CLASSIFICATION SOUS ARCMAP



- **Prétraitement et exploration des données.**

On appelle *fonctions de prétraitement* les opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en **corrections radiométriques** et en **corrections géométriques**. Les corrections radiométriques comprennent entre autres, la correction des données à cause des irrégularités du capteur, des bruits dus au capteur ou à l'atmosphère, et de la conversion des données afin qu'elles puissent représenter précisément le rayonnement réfléchi ou émis mesuré par le capteur.

Les corrections géométriques comprennent la correction pour les distorsions géométriques dues aux variations de la géométrie Terre-capteur, et la transformation des données en vraies coordonnées (par exemple en latitude et longitude) sur la surface de la Terre.

Les *fonctions de rehaussement* ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour aider l'interprétation et l'analyse visuelles. Les fonctions de rehaussement permettent **l'étirement des contrastes** pour augmenter la distinction des tons entre les différents éléments d'une scène, et le **filtrage spatial** pour rehausser (ou éliminer) les patrons spatiaux spécifiques sur une image.

Les *transformations d'images* sont des opérations similaires à ceux de rehaussement de l'image. Cependant, alors que le rehaussement de l'image qui est normalement appliqué à une seule bande de données à la fois, la transformation de l'image combine le traitement des données de plusieurs bandes spectrales. Des opérations arithmétiques (c'est-à-dire addition, soustraction, multiplication, division) sont faites pour combiner et transformer les bandes originales en de « nouvelles » images qui montrent plus clairement certains éléments de la scène.

Nous allons examiner certaines de ces opérations incluant les diverses méthodes de **rappor tde bande** aussi appelé **rappor t spectral** et un procédé appelé **analyse des composantes principales** qui est utilisée pour mieux représenter l'information en imagerie multi-spectrale.

- **Corrections radiométriques.**

Les corrections radiométriques peuvent être nécessaires à cause des variations dans l'illumination et dans la géométrie de visée d'une scène, des conditions atmosphériques, du bruit et de la réponse du capteur. Chacun de ces facteurs variera selon le capteur et la plate-forme utilisés, et selon les conditions d'acquisition des données. Aussi, il peut être souhaitable de convertir et de calibrer les données avec une unité de rayonnement ou réflexion connue (absolue) pour faciliter la comparaison entre les données.

Diverses méthodes de corrections atmosphériques peuvent être appliquées, allant de modèles très détaillés des conditions atmosphériques durant l'acquisition des données, jusqu'à un simple calcul basé seulement sur les données de l'image.

- **Quelle est la différence entre la radiance et la réflectance?**

La radiance est la variable directement mesurée par les instruments de télédétection. Fondamentalement, vous pouvez considérer la radiance comme la quantité de lumière que l'instrument « voit » à partir de l'objet observé. Lorsque vous regardez à travers l'atmosphère, une partie de la lumière diffusée par celle-ci sera vue par l'instrument et incluse dans la radiance observée de la cible. L'atmosphère absorbera également la lumière, ce qui diminuera la luminosité observée.

La réflectance est le rapport entre la quantité de lumière quittant une cible et la quantité de lumière atteignant la cible. Il n'y a pas d'unités. Si toute la lumière quittant la cible est interceptée pour la mesure de la réflectance, le résultat est appelé « réflectance hémisphérique ».

La réflectance (ou plus spécifiquement la réflectance hémisphérique) est une propriété du matériau observé. La radiance, en revanche, dépend de l'éclairement (à la fois de l'intensité et de la direction), de l'orientation et de la position de la cible et du trajet de la lumière à travers l'atmosphère. Avec des efforts, de nombreux effets atmosphériques et l'éclairage solaire peuvent être compensés dans les données de télédétection. Cela donne ce qu'on appelle une « réflectance apparente » et elle diffère de la réflectance vraie en ce que les ombres et les effets directionnels sur la réflectance n'ont pas été traités. Beaucoup de gens parlent simplement de « réflectance ».

Pour de nombreuses applications, la luminance énergétique, la réflectance et la réflectance apparente peuvent être utilisées de manière interchangeable. Cependant, la réflectance étant une propriété du matériau cible lui-même, vous obtiendrez les valeurs d'indice de végétation les plus fiables (et répétables) à l'aide de la réflectance. La réflectance apparente est adéquate dans de nombreux cas.

Téléchargez une image d'une zone à votre convenance, en prenant soin de choisir le téléchargement de l'image complète (l'option Level-1 GeoTIFF Data Product).

Une fois décompressée vous aurez un répertoire contenant une série de fichiers:

- Les images dont le nom se termine par B1 à B11 correspondent aux onze bandes du satellite. Elles contiennent des valeurs de radiance. Pour le NDVI on utilise les bandes 4 (rouge) et 5 (proche infrarouge).
- Les données nécessaires aux différentes corrections sont contenues dans le fichier dont le nom se termine par MLT.
- Pour le calcul du NDVI on utilise généralement une correction en TOA (Top-of-Atmosphere) en réflectance.
- Pour convertir les données d'une bande (radiances) en TOA réflectances on utilise la méthode suivante:

$$pA' = Mp * Qcal + Ap$$

Où:

- **pA'** = réflectance TOA, non corrigée de l'angle d'incidence solaire;
- **Mp** = Facteur de redimensionnement multiplicatif spécifique à la bande à partir des métadonnées : REFLECTANCE_MULT_BAND_X, où X est le numéro de bande.

- **A_p** = Facteur de redimensionnement additif spécifique à la bande à partir des métadonnées : REFLECTANCE_ADD_BAND_x, où X est le numéro de bande.
- **Qcal** = valeur fourni dans la bande X du pixel.

Pour avoir une correction de la réflectance en fonction de l'angle d'incidence solaire, on utilise la formule suivante:

$$pA = pA' / \sin(\theta_{se})$$

Où :

- **pA** est la réflectance TOA corrigée de l'incidence solaire
- **theta_se** = angle d'élévation du soleil au centre de l'image, fourni dans les métadonnées : SUN_ELEVATION.

- **Exemple de calcul avec ArcMap :**

Tout d'abord, si nous voulons, par exemple, calculer la correction atmosphérique de la Bande rouge (B4), nous aurons besoin des deux valeurs correspondantes à cette bande: REFLECTANCE_MULT_BAND_4 et REFLECTANCE_ADD_BAND_4.

```

RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000

```

et la valeur de SUN_ELEVATION pour la correction finale

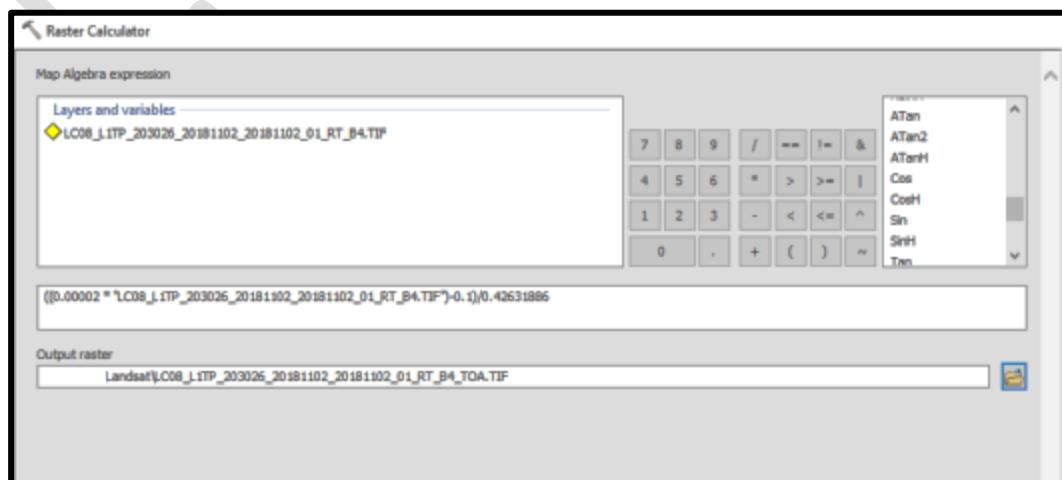
```
67 GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
68 CLOUD_COVER = 7.53
69 CLOUD_COVER_LAND = 16.20
70 IMAGE_QUALITY_OLI = 9
71 IMAGE_QUALITY_TIRS = 7
72 TIRS_SSM_MODEL = "PRELIMINARY"
73 TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
74 TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"
75 ROLL_ANGLE = -0.001
76 SUN_AZIMUTH = 165.70156782
77 SUN_ELEVATION = 25.23417171
78 EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9922713
79 SATURATION_BAND_1 = "N"
80 SATURATION_BAND_2 = "Y"
81 SATURATION_BAND_3 = "Y"
82 SATURATION_BAND_4 = "Y"
83 SATURATION_BAND_5 = "Y"
```

On ouvre la calculatrice raster (à partir de la Toolbox **Spatial Analyst Tools -> Map Algebra -> Raster calculator**)

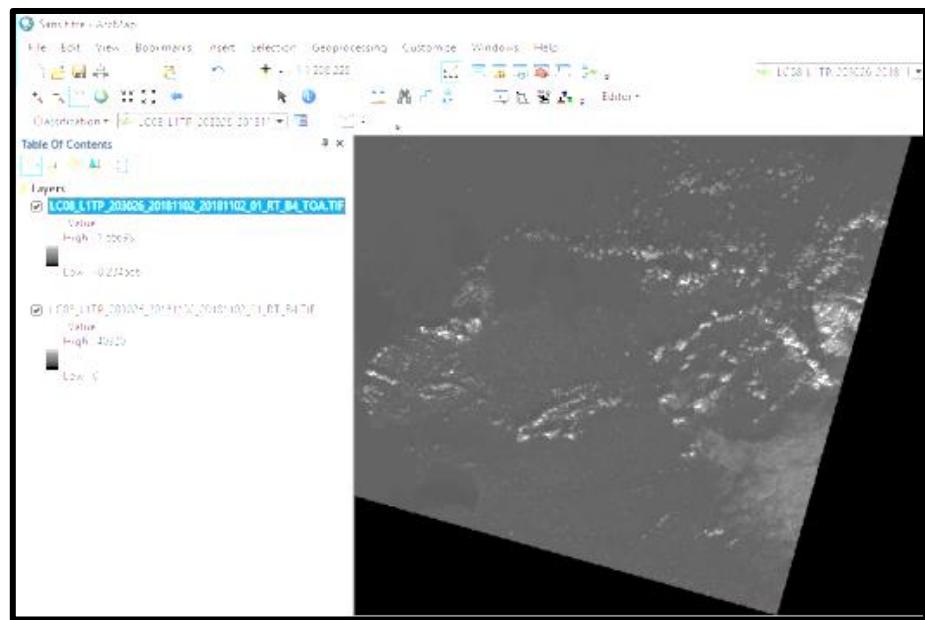
On rentre la formule de calcul suivante, qui correspond aux formules décrites plus haut avec les valeurs obtenues du fichier de métadonnées:

((0.00002 * « LC08_L1TP_203026_20181102_20181102_01_RT_B4.TIF »)-0.1)/0.42631886

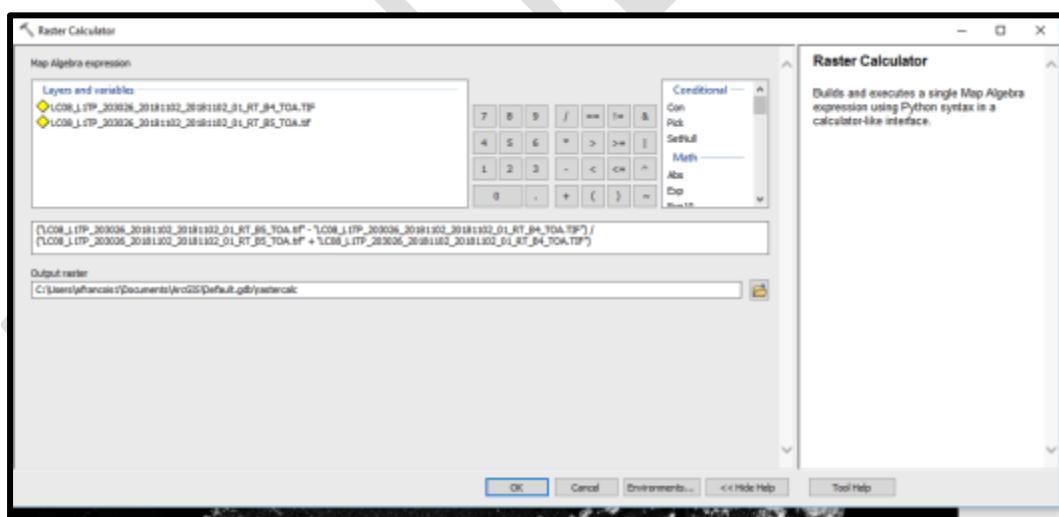
Comme la calculatrice utilise des radians pour les fonctions trigonométriques, nous avons calculé le sinus de 25.23417171 (0.426318) de manière à simplifier la formule.



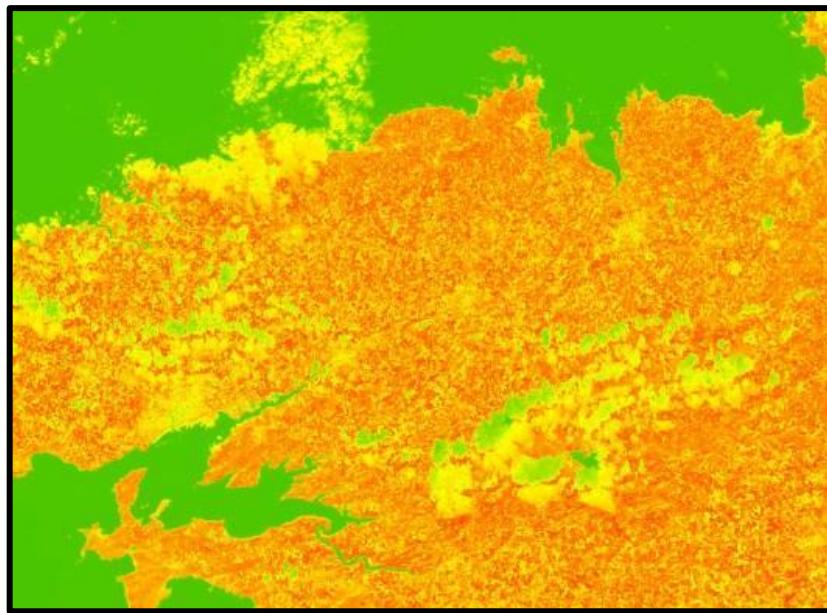
Une fois exécutée la commande, nous retrouvons une nouvelle image avec des valeurs de réflectance au lieu de radiances.



Nous répétons l'opération pour la bande 5. Une fois les deux bandes corrigées en TOA, on calcule le NDVI avec la calculatrice raster:



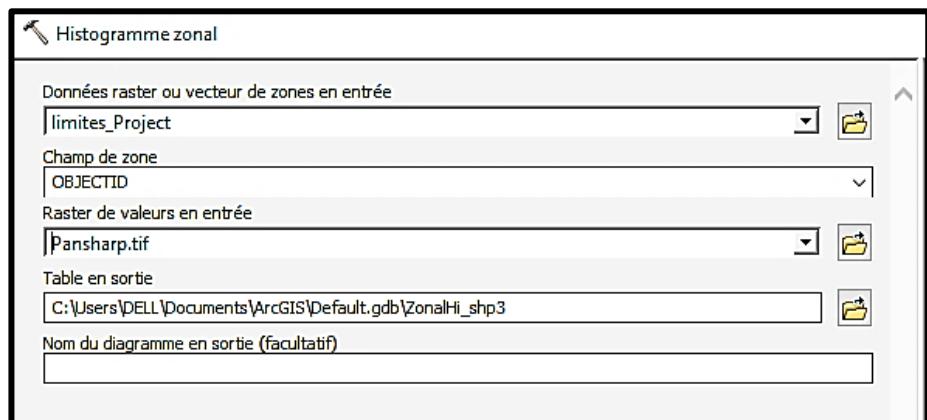
Le résultat une fois appliqué un gradient de couleurs (du vert au rouge en passant par le jaune), est le suivant



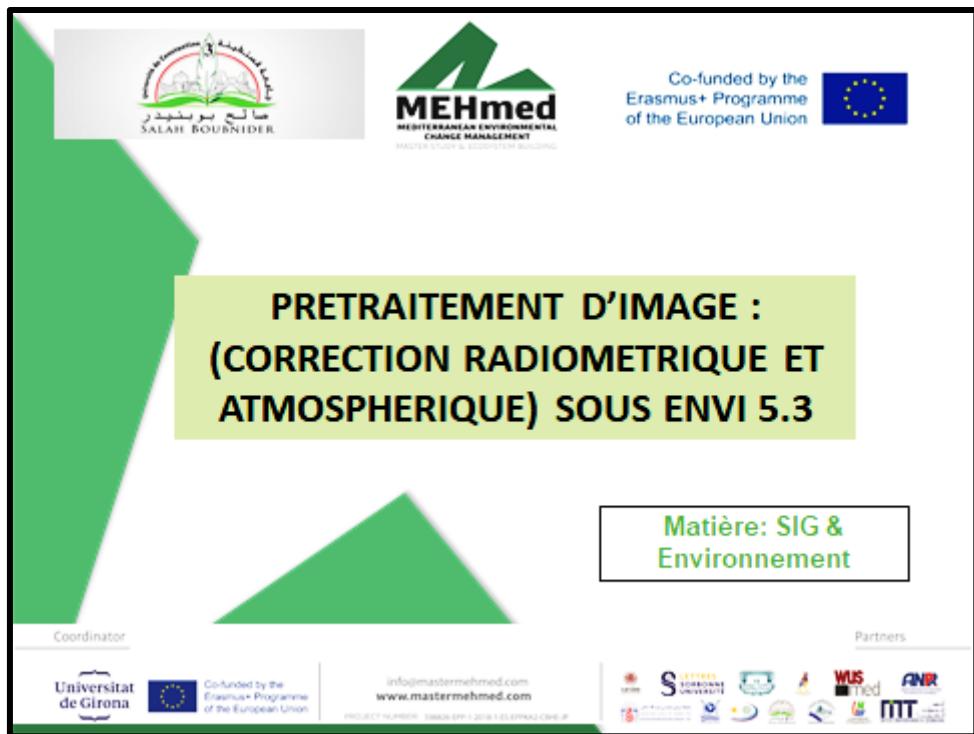
Les valeurs négatives, dans le vert, correspondent aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0, en jaune. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, dans les tons rouges, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 – les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

- **Exploration des données.**

L'analyse de classification part du principe que les données de canal et les données d'échantillon d'apprentissage suivent la répartition normale. Pour vérifier la répartition des données dans un canal suivez les étapes suivantes :



TP 3: PRETRAITEMENT D'IMAGE: (CORRECTION RADIOMETRIQUE ET ATMOSPHERIQUE) SOUS ENVI 5.3



- **Objectif du TP :** Comment réaliser le prétraitemet d'une image Landsat Oli 8.

Le prétraitemet d'image est une étape incontournable qui vise à obtenir des bonnes valeurs de l'énergie réfléchie ou émise sur un point quelconque de la surface terrestre. Les traitements les plus fréquents sont la correction géométrique, la correction radiométrique et la correction atmosphérique.

Les corrections radiométriques et atmosphériques, aussi appelés étalonnage d'image, visent à obtenir un paramètre physique indépendant des conditions d'éclairage et même des conditions atmosphériques, ce qui nous permet d'utiliser des images de différentes époques pour détecter les changements. Pour traiter les images obtenues nous allons utiliser le logiciel ENVI (Environment for Visualizing Images), avec sa dernière version 5.3.

Les données qui viennent d'être stockées dans une image Landsat (ou n'importe qu'elle autre image obtenue au moyen d'un capteur optique), sont des valeurs de niveau digital (ND). Ces valeurs numériques ne représentent d'une

manière directe aucunes valeurs biophysiques, donc nous ne pourrons obtenir aucun indice spectral de ces valeurs brutes.

La raison pour ne pas le faire est très simple : ce que nous appelons « indices spectraux », ont été développés pour fonctionner avec les valeurs de réflectance spectrale de la surface de la Terre et les valeurs numériques brutes ne fournissent pas cette information. Il est nécessaire donc, de les convertir en valeurs de réflectances. Ce processus ce réalise en deux étapes :

1. La conversion de ND en radiance (c'est-à-dire l'énergie rayonnée par unité de surface en un temps donné). (figure 1). « **La luminance énergétique** ou **radiance** (en anglais *radiance*) est la puissance par unité de surface du rayonnement passant ou étant émis en un point d'une surface, et dans une direction donnée par unité d'angle solide. Il s'agit de la fonction de base du domaine radiatif, toutes les autres quantités s'en déduisant ». (fr.wikipedia.org/wiki/luminance_énergétique).

Cette étape est connue sous le nom de calibration radiométrique.

2. La conversion de la radiance en réflectance apparente (c'est-à-dire le calcul de la réflectance dans le capteur). Cette étape est connue sous le nom de la correction atmosphérique. Avec la correction atmosphérique en abouti à une amélioration de la qualité visuelle de l'image en éliminant les composant intrusifs de l'atmosphère.

- **Etapes de travail**

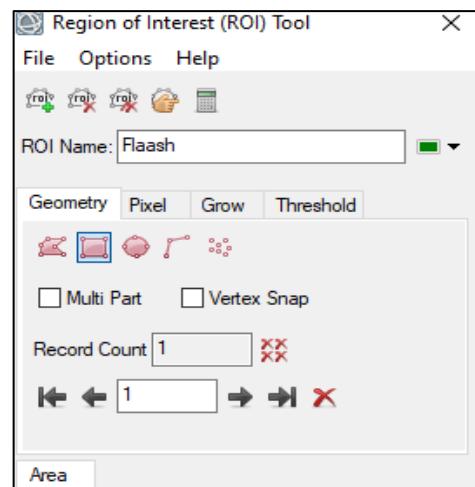
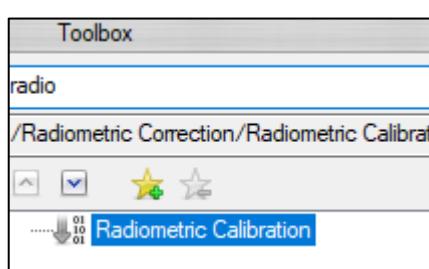
1. Télécharger du site USGS.gov la scène de la zone de Guelma avec les métadonnées suivantes :

Métadonnées

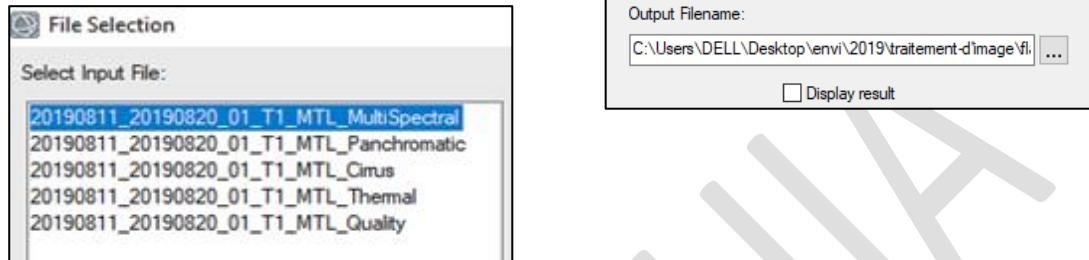
- GROUP = METADATA_FILE_INFO
- ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
- REQUEST_ID = "0701908191689_00041"
- LANDSAT_SCENE_ID = "LC81930352019223LGN00"
- LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L1TP_193035_20190811_20190820_01_T1"
- COLLECTION_NUMBER = 01
- FILE_DATE = 2019-08-20T14:24:53Z
- STATION_ID = "LGN"
- PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_13.1.0"
- END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
- GROUP = PRODUCT_METADATA
- COLLECTION_CATEGORY = "T1"
- ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
- OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
- SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
- SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
- WRS_PATH = 193
- WRS_ROW = 35

2. CORRECTION RADIOMETRIQUE

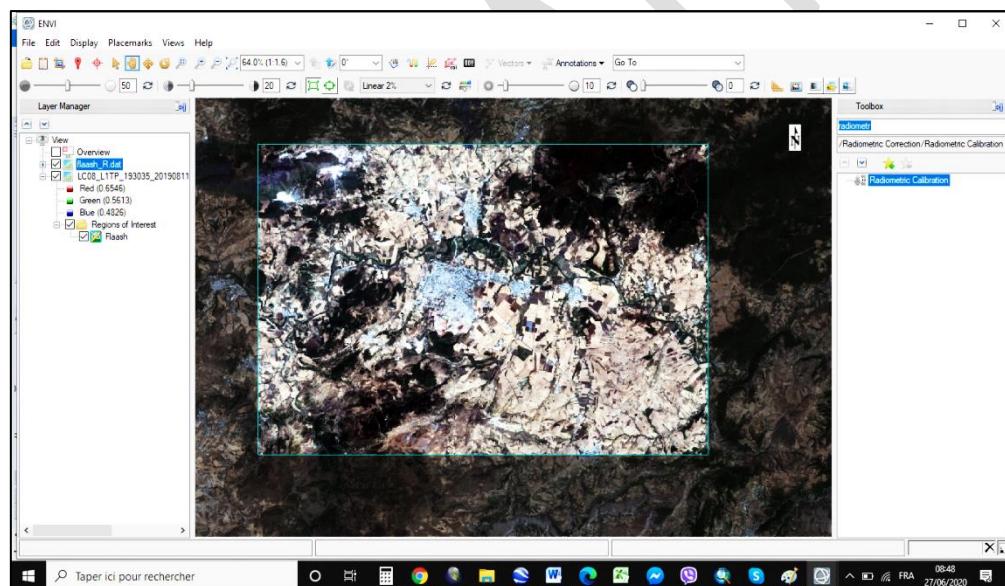
- Pour commencer nous allons sélectionner une région d'intérêt ROI que l'on nommera Flaash.
- Pour la correction radiométrique, nous allons utiliser la commande **Radiometric Calibration** dans le menu Toolbox.



- Sélectionnez la bande multi Spectrale avec la zone d'intérêt Flaash.
- Cliquez sur ***Apply_FLAASH_Settings*** pour avoir l'Output Interleave en **BIL**. Nommez le Output Filename en : **Flaash_R**.

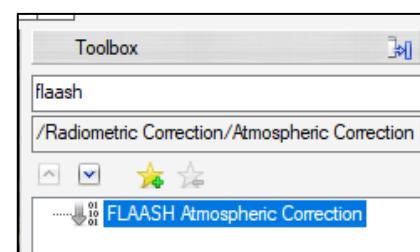


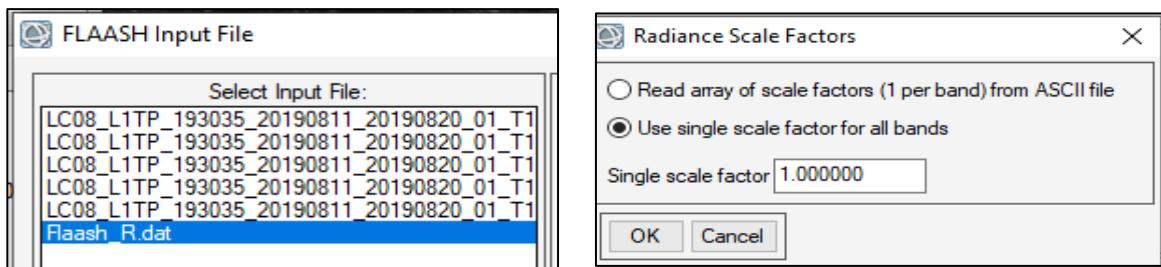
❖ Le résultat :



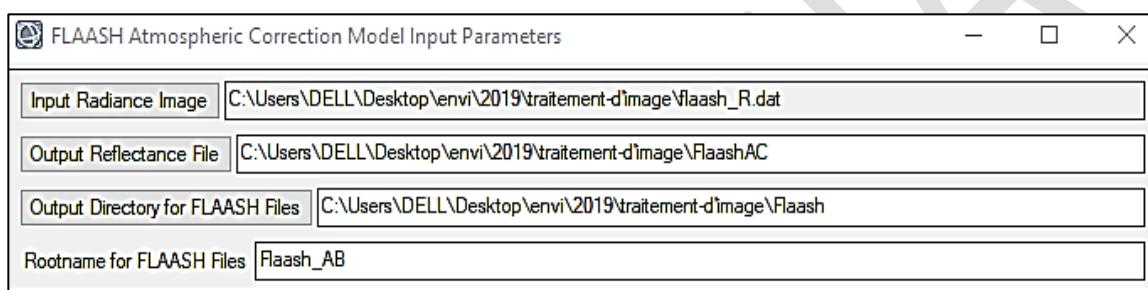
3. CORRECTION ATMOSPHERIQUE

- Pour la correction atmosphérique, nous allons utiliser la commande **FLAASH_Atmospheric_Correction**.
- Commencez par **Input_radiance_image**
- Sélectionnez **Input_file** : **Flaash_R**. La fenêtre **Radiance Scale Factors** apparaît, sélectionnez : **Use single scale factor for all bands** et cliquez sur **Ok**.

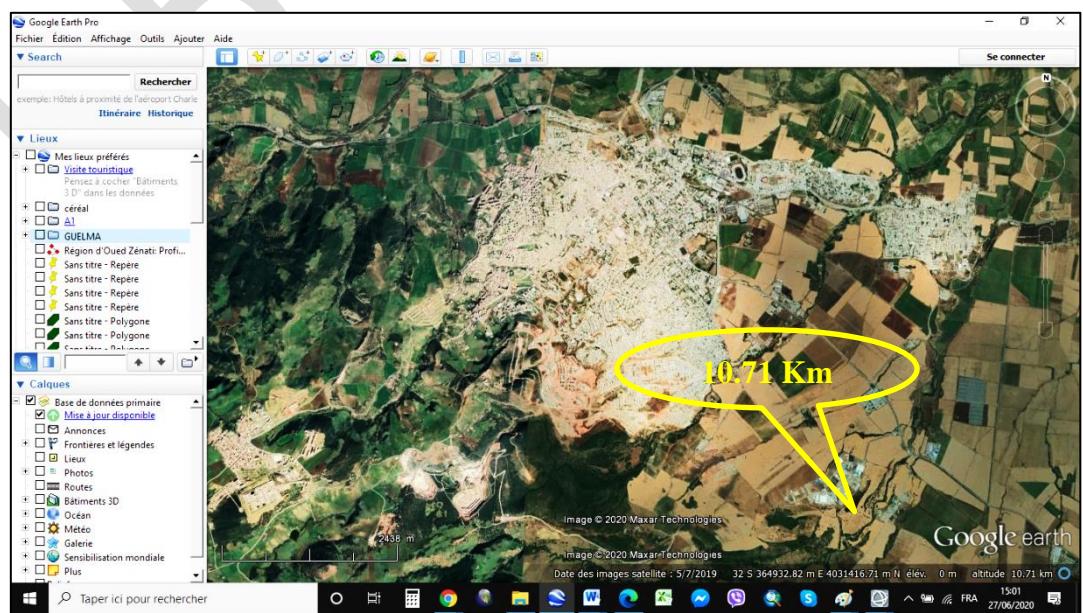
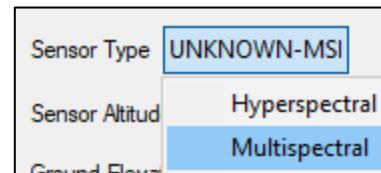




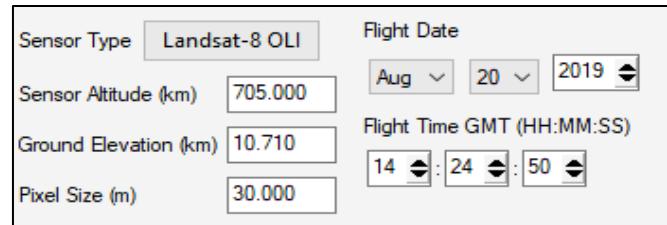
- Sélectionnez Output réflectance file. Nommez-le comme suit : **flaashAC**
- Sélectionnez Output Directory for Flaash. Nommez-le **Flaash**.
- Allez à Rootname for Flaash files : nommez-le **Flash_AB**.



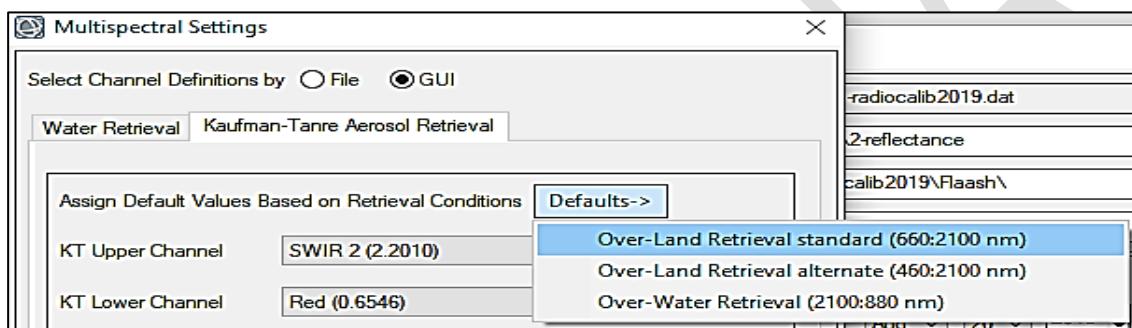
- Allez à **Sensor_Type**, sélectionnez Multispectral, puis le capteur : Landsat OLI 8.
- Allez à **Ground_Elevation (Km)** et mettez l'altitude de la zone choisie que vous trouverez sur Google Earth Pro. Dans le cas de notre zone c'est affiché 10.71 km.



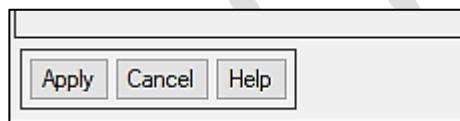
- Ajouter la date à **Flight_Date**, ainsi que **Flight_Time**. (les informations vous les trouverez dans le fichier des métadonnées).



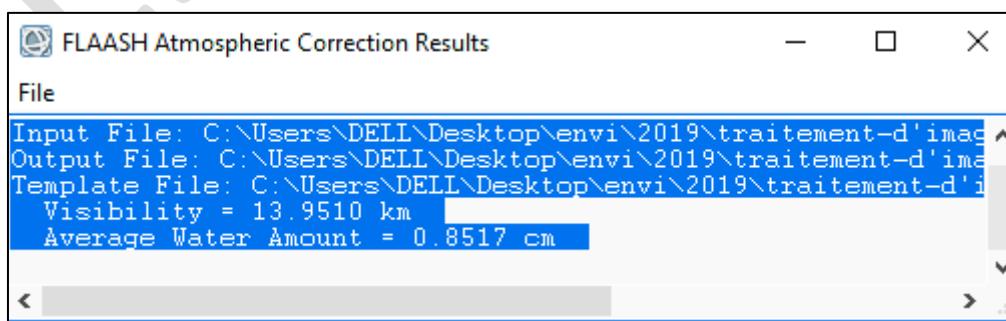
- Pour le model atmosphérique cliquez sur **Mid_latitude_winter**.
- Allez à **Multispectral_Settings** et choisissez : **Kaufman-Terre-Aerosol-Retrieval**.



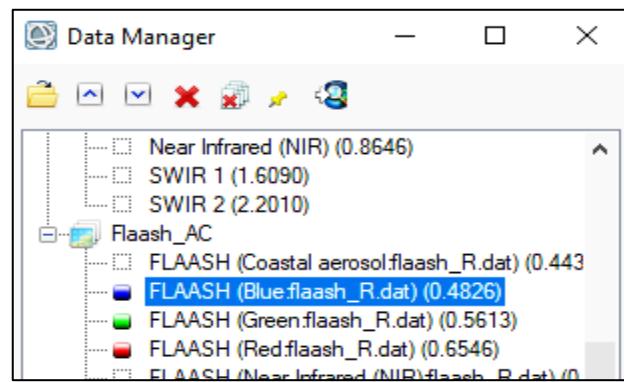
- Allez à **Defaults** et choisissez la première proposition.
- Allez à **Save** et enregistrer le **output_FLAASH** que vous nommerez **Configuration**.
- Cliquez sur **Apply**.



- Une fenêtre des résultats s'affiche comme suit :



- Allez à Data_Manager et sélectionnez le fichier Flaash_AC sélectionnez la composition colorée des bandes.



❖ Le résultat :

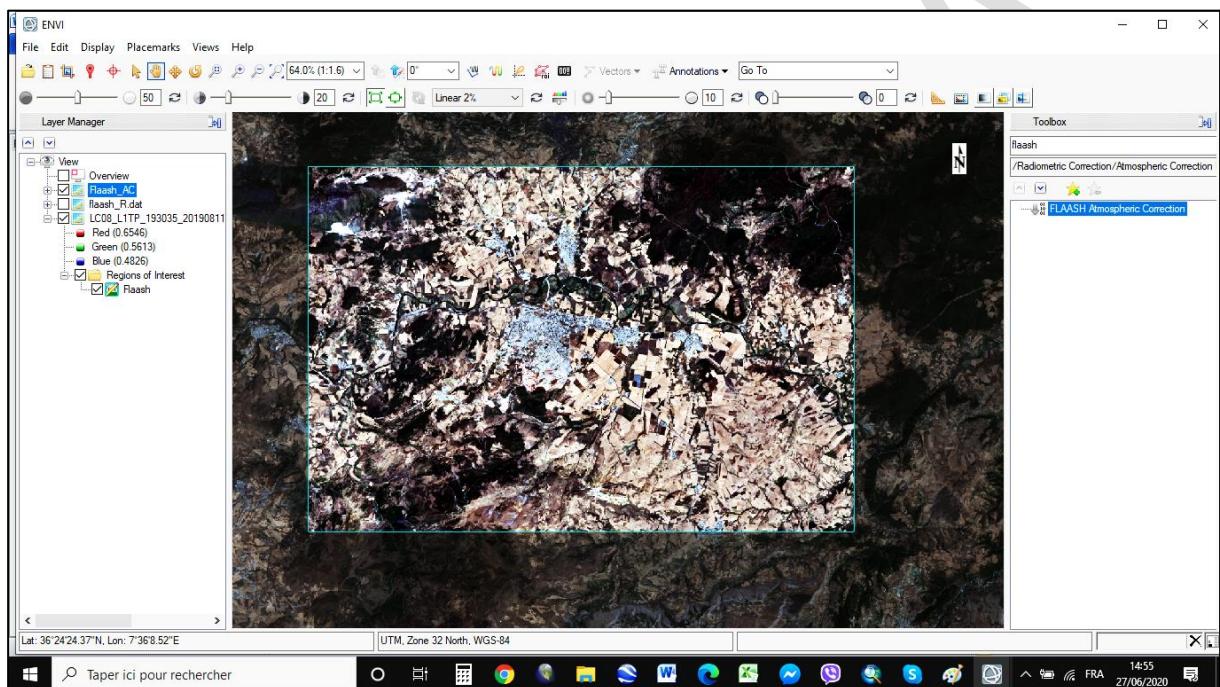
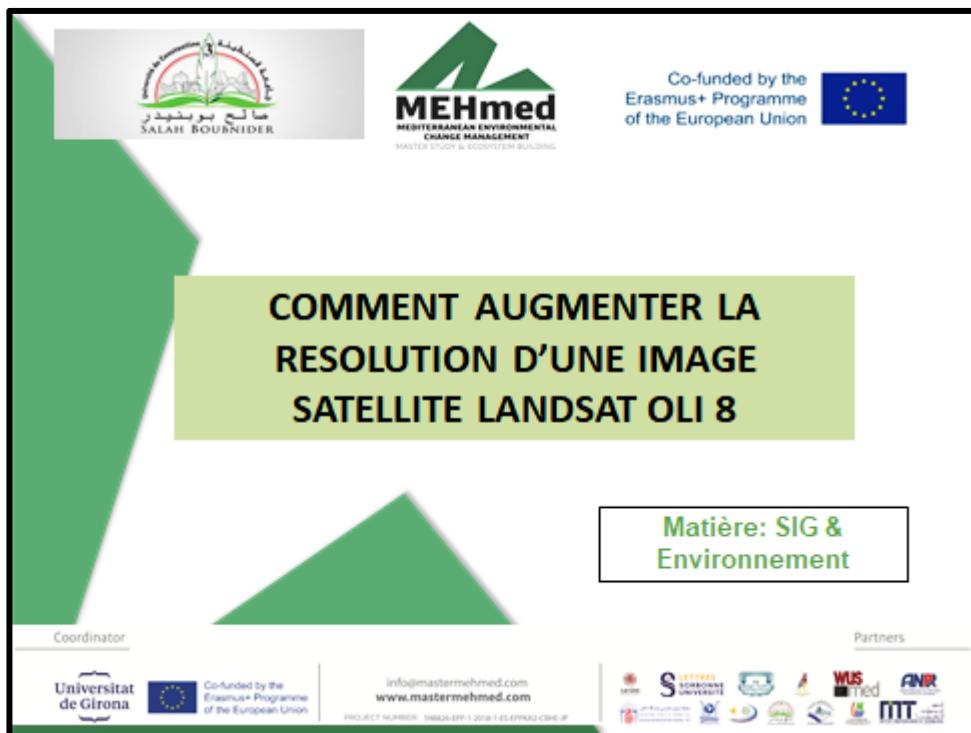


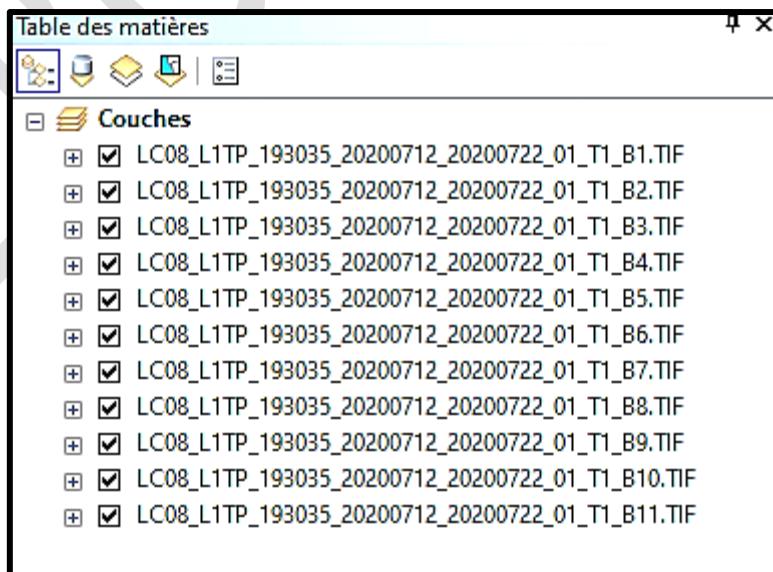
Figure 38: correction atmosphérique

TP N°4 : COMMENT AUGMENTER LA RESOLUTION D'UNE IMAGE SATELLITE LANDSAT OLI 8

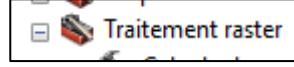


Il faut suivre les étapes suivantes :

- Télécharger une image Landsat OLI 2020
- Ouvrir toutes les bandes dans Arcmap par ordre de numéro (B1, B2,B11)



- **Faire une image composite**

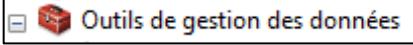
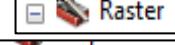
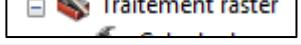
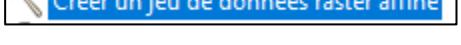
- Sélectionner toutes les bandes à la fois et ouvrir l'outil : 
- Data management tools. Sélectionner RASTER puis : 
canaux composites (Composite Bands). 
Ajouter les bandes raster en entrée et spécifier l'extension du raster en sortie.
- Résultat une image composite que nous avons nommées : composite. Tif.
- Sélectionnez les bandes en : 432.

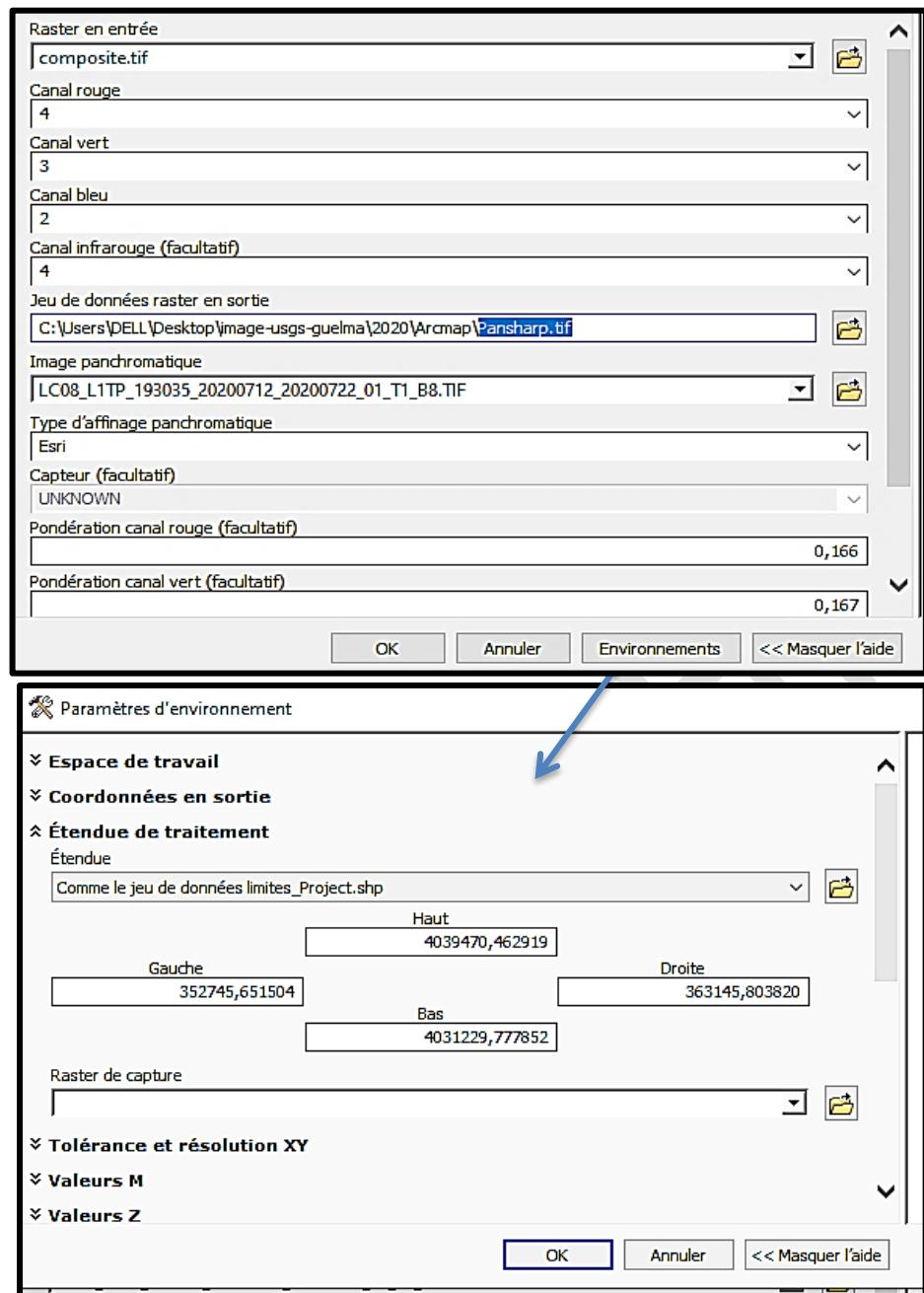


Le résultat une image composite avec une résolution spatiale de 30X30 m :

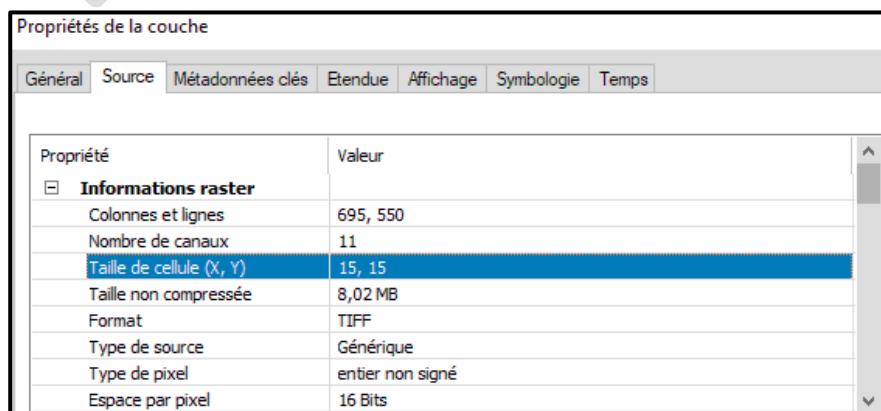
Propriétés de la couche

Général	Source	Métadonnées clés	Etendue	Affichage	Symbologie	Temps																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Propriété</th> <th>Valeur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Informations raster</td> </tr> <tr> <td>Colonnes et lignes</td> <td>7791, 7921</td> </tr> <tr> <td>Nombre de canaux</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Taille de cellule (X, Y)</td> <td>30, 30</td> </tr> <tr> <td>Taille non compressée</td> <td>1,15 GB</td> </tr> <tr> <td>Format</td> <td>TIFF</td> </tr> <tr> <td>Type de source</td> <td>Générique</td> </tr> <tr> <td>Type de pixel</td> <td>entier non signé</td> </tr> <tr> <td>Espace par pixel</td> <td>16 Bits</td> </tr> </tbody> </table>							Propriété	Valeur	Informations raster		Colonnes et lignes	7791, 7921	Nombre de canaux	10	Taille de cellule (X, Y)	30, 30	Taille non compressée	1,15 GB	Format	TIFF	Type de source	Générique	Type de pixel	entier non signé	Espace par pixel	16 Bits
Propriété	Valeur																									
Informations raster																										
Colonnes et lignes	7791, 7921																									
Nombre de canaux	10																									
Taille de cellule (X, Y)	30, 30																									
Taille non compressée	1,15 GB																									
Format	TIFF																									
Type de source	Générique																									
Type de pixel	entier non signé																									
Espace par pixel	16 Bits																									

- Ajouter un fichier Shapefile pour faire un sous ensemble spatial (spatial subset).
Dans la plus part des cas des limites de la zone à traiter.
- Dans l'outil traitement de raster, allez à : **Créer un jeu de données raster affiné. (Create Pan-Sharpened raster Dataset)** 


- Suivez les étapes dans le schéma ci-dessous : 



❖ Le résultat : une image avec une taille de cellule de 15X15 m (Figure 38).



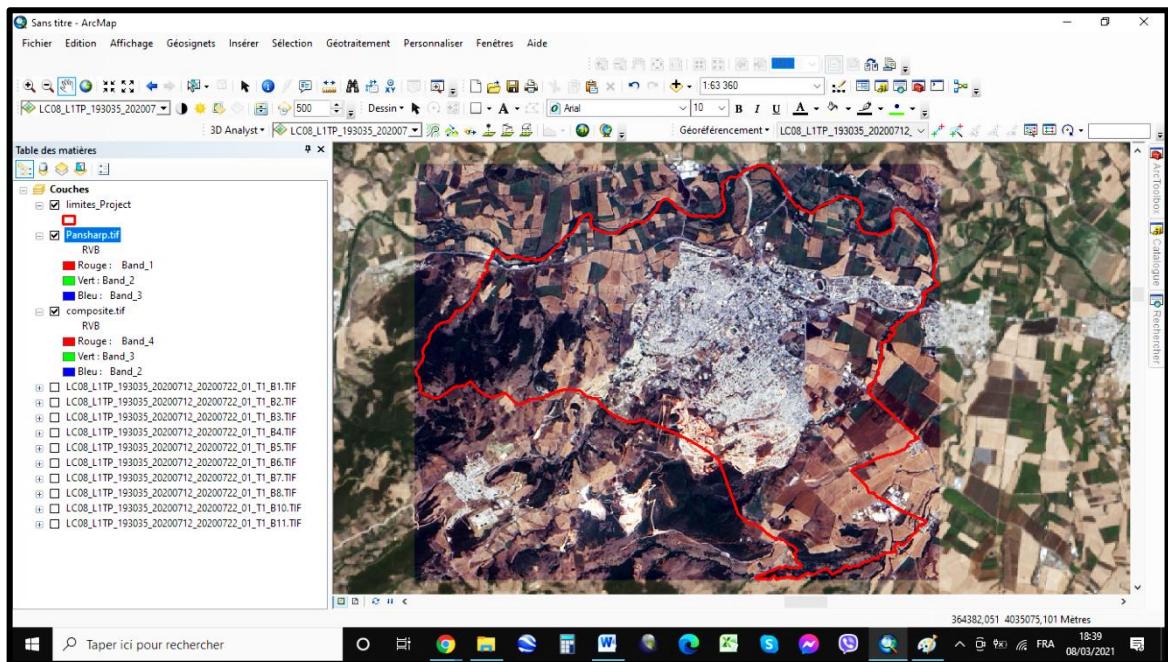


Figure 39: Une image rehaussée

TP N°5 : CLASSIFICATION SUPERVISEE ET TRAITEMENT DE POST-CLASSIFICATION

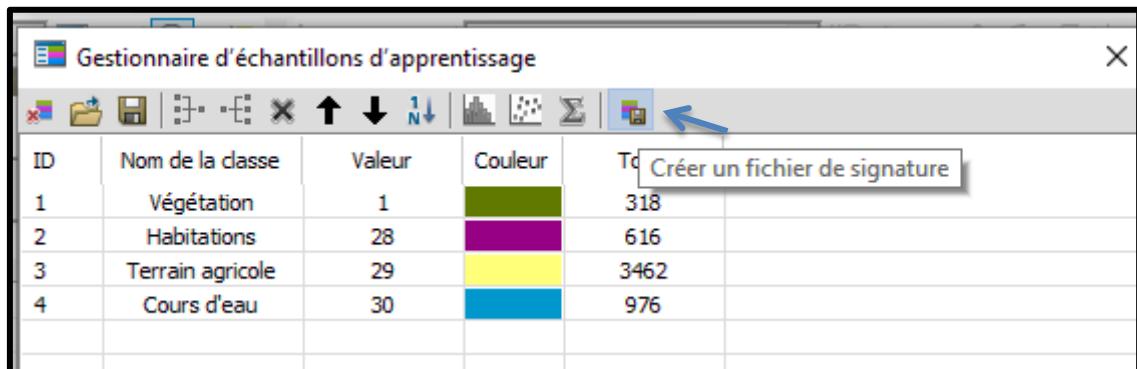


1) Classification supervisée

- Ajouter la carte prétraitée
- Sélectionnez la zone d'étude
- Ajouter la barre d'outils de classification dans la barre d'outils.
- Sélectionner Gestionnaire d'échantillon d'apprentissage sélectionné les échantillons sur la carte,
- Clique sur **merge** pour les réduire en une seule classe

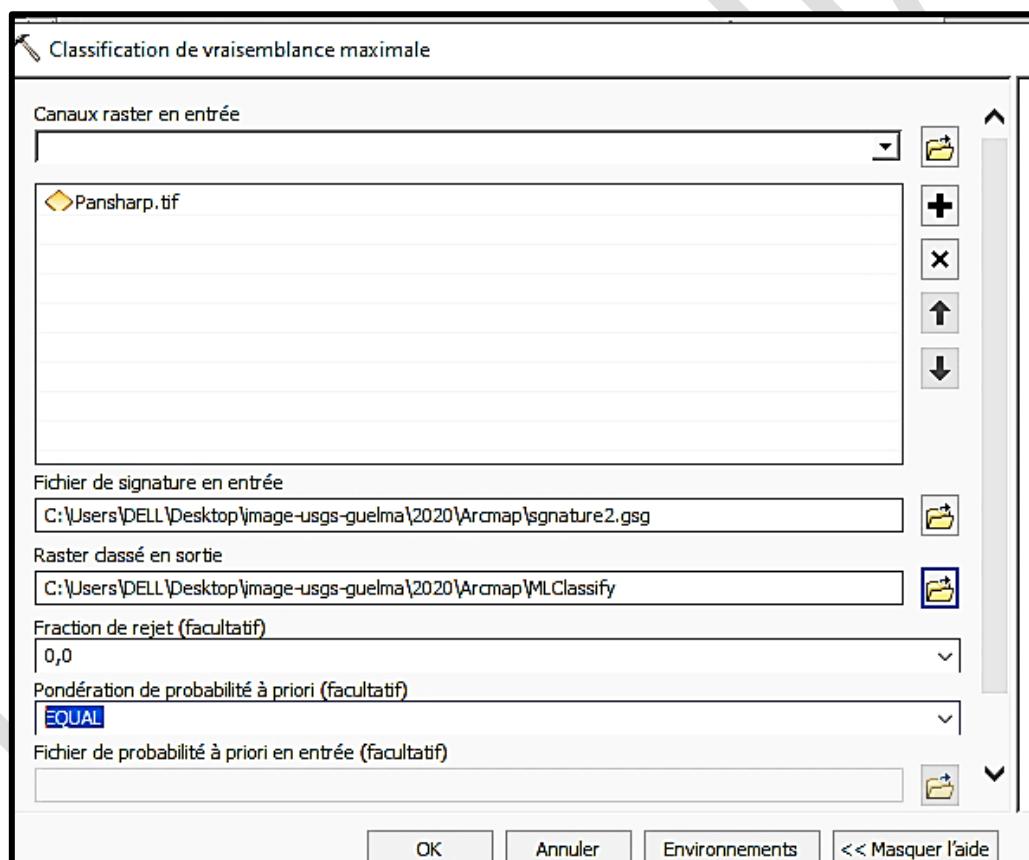
ID	Nom de la classe	Valeur	Couleur	Total
26	Class 52	52		11
27	Class 53	53		88
28	Class 54	54		45
29	Class 55	55		77
30	Class 56	56		47
31	Class 57	57		41
32	Class 58	58		113
33	Class 59	59		68
34	Class 60	60		47

- **Créer un fichier de signature.**



ID	Nom de la classe	Valeur	Couleur	Td
1	Végétation	1		318
2	Habitations	28		616
3	Terrain agricole	29		3462
4	Cours d'eau	30		976

- Allez à classification et sélectionner classification par Vraisemblance (MAXIMUM LIKELIHOOD).



L'image classée créée par l'outil Classification de vraisemblance maximale peut classer de manière incorrecte certaines cellules (bruit aléatoire) et créer de petites régions incorrectes. Pour améliorer la classification, vous pouvez reclasser ces cellules dans une classe ou un cluster avoisinant.

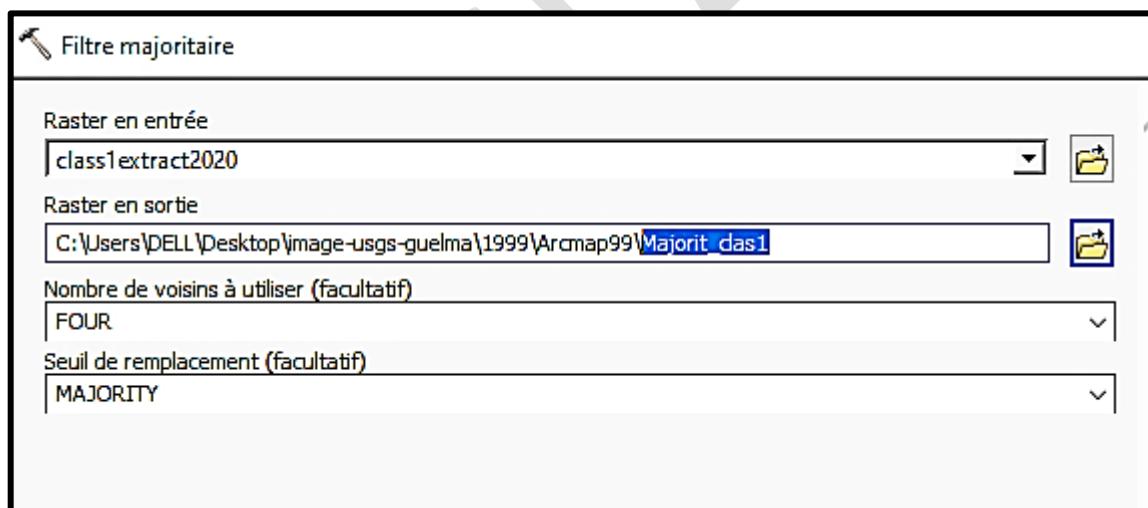
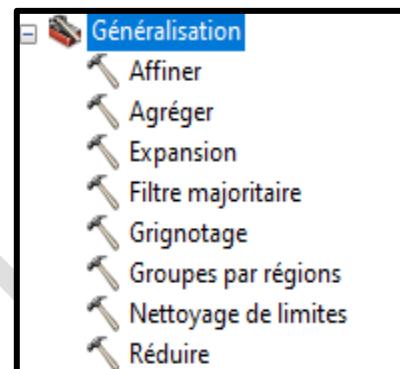
2) Technique de Post-classification

Les techniques les plus courantes de nettoyage d'une image classée sont le filtrage, le lissage des limites de classe et la suppression de petites régions isolées. La carte résultant de l'application des outils de nettoyage des données est plus esthétique.



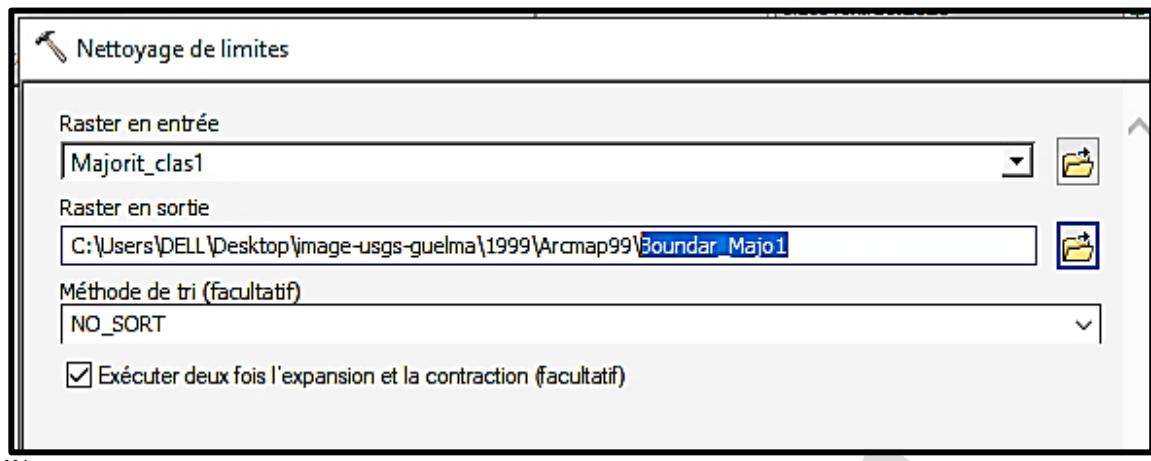
a) Filtrage de la sortie classée

Ce processus supprime les pixels isolés de l'image classée. Il est effectué par l'outil **Filtre majoritaire** ou l'outil **Statistiques focales** avec **Majorité** comme type de statistiques. La différence entre les deux outils est que l'outil Filtre majoritaire présuppose un voisinage carré de 3 x 3 pendant le traitement, alors que l'outil Statistiques focales prend en charge davantage de types (anneau ou cercle, par exemple) de voisinage.



b) Lissage de limites de classée

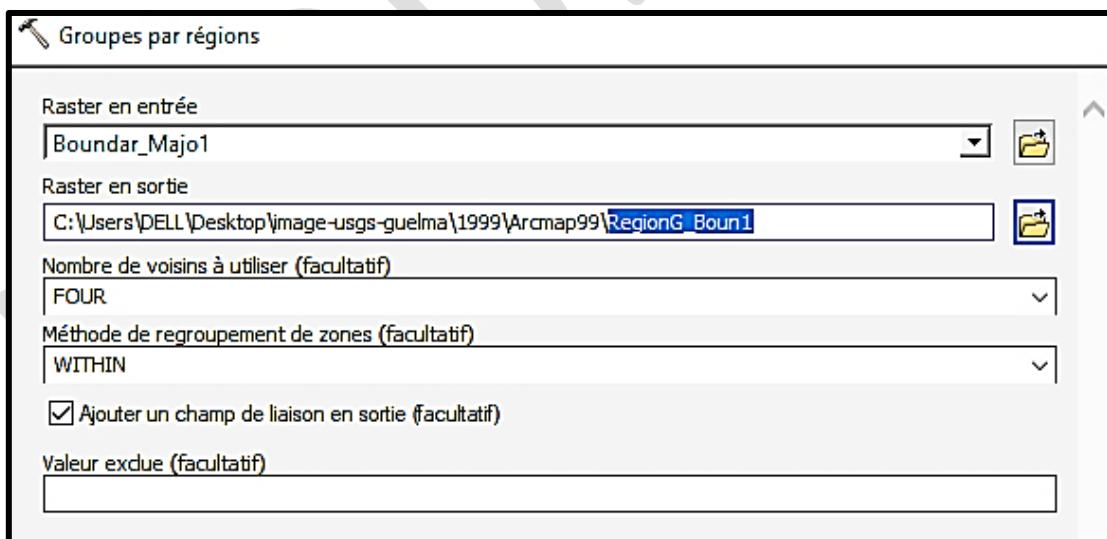
L'outil **Nettoyage de limites** regroupe les classes et lisse les tronçons irréguliers des classes. L'outil fonctionne en développant puis en réduisant les classes. Il augmente la cohérence spatiale de l'image classée. Les régions adjacentes peuvent être connectées.



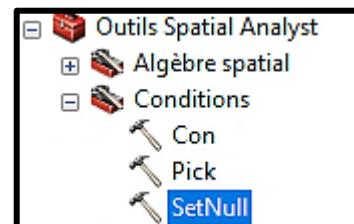
c) **Généralisation de la sortie en supprimant de petites régions isolées**

Après le processus de **filtrage et de lissage**, l'image classée doit être beaucoup plus propre qu'avant. Toutefois, il peut subsister quelques petites régions sur l'image classée. Le processus de généralisation nettoie davantage l'image en supprimant ces petites régions de l'image. Il s'agit d'un processus multi-étape qui implique plusieurs outils Spatial Analyst.

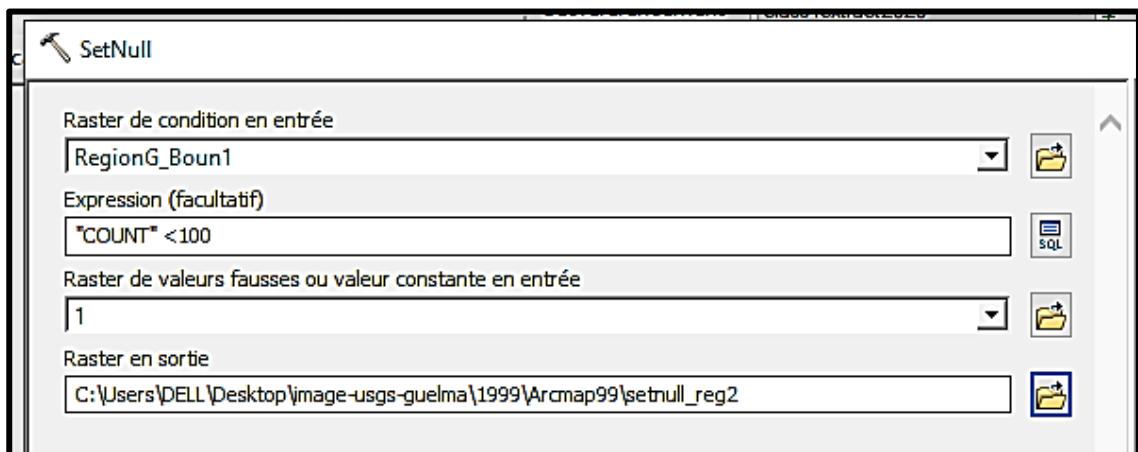
- d) Exécutez l'outil **Groupes par régions** avec l'image classée pour affecter des valeurs uniques à chaque région sur l'image.



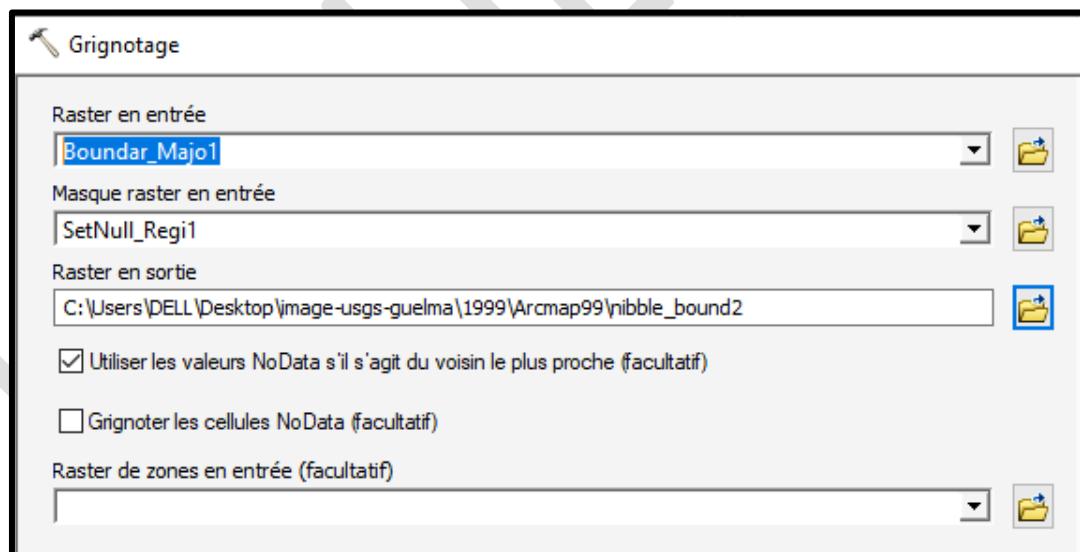
- e) Ouvrez la table attributaire de la nouvelle couche raster créée par l'outil Groupes par régions. Utilisez le nombre de pixels pour identifier le seuil de petites régions à supprimer.



- f) Créez un raster de masque pour les régions à supprimer. Pour ce faire, exécutez l'outil [SetNull](#) pour définir les régions avec de petits nombres de pixels sur une valeur Null.



- g) Exécutez l'outil [Grignotage](#) sur l'image classée. Utilisez le raster de masque créé à partir de l'outil SetNull de l'étape précédente comme **Masque raster en entrée**. Il fusionne les petites régions de l'image en sortie.



TP N°6 : APPLICATION DES INDICES SPECTRAUX DANS L'ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT



Plusieurs indices sont calculés à partir des images satellitaire afin d'analyser différents aspects de l'environnement ; la végétation, les ressources en eaux, la neige, les incendies, les satellites tels que Landsat (le plus utilisé) offrent l'opportunité de performer plusieurs opérations sur ses bandes d'où les résultats peuvent être convertis vers des indices spectraux. (Tous ces indices ont été pris du webinaire organisé par Dr Meriem BOULTIF pour les étudiants du master MEHmed le 01 juillet 2021).

❖ Les indices principaux de Landsat et sentinel

1- Indice normalisé de végétation (NDVI):

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est un indicateur numérique qui utilise les bandes spectrales rouge et proche infrarouge. Le NDVI est fortement associé au contenu végétal. Les valeurs NDVI élevées correspondent à des zones qui se reflètent davantage dans le spectre proche infrarouge. Une réflectance plus élevée dans le proche infrarouge correspond à une végétation plus dense et plus saine.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}).$$

2- Indice de végétation par différence normalisée vert (Green normalized vegetation index, GNDVI):

Cet indice est une version modifiée de NDVI, mais plus sensible à la variation des en chlorophylle dans la culture, st un indice de végétation qui permet d'estimer la photosynthèse et qui est couramment utilisé pour définir l'absorption en eau et en azote dans la couverture végétale, c-à-d un indice de végétation qui permet d'estimer la photosynthèse et qui est couramment utilisé pour définir l'absorption en eau et en azote dans la couverture végétale.

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$$

3- Enhanced Vegetation Index (EVI):

Cet indice est utilisé pour quantifier la verdure de la végétation (Vegetation Greeness), EVI corrige certaines conditions atmosphériques et le bruit de fond de la canopée et est plus sensible dans les zones à végétation dense. Il intègre une valeur « L » pour ajuster le fond de la canopée, des valeurs « C » comme coefficients de résistance atmosphérique et des valeurs de la bande bleue (B). Ces améliorations permettent de calculer l'indice sous forme de rapport entre les valeurs Rouge et Proche infrarouge, tout en réduisant le bruit de fond, le bruit atmosphérique et la saturation dans la plupart des cas (USGS, 2019).

$$\text{EVI} = G * ((\text{NIR} - R) / (\text{NIR} + C1 * R - C2 * B + L))$$

$$\text{EVI (Landsat 8)} = 2.5 * ((B5 - B4) / (B5 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1))$$

$$\text{EVI (Landsat 4 - 7)} = 2.5 * ((B4 - B3) / (B4 + 6 * B3 - 7.5 * B1 + 1))$$

$$\text{EVI (Sentinel 2)} = 2.5 * ((B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1))$$

4- Indice ajusté de sol

Cet indice est utilisé pour ajuster les influences de brillance de sol sur l'indice NDVI, dans les régions où la végétation est clairsemée. Le SAVI dérivé de la réflectance de surface Landsat est calculé comme un rapport entre les valeurs Rouge et Proche Infra Rouge, avec un facteur de correction de la luminosité du sol (L) défini comme 0,5 pour s'adapter à la plupart des types de couverture terrestre.

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R} + \text{L})) * (1 + \text{L})$$

$$\text{SAVI (Landsat 8)} = ((\text{B5} - \text{B4}) / (\text{B5} + \text{B4} + 0.5)) * (1.5)$$

$$\text{SAVI (Landsat 4 - 7)} = ((\text{B4} - \text{B3}) / (\text{B4} + \text{B3} + 0.5)) * (1.5)$$

$$\text{SAVI (Sentinel 2)} = (\text{B08} - \text{B04}) / (\text{B08} + \text{B04} + 0.428) * (1.428).$$

5- Indice d'humidité différentiel normalisé (NDMI)

Le NDMI est utilisé pour déterminer la teneur en eau de la végétation. Il est calculé comme un rapport entre les valeurs NIR et SWIR de manière traditionnelle (USGS, 2019).

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

$$\text{NDMI (Landsat 8)} = (\text{B5} - \text{B6}) / (\text{B5} + \text{B6})$$

$$\text{NDMI (Landsat 4 - 7)} = (\text{B4} - \text{B5}) / (\text{B4} + \text{B5})$$

$$\text{NDMI (Sentinelle 2)} = (\text{B8} - \text{B11}) / (\text{B8} + \text{B11})$$

6- Normalized Burned Ratio Index (NBRI)

Les incendies de forêt sont des phénomènes naturels ou artificiels graves qui détruisent les ressources naturelles, le bétail, déséquilibrent les environnements locaux, libèrent d'énormes quantités de gaz à effet de serre, etc. le NBRI utilise les bandes spectrales du proche infrarouge et de l'infrarouge à ondes courtes, qui sont sensibles pour détecter les zones brûlées et surveiller le rétablissement de l'écosystème.

$$\begin{aligned} \text{NBR} &= (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}) \\ \text{NBRI (Landsat 8)} &= (\text{B5} - \text{B7}) / (\text{B5} + \text{B7}) \\ \text{NBRI (Landsat 4 - 7)} &= (\text{B4} - \text{B7}) / (\text{B4} + \text{B7}) \\ \text{NBRI (Sentinel 2)} &= (\text{B8} - \text{B12}) / (\text{B8} + \text{B12}) \end{aligned}$$

7- Indice de sol nu (BSI)

L'indice de sol nu (BSI) est un indicateur numérique qui combine les bandes spectrales bleue, rouge, proche infrarouge et infrarouge à ondes courtes pour capturer les variations du sol. Ces bandes spectrales sont utilisées de manière normalisée. L'infrarouge à ondes courtes et les bandes spectrales rouges sont utilisées pour quantifier la composition minérale du sol, tandis que les bandes spectrales bleues et proche infrarouge sont utilisés pour améliorer la présence de végétation.

$$\begin{aligned} \text{BSI} &= ((\text{Red}+\text{SWIR}) - (\text{NIR}+\text{Blue})) / ((\text{Red}+\text{SWIR}) + (\text{NIR}+\text{Blue})) \\ \text{BSI (Landsat 8)} &= (\text{B6} + \text{B4}) - (\text{B5} + \text{B2}) / (\text{B6} + \text{B4}) + (\text{B5} + \text{B2}) \\ \text{BSI (Landsat 4 - 7)} &= (\text{B5} + \text{B3}) - (\text{B4} + \text{B1}) / (\text{B5} + \text{B3}) + (\text{B4} + \text{B1}) \\ \text{BSI (Sentinel 2)} &= (\text{B11} + \text{B4}) - (\text{B8} + \text{B2}) / (\text{B11} + \text{B4}) + (\text{B8} + \text{B2}) \end{aligned}$$

8- Normalized Difference Snow Index (NDSI)

L'indice de neige par différence normalisée (NDSI) est un indicateur numérique qui montre la couverture de neige sur les zones terrestres. Les bandes spectrales vertes et infrarouges à ondes courtes (SWIR) sont utilisées dans cette formule pour cartographier la couverture neigeuse. Étant donné que la neige absorbe la majeure partie du rayonnement incident dans le SWIR alors que les nuages ne le font pas, cela permet au NDSI de distinguer la neige des nuages. Cette formule est couramment utilisée dans les applications de cartographie de la couverture neigeuse/glace ainsi que dans la surveillance des glaciers.

$$\begin{aligned} \text{NDSI} &= (\text{Green}-\text{SWIR}) / (\text{Green}+\text{SWIR}) \\ \text{NDSI (Landsat 8)} &= (\text{B3} - \text{B6}) / (\text{B3} + \text{B6}) \\ \text{NDSI (Landsat 4 - 7)} &= (\text{B2} - \text{B5}) / (\text{B2} + \text{B5}) \\ \text{NDSI (Sentinel 2)} &= (\text{B3} - \text{B11}) / (\text{B3} + \text{B11}) \end{aligned}$$

9- Clay Minerals Ratio

$$\text{(B1/B2): CMR Clay Minerals Ratio} = \text{SWIR1/SWIR2}$$

10- Indice d'eau de différence normalisé. (NDWI-Normalized Difference Water Index)

Le NDWI (*Normalized Difference Water Index*), indice d'eau de différence normalisé est le plus approprié pour la cartographie des masses d'eau.

Les valeurs des masses d'eau sont supérieures à 0,5. La végétation a des valeurs plus petites. Les fonctions intégrées ont des valeurs positives comprises entre zéro et 0,2.

$$\text{(B3} - \text{B8) / (B3 + B8)}$$

11- Indice de construction de différence normalisée (NDBI-Normalized Difference Built-up Index)

L'indice de construction de différence normalisée (NDBI) décrit la **densité de construction de toute zone géographique**. Le NDBI est calculé comme un rapport entre l'infrarouge à ondes courtes (SWIR) et le proche infrarouge (NIR).

Pour réaliser le NDBI, il faut appliquer la formule suivante :

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR-NIR}) / (\text{SWIR+NIR})$$

12- Indice de risque d'incendie de forêts (IR)

L'indice de risque d'incendie de forêts fait appel à l'application d'un modèle mis en place par Dagorne (1994). Le modèle repose sur la formule suivante :

$$\text{IR} = 5.\text{IC} + 2.\text{IH} + \text{IM}$$

- **IR** : Indice de Risque de feu de forêt ;
- **IC** : Indice de Combustibilité (facteur lié au combustible) ;

- **IH** : Indice d'occupation Humaine (facteur lié à l'activité humaine) ;
- **IM** : Indice topo Morphologique (facteur lié au topo morphologie du terrain)

La caractérisation de cet indice est basée sur la variabilité spatiale du risque d'incendie dont la détermination est issue des paramètres physiques et humains intervenant dans le modèle choisi.

12.1. Indice topo-morphologique (IM) :

Trois paramètres topographiques interviennent dans le modèle : la pente, l'exposition et l'altitude. Tous ces paramètres sont déduits à partir du modèle numérique de terrain (M.N.T) de la région. Cet indice est exprimé par la relation suivante :

$$\boxed{\mathbf{IM} = 3p + (m + e)}$$

Avec :

- **p** : la pente ;
- **m** : la topo morphologie ;
- **e** : l'exposition.

La pente joue un rôle très important dans la propagation du feu, plus la pente n'est raide, plus le feu est rapide.

12.2. Indice de Combustibilité (IC) :

La végétation est caractérisée par sa combustibilité qui représente son aptitude à propager le feu en se consumant. Elle traduit donc sa façon de se consumer, en libérant des quantités de chaleur plus ou moins importantes. La combustibilité dépend de la structure et des espèces dominantes de la forêt. Elle est corrélée à la quantité de biomasse combustible (BV) lié à la structure du combustible et sa composition.

Pour évaluer l'indice de combustibilité (IC), (Mariel A., 1995) a proposé la méthode suivante :

$$\boxed{\mathbf{IC=39+0,23 \, BV \, (E1+E2-7,18).}}$$

Avec :

BV : représente le biovolume de la formation végétale ;

E1 : représente les notes de combustibilité pour les ligneux hauts les plus dominantes ;
E2 : représente les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées les plus dominantes

12.3. Indice d'occupation humaine (IH) :

L'homme est responsable de la plupart des mises à feu (volontaires et involontaires) des forêts. Deux aspects source de départ de feu et enjeux, (i) Le premier paramètre (IV) est basé sur l'impact anthropique sur le proche voisinage forestier sur une profondeur de 100 m. Nous supposons que l'être humain exerce une pression sur son proche voisinage forestier ; (ii) Le deuxième paramètre (ID) tient compte les infrastructures routières (routes, pistes, sentiers).

Cependant les éclosions d'incendie sont beaucoup plus fréquentes près des routes et des chemins de parcours des forêts. L'approche statistique développée par Robin (2006), montre une corrélation claire entre le nombre des foyers près d'une route ou d'habitations.

Pour évaluer l'effet de l'influence humaine sur les risques d'incendie de forêts, on adopte le modèle suivant :

$$\text{IH} = \text{IV} + 2 \text{ ID}$$

Avec :

IV : indice de voisinage ;

ID : indice de présence humaine.

L'indice d'occupation humaine sera, alors, exprimé par la combinaison linéaire des deux indices.

13. Calcul de la température de surface (LST)

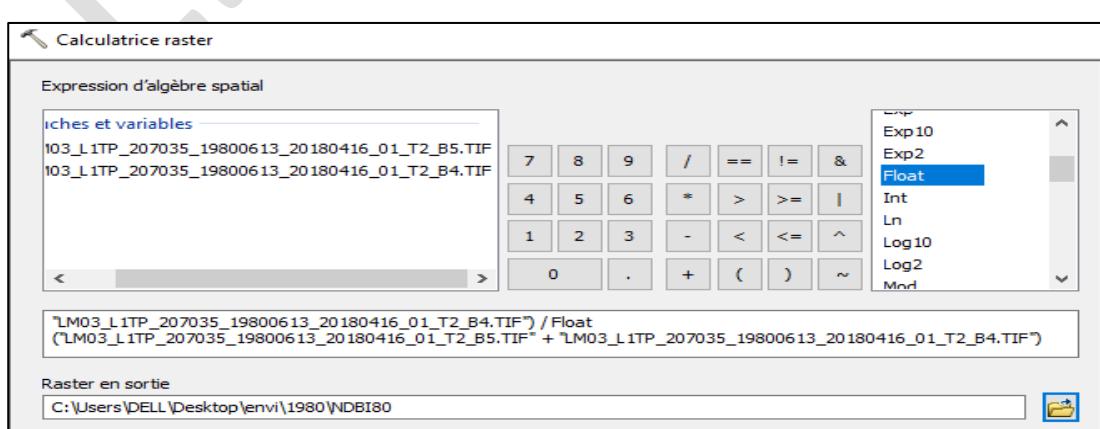
$$LST = \left(\frac{\text{BT}}{1 + \left(w * \frac{\text{bt}}{\text{P}} \right) * \ln(\epsilon)} \right)$$

- **BT** = la température de brillance
- ϵ = l'émissivité
- **P** = 14388
- **w** = la bande spectrale x

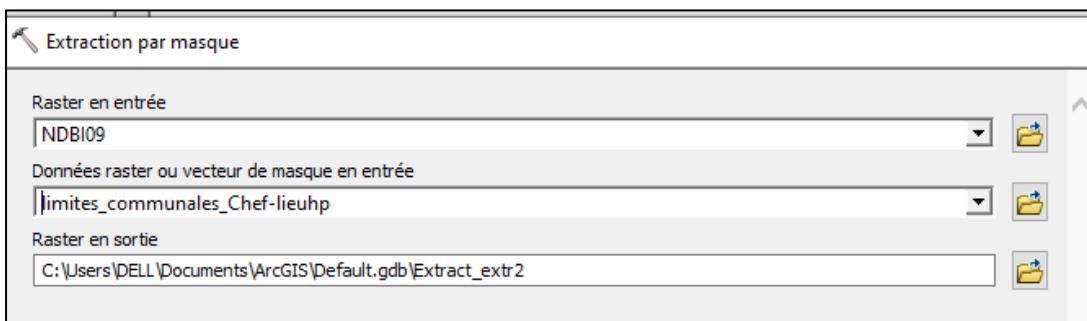
TP N° 7: REALISATION DE L'INDICE DU BÂTI (NDBI)



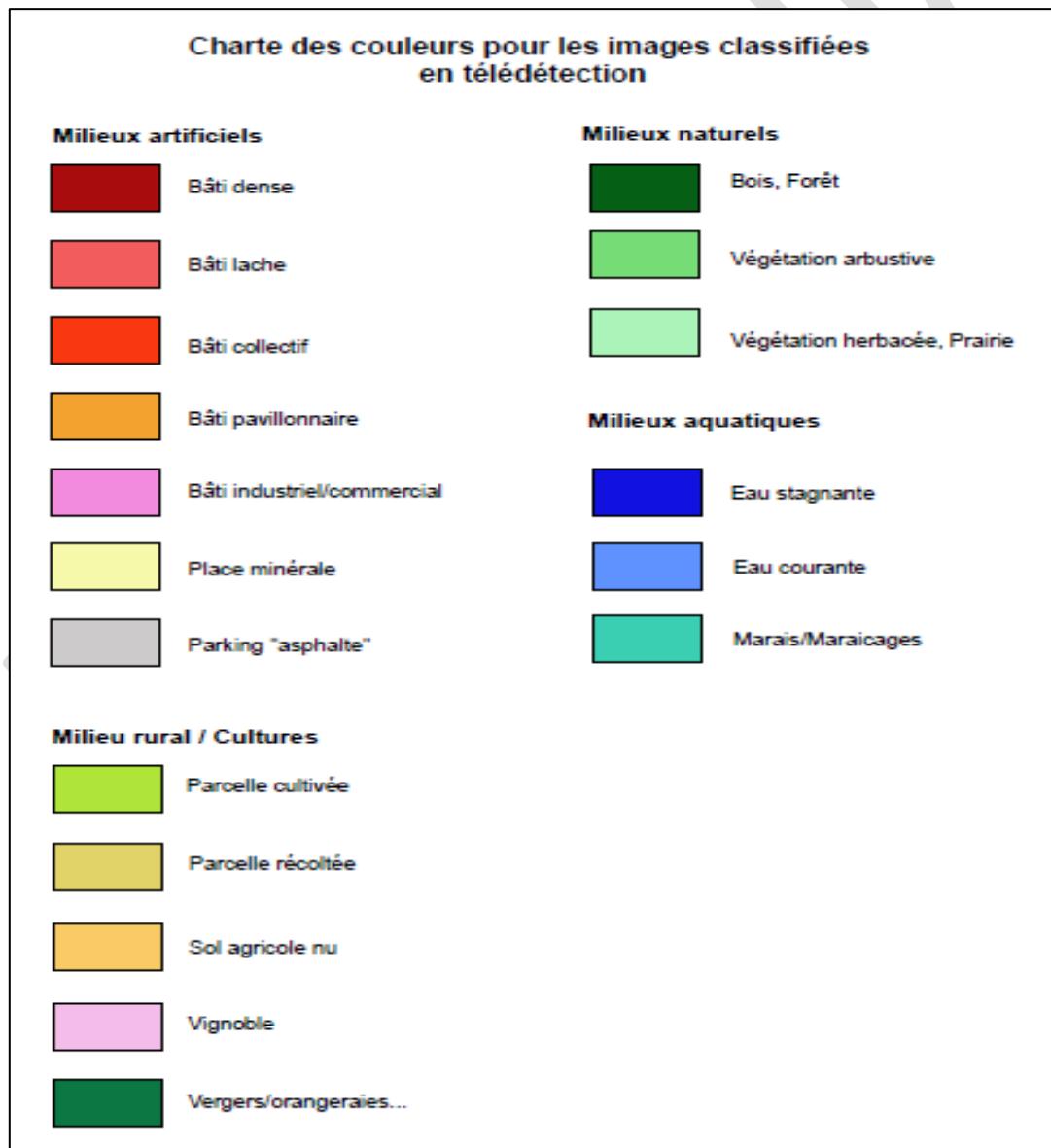
- **Objectif du TP :** Réalisation de l'indice du bâti sous Arcmap.
1. Ouvrir Arcmap et ajouter les bandes 4 et 5 de la scène du 13 juin 1980 de la région de Guelma téléchargées sur le site d'usgs.gov :
 - LM03_L1TP_207035_19800613_20180416_01_T2_B4.TIF
 - LM03_L1TP_207035_19800613_20180416_01_T2_B5.TIF
 2. Allez à **Outils_Spatial_Analyst**, à **Algèbre spatial** puis **calculatrice raster**.
 3. Ecrivez la formule en ajoutant « Float » :
- $$\text{Float (B5-B4) / float (B5+B4)}$$
4. Spécifiez le raster en sortie (exemple NDBI80) et cliquez sur Ok.



5. Allez à **Extraction par masque** pour découper la zone d'étude.



6. Allez à **Symbologie** et choisir les classes. (Bâti et non bâti ou bâti dense et bâti lâche).
7. Utilisez la charte des couleurs pour les images classifiées en télédétection suivantes :



Source : A. SERRADJ (2018), (divers).

8. Résultats :

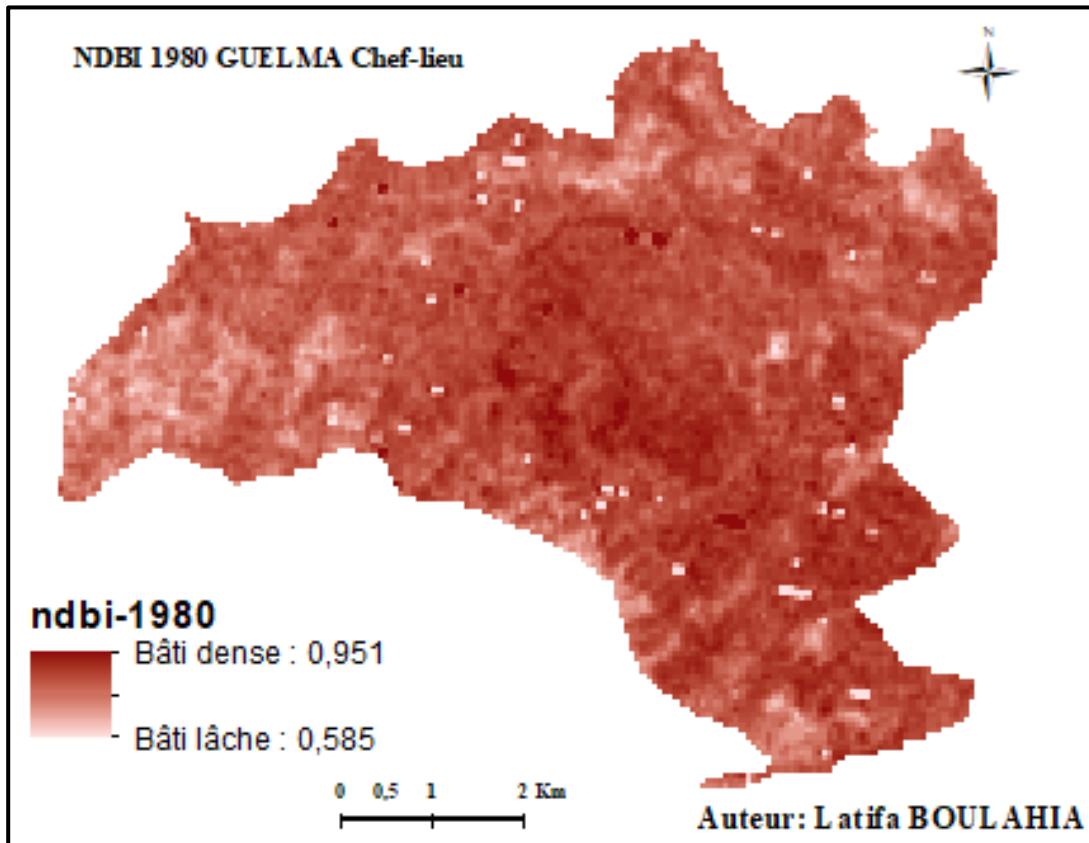


Figure 40: Indice de bâti dans la commune Chef-lieu de la wilaya de Guelma

Exercice

- Téléchargez une scène Landsat 8 OLI de 2020 sur la même région et appliquez les mêmes étapes pour la réalisation du NDBI.
- Faites une comparaison de l'évolution du bâti.

TP N° 8: REALISATION DE L'INDICE DE VEGETATION NORMALISE (NDVI)



Le NDVI (Indice de végétation par différence normalisée) issu de Landsat est utilisé pour quantifier la verdure de la végétation et aide à comprendre la densité de la végétation et à évaluer les changements dans la santé de la végétation. Le NDVI sert à quantifier la verdure de la végétation et est utile pour comprendre la densité de la végétation et évaluer les changements dans la santé de celle-ci. Le NDVI est calculé comme un ratio entre les valeurs du rouge (R) et du proche infrarouge (NIR) de manière traditionnelle.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Étant donné que les valeurs de l'indice NDVI varient théoriquement de -1 à +1, les valeurs négatives sont associées aux surfaces non végétales comme la neige, l'eau ou les nuages. Le NDVI montre des valeurs proches de 0 pour les sols nus.

Tout d'abord, il faut utiliser des images composites multi-spectrales qui assemblent les différentes bandes de l'image (DJAGNIKPO KPEDENOU Koffi & al. 2016) :

- Pour la scène Landsat 3 (1980), utilisez une composition de couleurs "3-2-1",
- Pour la scène Landsat 7 (1999), utilisez la combinaison de bandes "4-3-2"

- Pour la scène Landsat 8 (2020), utilisez la combinaison de bandes (5-4-3).

De ce fait, nous remarquons qu'une bonne partie de notre terrain a une couverture végétale assez importante, il faut donc déterminer l'indice de végétation le NDVI pour chaque année, afin de ne pas être confondu avec une végétation basse.

Résultats :

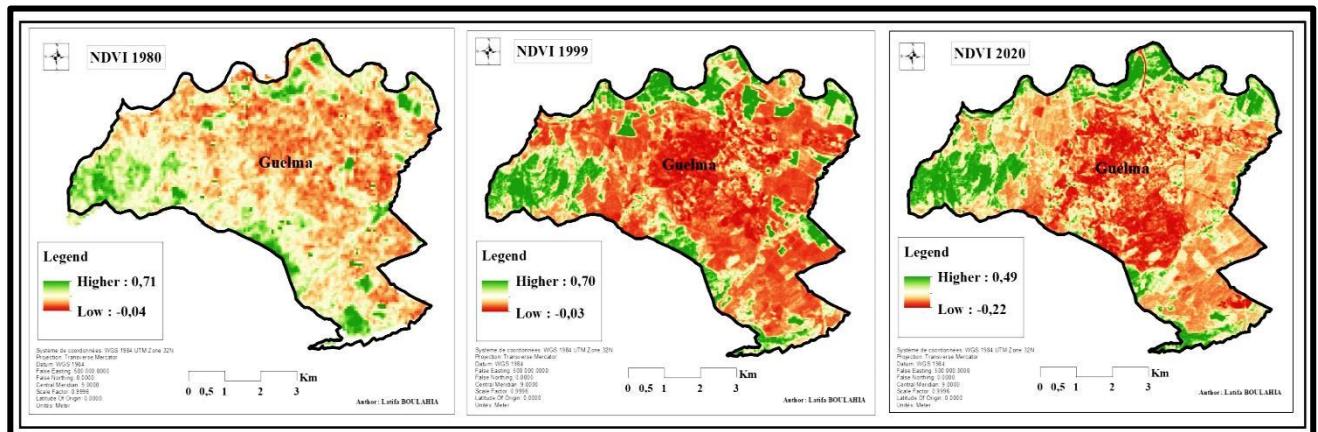
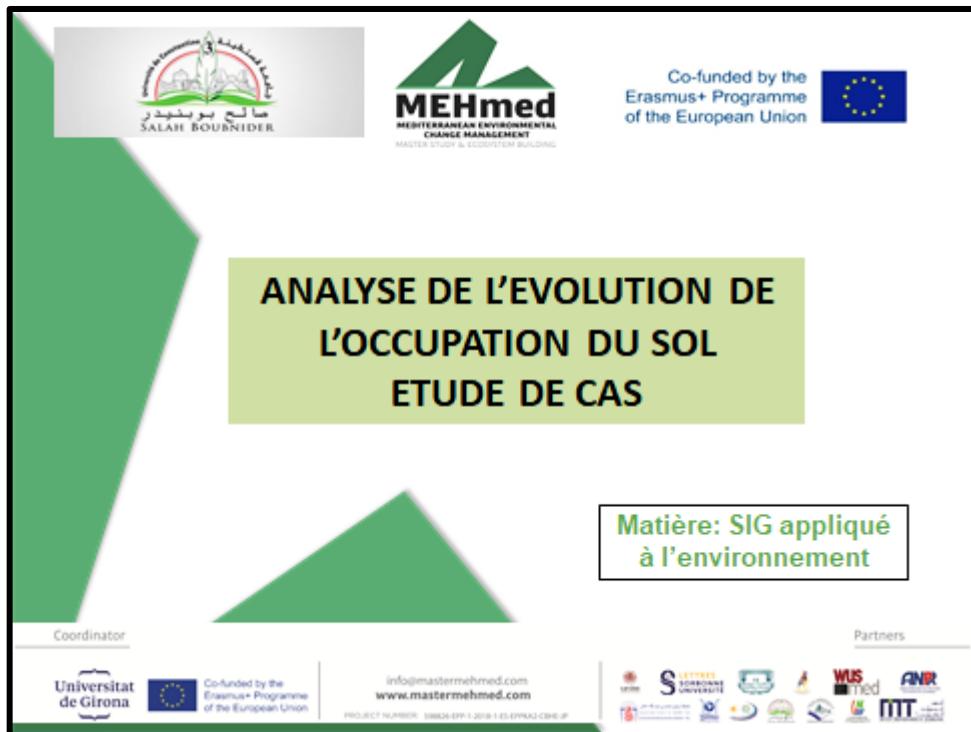


Figure 41: NDVI de la commune Chef-lieu de la wilaya de Guelma

TP N°9: ANALYSE DE L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL ETUDE DE CAS



1) Description des classes d'occupation du sol

- Choisir l'exemple de zone d'étude : Guelma chef-lieu.
- Choisir 4 classes d'occupation du sol pour la classification des images Landsat.

Tableau 6 Les classes retenues pour la classification.

Classes	Désignation	Description
1	Végétation	Forêts denses et forêt claires
2	EAU	Regroupant les cours d'eau, les retenues collinaires, sont identifiables par leur couleur bleu clair. Se joint à cette catégorie un important réseau de drainage.
3	Voiries, habitats et sols nu	Zones d'habitations et d'établissements humains comportant généralement des portions de végétation entre les bâtis et le sol nu.
4	Terrain agricole	C'est une zone formée de champs de culture sous forme de mosaïques et de figures géométriques. Les cultures maraîchères se trouvent au Nord de la ville et les cultures céréalières tout autour.

- Après, calculez les superficies des unités d'occupation du sol afin d'évaluer les changements intervenus au niveau de chaque année sélectionnée.

- La matrice de confusion pourra vous donner le résultat global de la classification.
- Calculez les taux de changement global et les superficies des classes d'occupation du sol entre les années 1980 et 2020 en utilisant l'équation proposée par la FAO (1996) pour détecter les changements survenus au sein de l'espace urbain de Guelma durant la période d'étude.

« Les valeurs positives représentent une progression de la superficie de la classe pendant la période analysée tandis que les valeurs négatives indiquent la perte de surface d'une classe entre les deux dates. Quant aux valeurs proches de zéro, elles expriment une relative stabilité de la classe les deux périodes ».

Tg : Taux de
Changement Global.

$$Tg = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100$$

Avec S_1 la surface d'une classe d'unité de surface à la date t_1 ; S_2 la superficie de la même classe d'unité de surface à la date t_2

❖ Résultats :

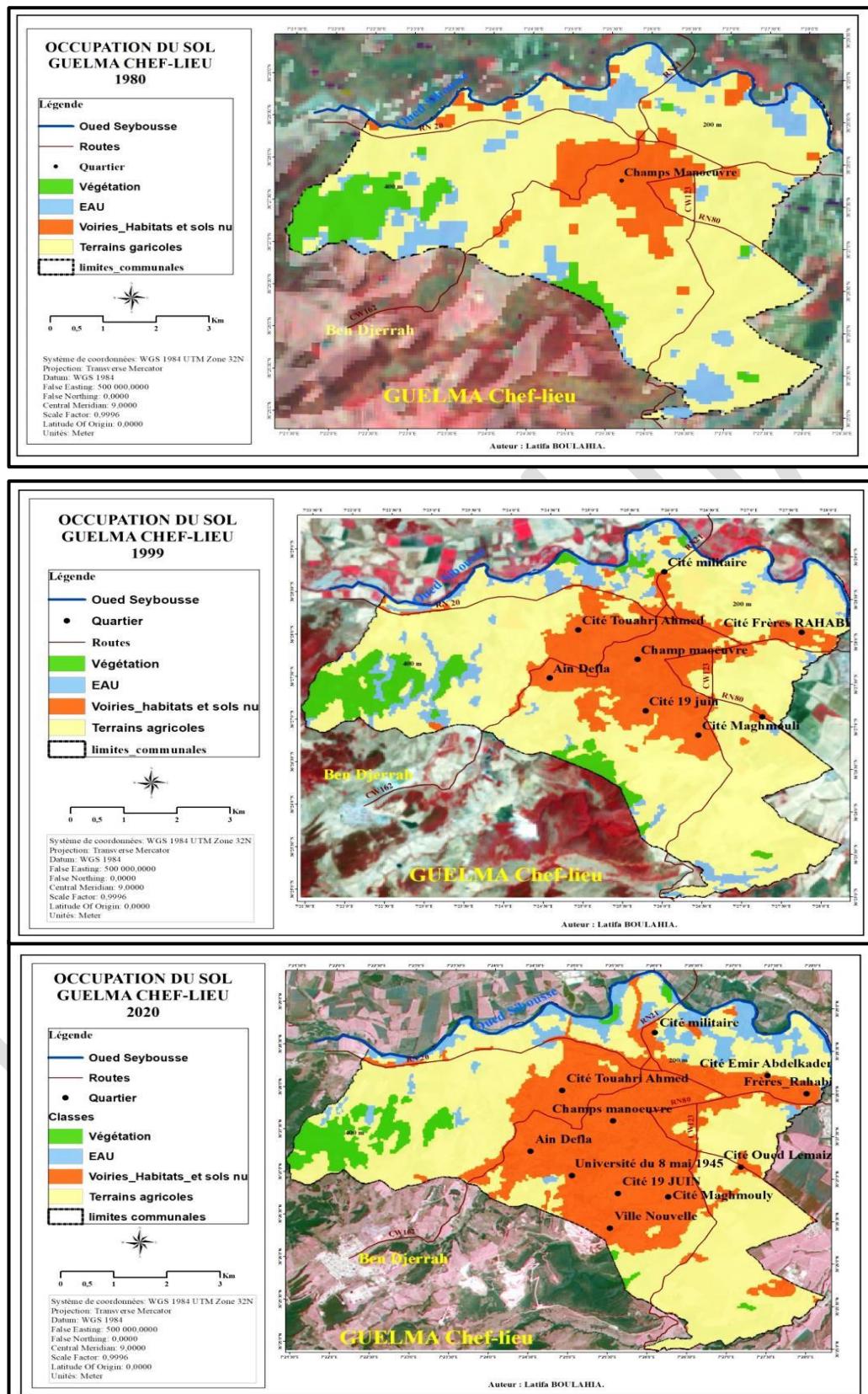


Figure 42: Évolution du Land Cover de la commune Chef-lieu de la wilaya de Guelma

TP N°10: INDICE DE RISQUE D'INCENDIE DE FORÊTS (IR) EN MEDITERANNEE. Cas de la wilaya de Skikda



- **Objectif du TP :** Réalisation de l'indice des incendies de forêt dans la wilaya de Skikda.

1ere étape : Carte de Topo-morphologie

- Télécharger le SRTM de la région, faire ressortir le MNT de Skikda.
- Réaliser l'Indice de Topo-morphologie (IM) : carte des pentes + carte des expositions+ carte de topo morphologie.

La position dans le versant ou la topo-morphologie «m» pondère l'intensité du feu en fonction de la position sur le relief. La topo-morphologie a été retenue en fonction des classes de pentes dérivées du MNT. La carte topo-morphologie c'est la superposition entre la carte de pente et le MNT. **M= Pente + MNT**, utilisez **raster calculator** sous ARC GIS 10.8.

L'indice topo-morphologique est obtenu par superposition de la carte de pentes, de l'exposition et de la topo-morphologie et l'intégration de la formule de l'indice topo-morphologique dans le SIG ; **IM = 3p + (m + e)**. La superposition dans Raster calculator dans ARC GIS 10.8.

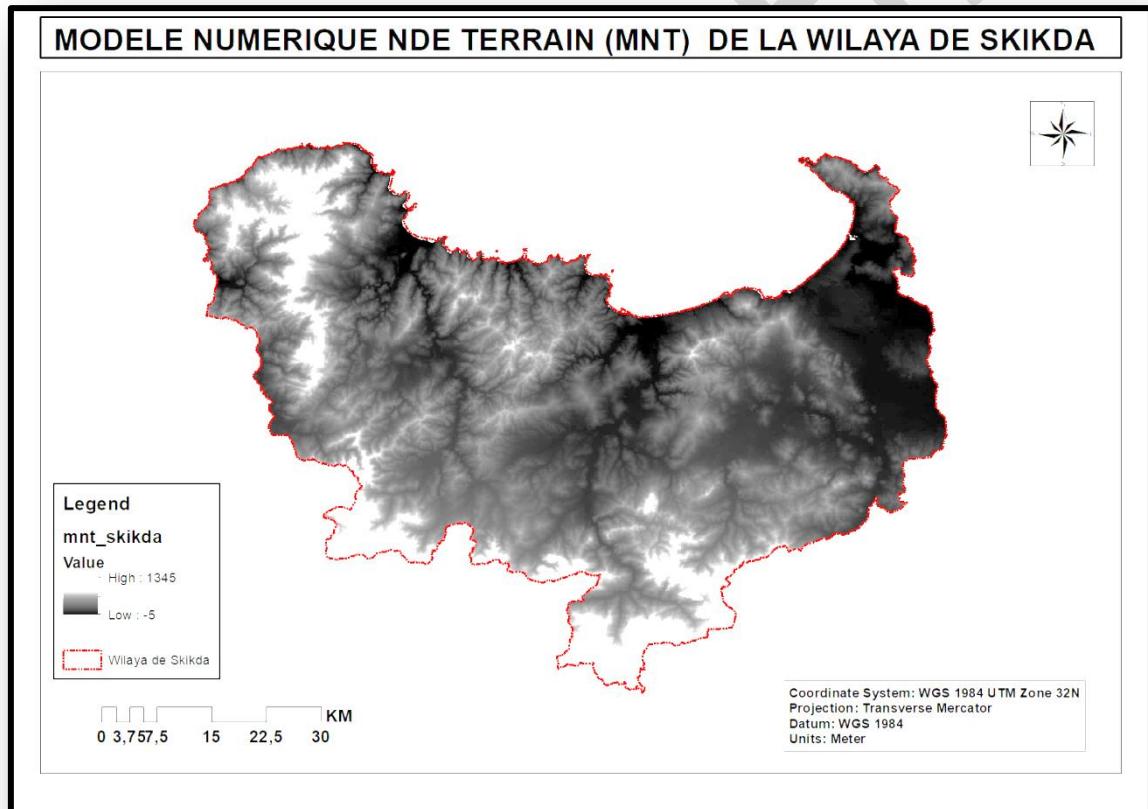
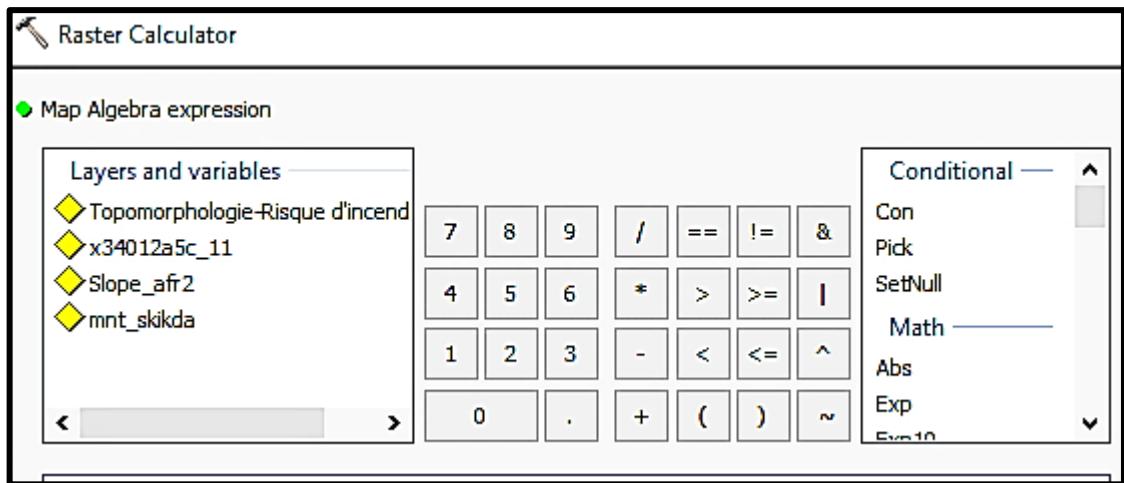


Figure 43: MNT de la wilaya de Skikda

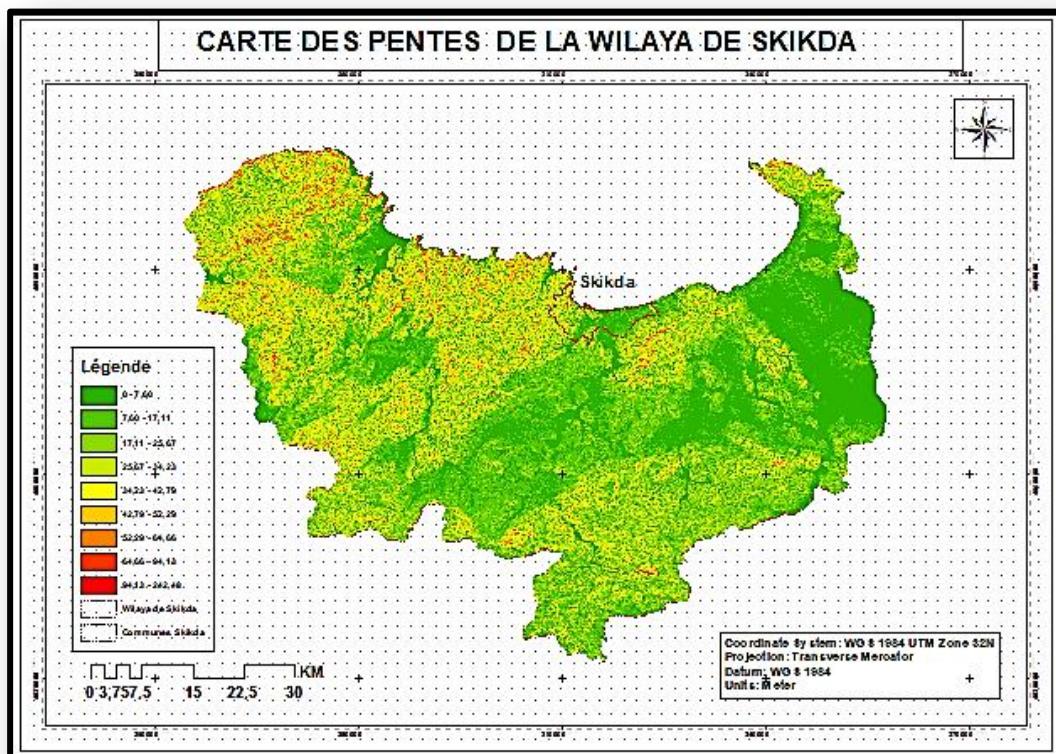


Figure 44: Carte des pentes de la wilaya de Skikda

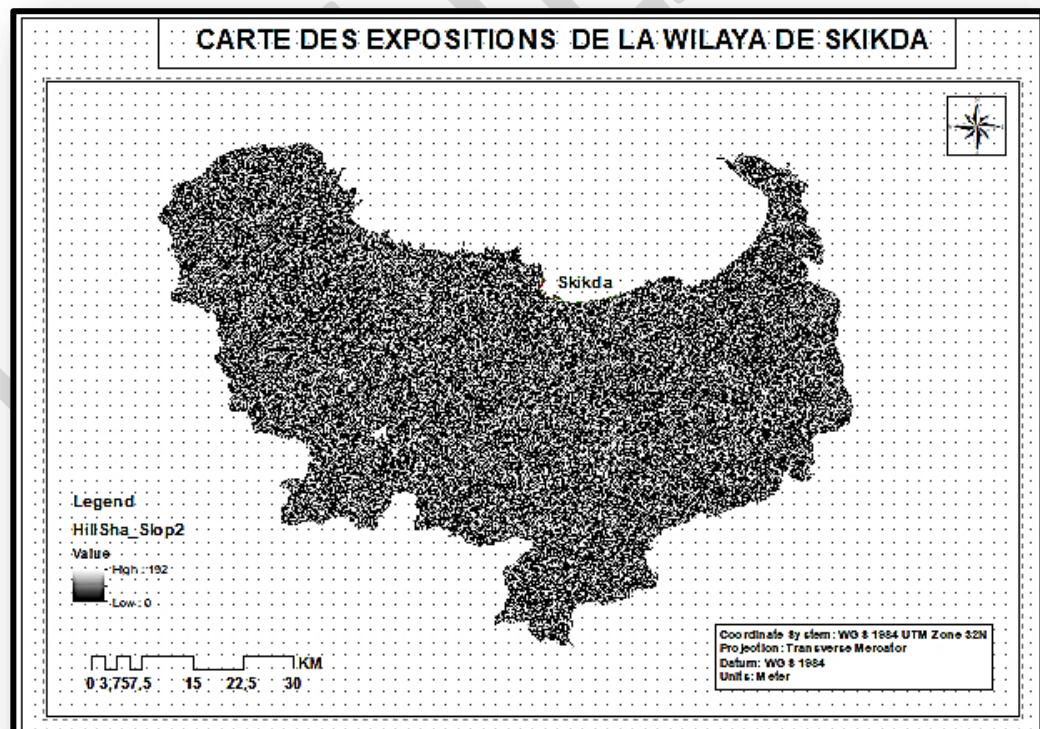


Figure 45: Carte des expositions de la wilaya de Skikda

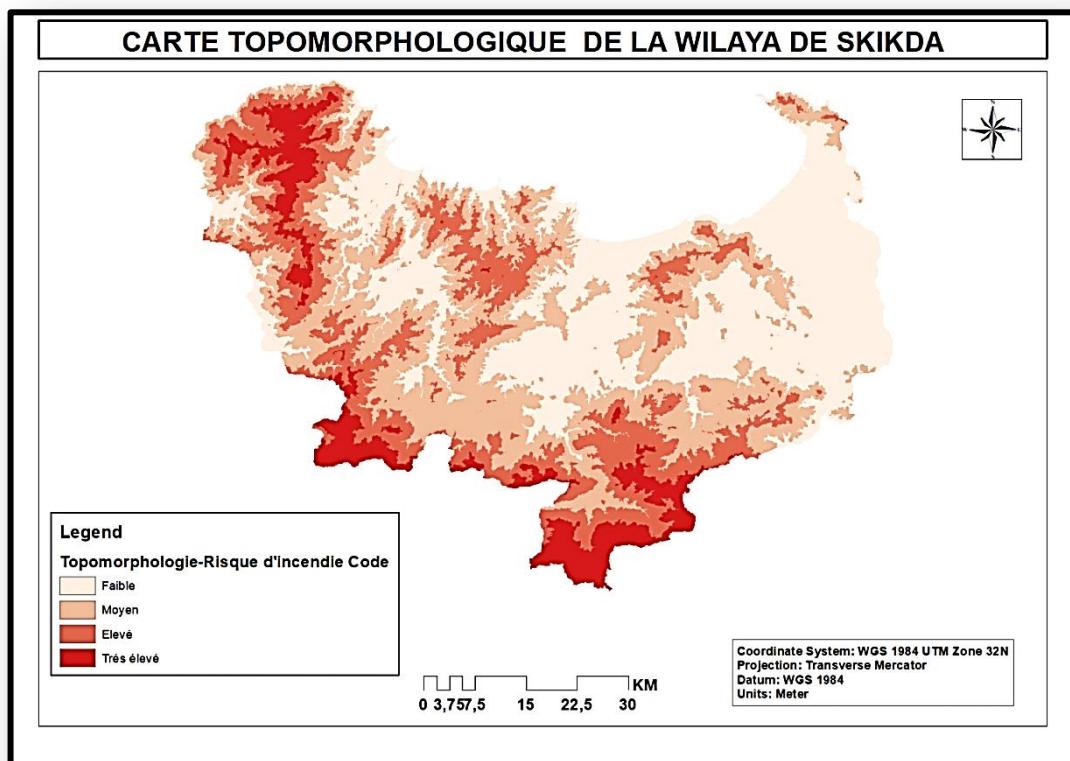


Figure 46: Carte Topomorphologique de la wilaya de Skikda

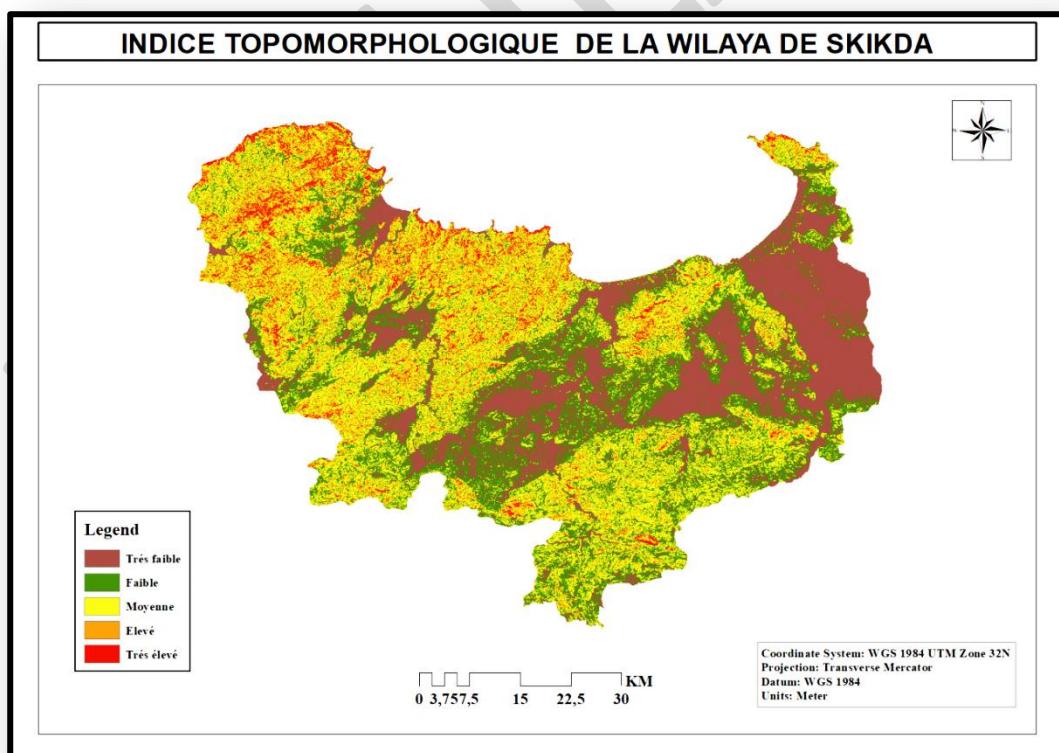


Figure 47: Lindice Topomprphologique de la wilaya de Skikda

2eme étape : Réalisez l'Indice de combustibilité : utilisez le modèle de Dagone.

- Pour réaliser l'Indice de combustibilité, réalisez d'abord l'NDVI. Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1. $NDVI = PIR - R / PIR + R$. Avec : PIR : La bande Proche-infra-rouge ; R : La bande rouge.
- Elaborez la carte du biovolume dans raster calculator à partir de la formule :
$$[3,4] : ((NDVI \times 50) + 50) / 100 \times 50$$
- Elaborez la carte des notes de combustibilités à partir de la carte de formation foresterie et du tableau des notes de combustibilités qui a pour formule :
$$[3,4] : E = E1 + E2$$
. Avec : E1 : les notes de combustibilité pour les ligneux hauts ; E2 : les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées.

Créez dans la table attributaires trois colonnes pour : 1ère colonne d'E1, la 2ème colonne d'E2 et la 3ème colonne de E. E1 et E2 seront renseignés à partir du tableau des notes de combustibilité de l'espèce végétale. Ils prennent en considération le type de plante qui brûle rapidement ou non, et si sa longueur est courte ou longue, nous affectons à chaque plante sa valeur à partir du tableau.

Au final, E sera déroulée dans **raster calculator** dans ARC GIS 10.8.

L'estimation du biovolume global de la végétation à partir de l'NDVI, nécessite de mettre en place une échelle d'équivalence entre les deux valeurs. Sachant que les valeurs théoriques du biovolume varient entre 0 et 50 et que celles de l'NDVI, concernant la végétation, sont comprises entre 0,1 et 1, il suffit donc de faire correspondre ces deux intervalles. Dans ce cas, la valeur 0,1 de l'NDVI correspondra à la valeur 0 du biovolume et celle de 1 sera équivalente à 50.

Cependant, avant d'effectuer cette équivalence, une dernière étape de validation doit être réalisée pour vérifier si les valeurs de l'NDVI calculées sur l'image satellite expriment bien la quantité réelle du biovolume.

- La carte finale de l'indice de combustibilité consiste en la superposition de la carte de E et la carte de biovolume sous raster calculator dans ARC GIS 10.8.

3eme étape : Indice d'occupation Humaine (IH)

L'approche statistique développée par Robin [9], montre une corrélation claire entre le nombre des foyers près d'une route ou d'habitations. Pour évaluer l'effet humain sur les risques d'incendie, on a digitalisé les différentes routes, chemins et les zones d'habitats à partir d'occupation de sol et Google Earth. L'indice d'occupation humaine, consiste en la superposition de deux cartes, la carte de proximité de routes et la proximité des bâtis :

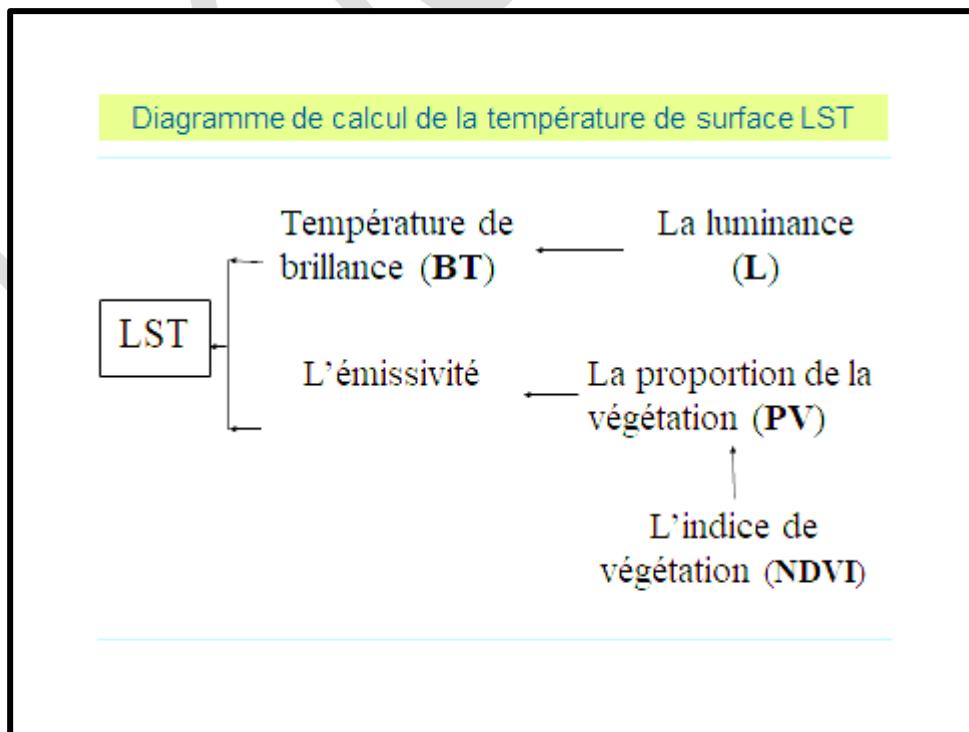
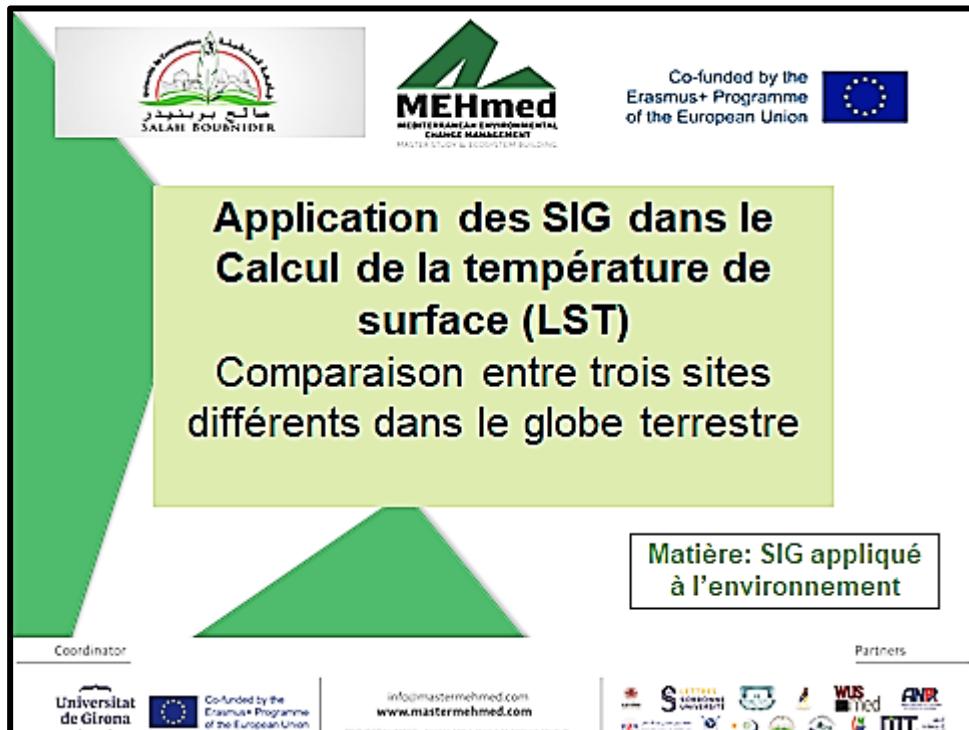
Les agglomérations se sont appariées à partir de l'occupation du sol et l'OCS à partir d'ESRI classification Machine Learning Sentinel 2 :

Sous Arcgis, les agglomérations ont été Buffées (multi buffer) comme la suite : Les Proximités bâtis ont été classées (500-1000- 1500-2000) en mètre de chaque élément, un code a été attribué à ces derniers de 1 à 5, selon l'éloignement des forêts avec le degré de risque de feu de forêt. Quand la proximité de bâti inférieur de 500 le risque est très élevé. 3.2. Carte de proximité des routes

Les routes ont été appariées à partir de la direction de la protection civile de wilaya de Skikda ont été Buffées (Multi-buffer) sous ARC GIS 10.8 (Fig. 12). AOUDA et MAHDI Revue Agrobiologia (2023) 13(2): 3664-3675 3672 Les Proximités bâtis ont été classées de (200-400- 600-800) en mètre de chaque élément et enfin, on a codé ces derniers de 1 à 5 selon l'éloignement des forêts avec le degré de risque de feu de forêt c'est-à-dire quand la proximité de bâti inférieur de 200, le risque est très élevée.

TP N°11: APPLICATION DES SIG DANS LE CALCUL DE LA TEMPERATURE DE SURFACE (LST)
COMPARAISON ENTRE TROIS SITES DIFFERENTS DANS LE GLOBE TERRESTRE

TP préparé en collaboration avec Mme Dounia KHELLAF du laboratoire ABE.



1

Convertir les valeurs numériques de la bande thermique (band10/ band11) en **luminance (TOA)**

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L$$

- L_{λ} = Luminance
- M_L = RADIANCE_MULT_BAND_X,
- A_L = RADIANCE_ADD_BAND_X,
- Q_{cal} = la bande spectral thermique considérée

EXEMPLE:

$$L_{B10} = 0.0003342 \times \text{BAND10} + 0.1$$

Luminance = Radiance = Top Of the Atmosphere (TOA)

Conversion les valeurs numériques en luminance (TOA)

$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L$

BANDE 10:
 $L_{B10} = 0.0003342 \times \text{BAND10} + 0.1$

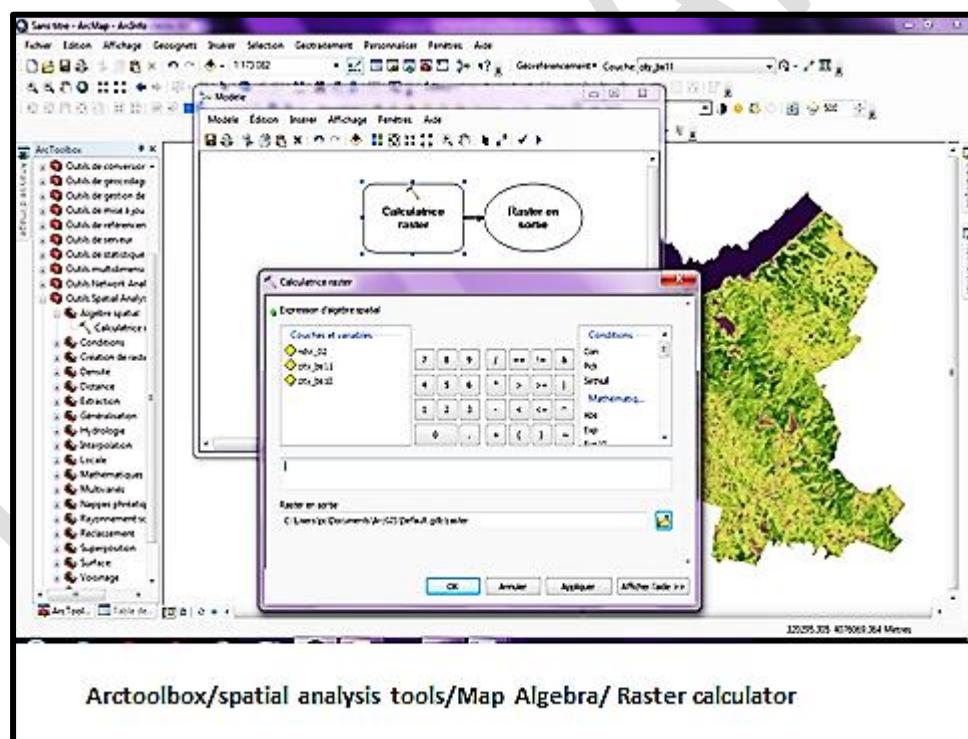
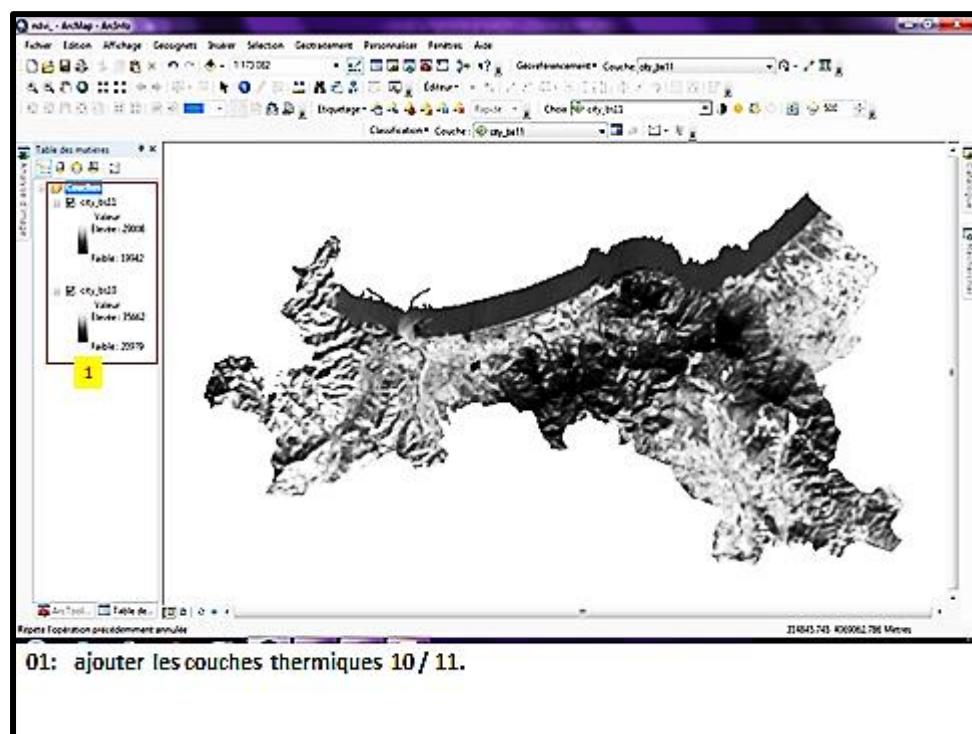
BANDE 11:
 $L_{B11} = 0.0003342 \times \text{BAND11} + 0.1$

```

RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.10000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2745E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3051E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2027E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0141E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.2061E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5434E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2021E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.4777E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4255E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -63.72563
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -65.25582
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -60.13268
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -50.70727
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.03032

```

Le fichier Metadata



2

Convertir la luminance (TOA) en **température de brillance (BT)**

$$BT = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \right) - 273.1$$

- L_λ : Luminance
- K_1 , K_2 : des constantes

EXEMPLE:

$$BT10 = (1321.08 / \ln(774.89 / L10 + 1)) - 273.15$$

(-273,1) pour convertir les kelvins en **Celsius**

Convertir la luminance en température de brillance (BT)

$$BT = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \right) - 273.1$$

BANDE 11:

$$T_{band11} = \left(\frac{1201.14}{\ln(480.89 / L_{band11} + 1)} \right) - 273.15$$

BANDE 10:

$$T_{band10} = \left(\frac{1321.08}{\ln(774.89 / L_{band10} + 1)} \right) - 273.15$$

-272,15 pour convertir les kelvin en Celsius.

REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05

REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000

REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000

REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000

END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14

END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS

Metadata nécessaire

3

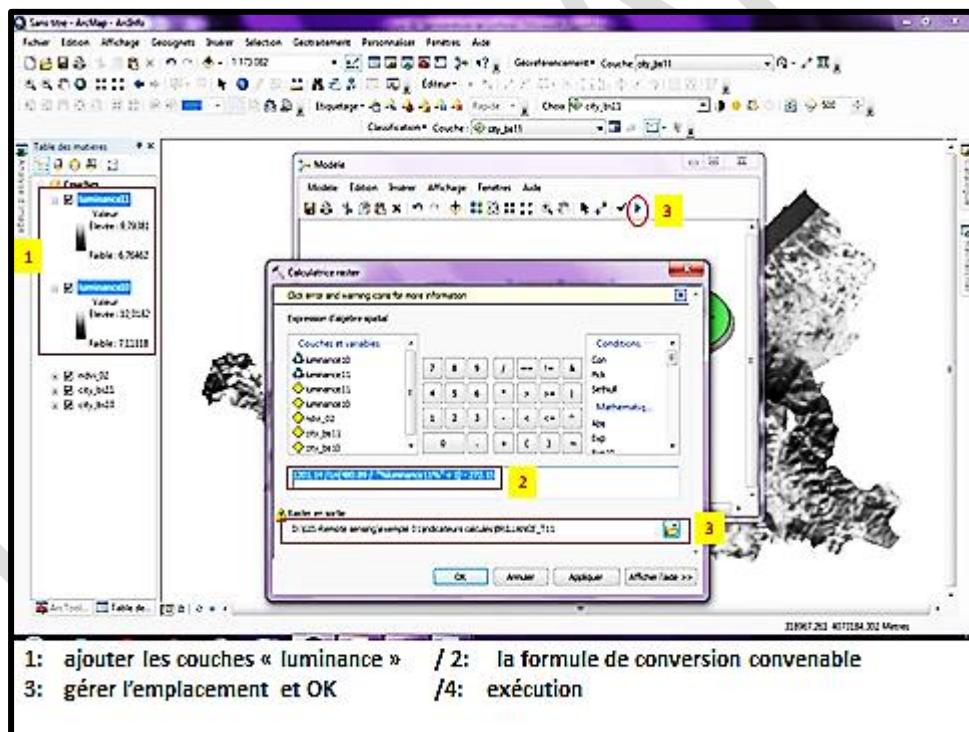
Calcul de l'indice de végétation – **NDVI** –

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

$$\text{NDVI} = (\text{band5} - \text{band4}) / (\text{band5} + \text{band4})$$

EXAMPLE:

NDVI= float (couche 5-couche 4)/ float (couche 5+couche 4)



4Calcul de la proportion de la végétation – **PV** –

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

PV = **square** (NDVI - NDVI min / NDVI max - NDVI min)

Calcul de l'émissivité – **ε** –**5**

$$\epsilon = 0.004 \times PV + 0.986$$

Utiliser la même procédure (RASTER CALCULATOR) dans le calcul

6Calcul de la Température de surface – **LST** –

$$LST = \left(\frac{BT}{1 + \left(w \times \frac{BT}{P} \right) \times \ln(\epsilon)} \right)$$

• **BT** = la température de brilliance

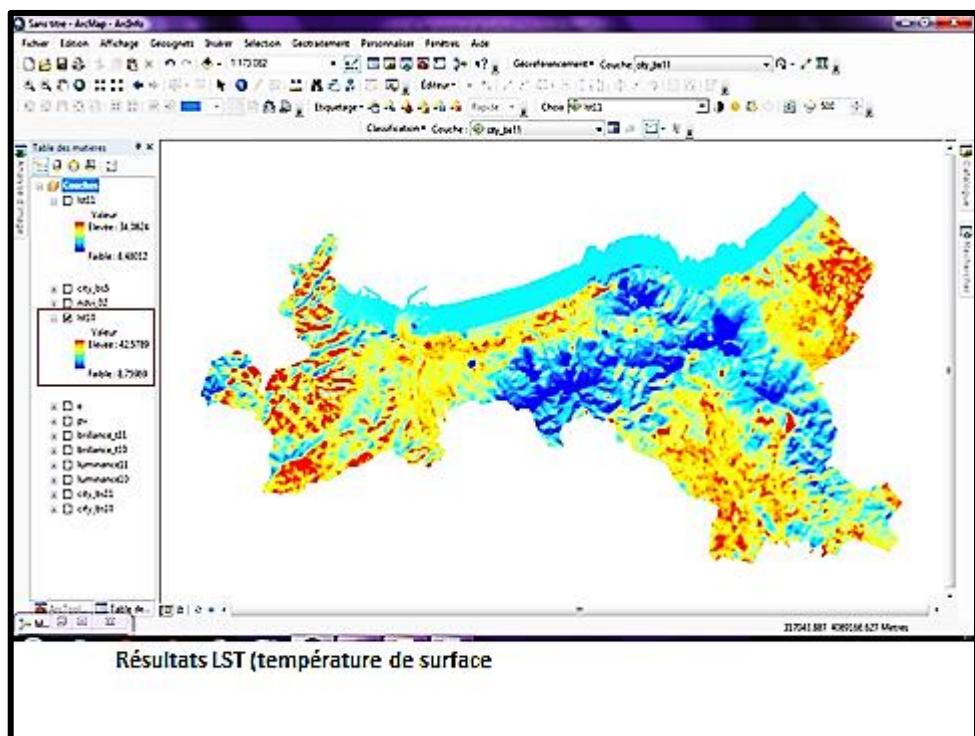
• **ε** = l'émissivité

• **P** = 14388

• **w** = la bande spectrale x.
EXAMPLE:

$$LST10 = BT / 1+BAND 10 \times (BT10/14388) \times \ln(\epsilon)$$

$$LST11 = BT / 1+BAND 11 \times (BT11/14388) \times \ln(\epsilon)$$



TP N°12: ÉTUDE DE LA CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE SURFACE, L'INDICE DE VEGETATION ET L'INDICE DU BATI

TP préparé en collaboration avec Mme Dounia KHELLAF du laboratoire ABE.

Étude de la corrélation entre la température de surface, l'indice de végétation et l'indice du bâti

Matière: SIG appliquée à l'environnement

Coordinator: Universitat de Girona

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Partners: WUS med, ANR, MIT

info@mastermehmed.com www.mastermehmed.com

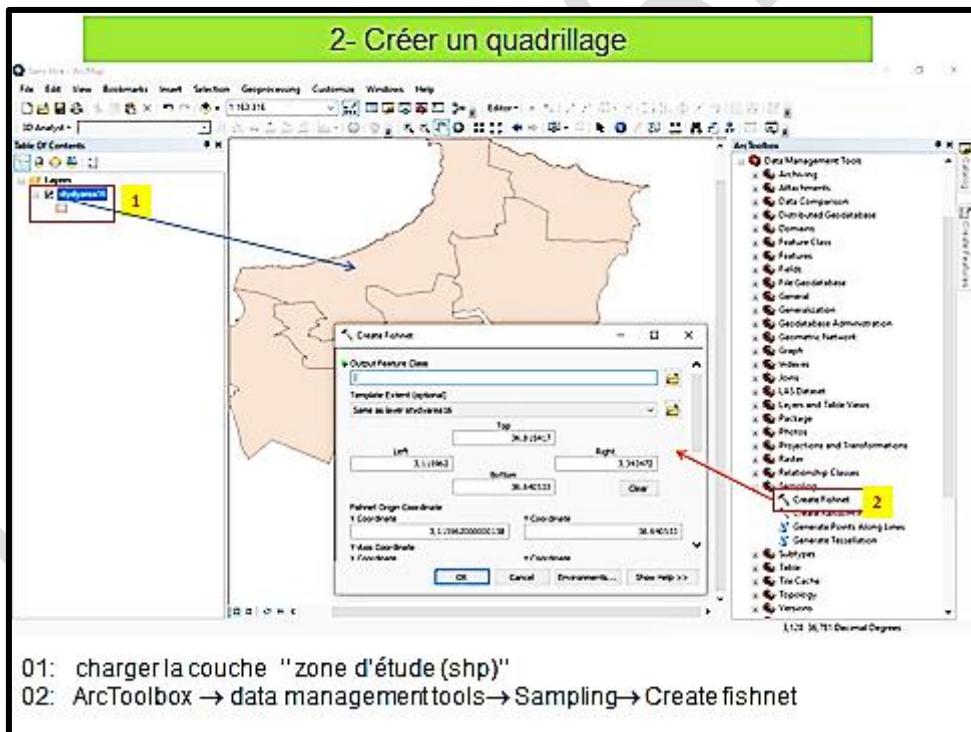
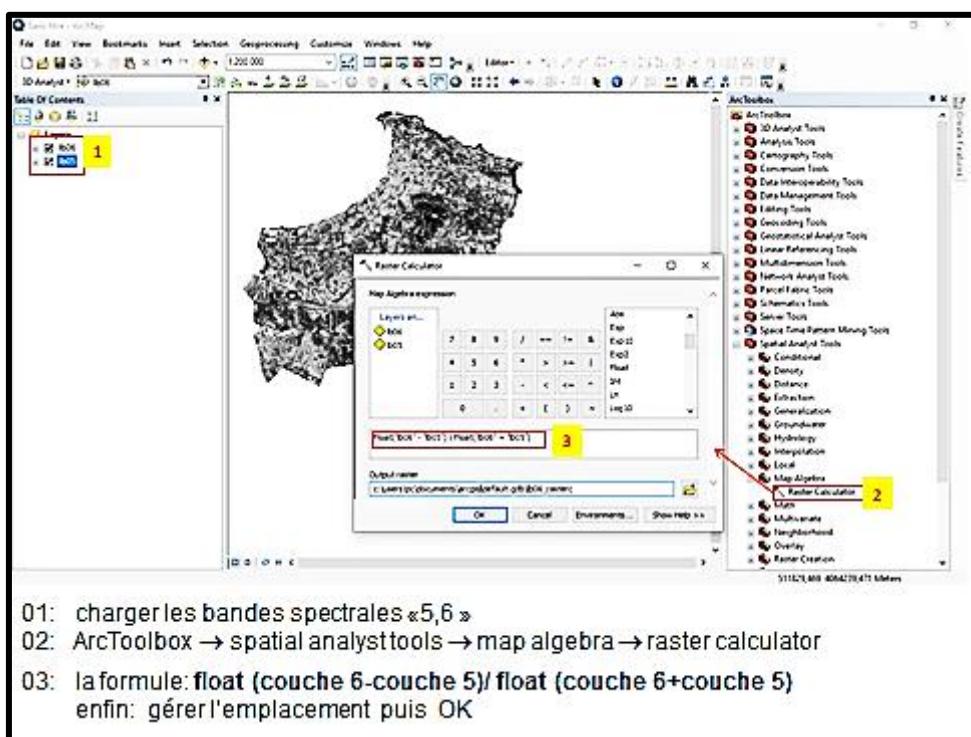
1- Calcul de l'indice de bâti- NDBI-

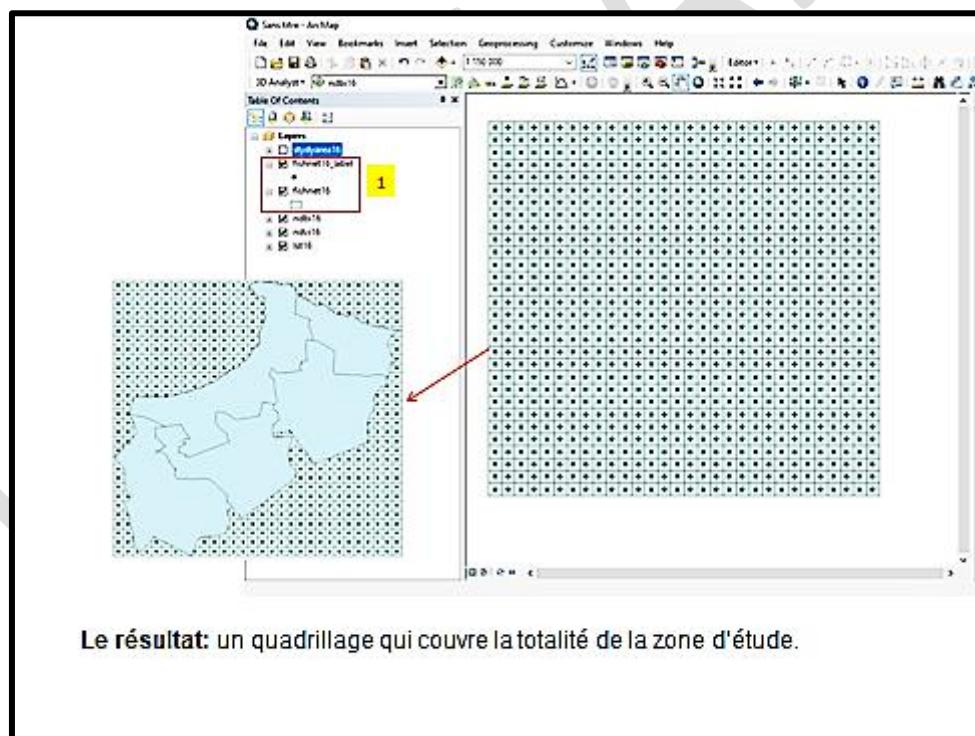
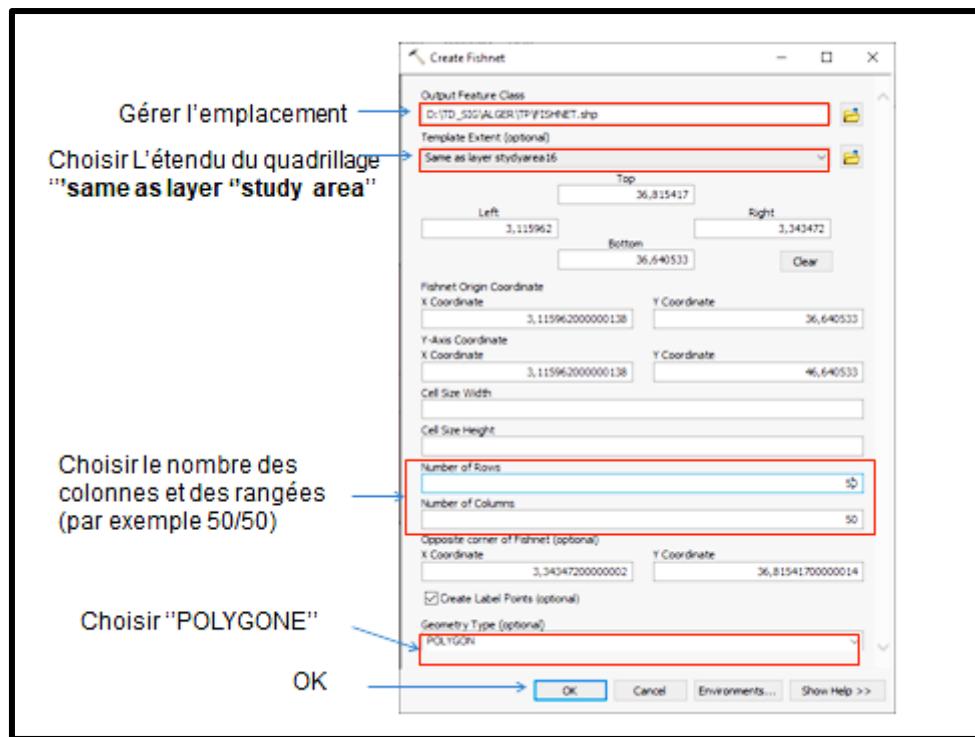
Pour une image satellitaire Landsat 8, le NDBI est calculé à travers la formule suivante

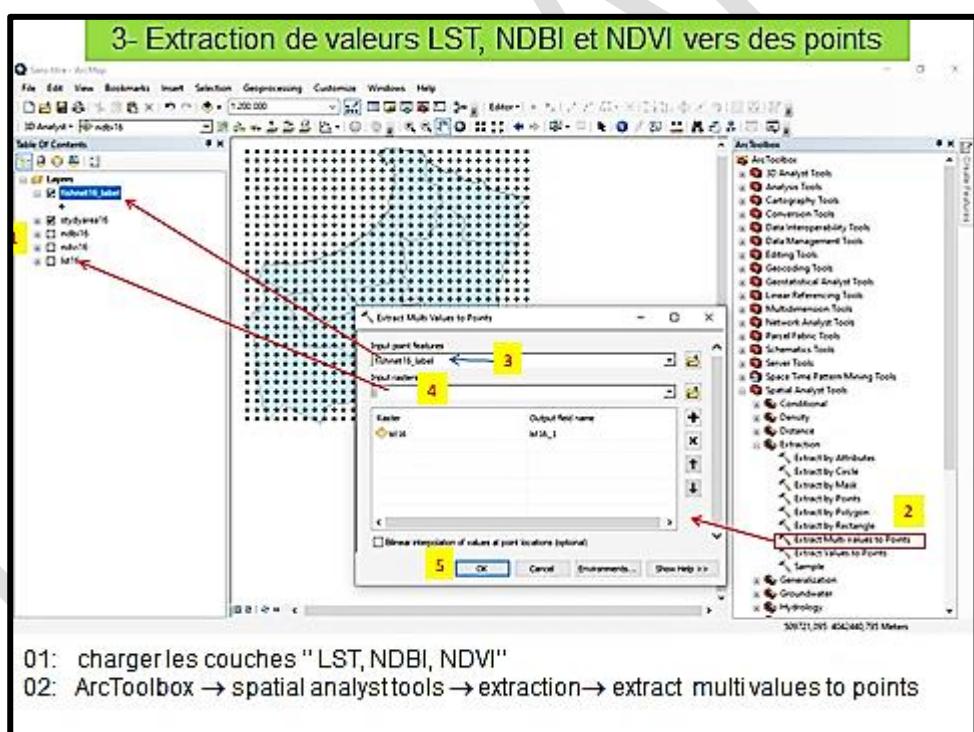
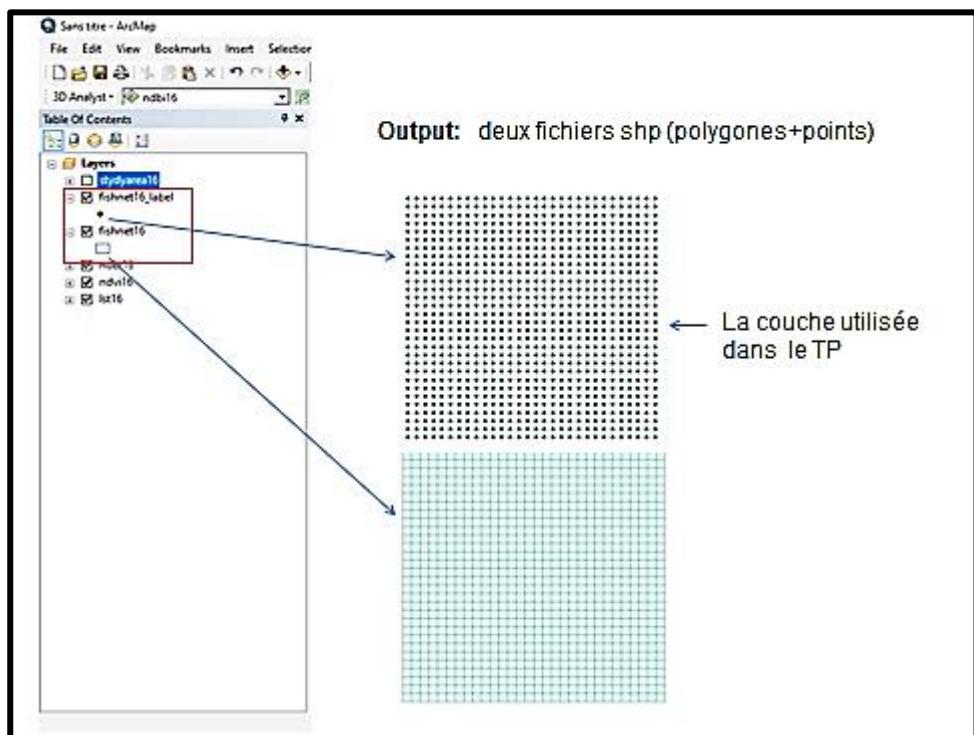
$$\text{NDBI} = (\text{band6}-\text{band5})/(\text{band6}+ \text{band 5})$$

↓

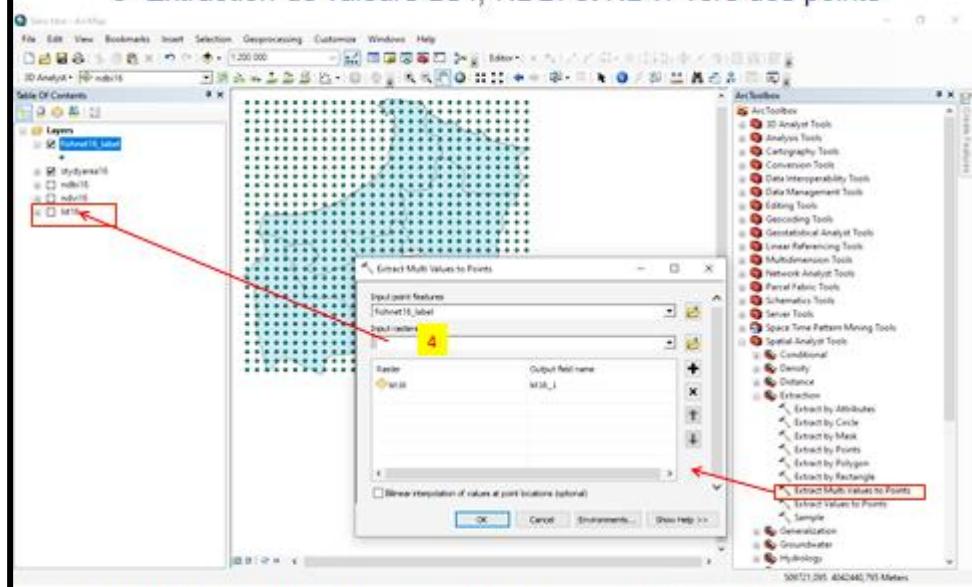
$$\text{NDBI} = \text{float (couche 6-couche 5)}/ \text{float (couche 6+couche 5)}$$



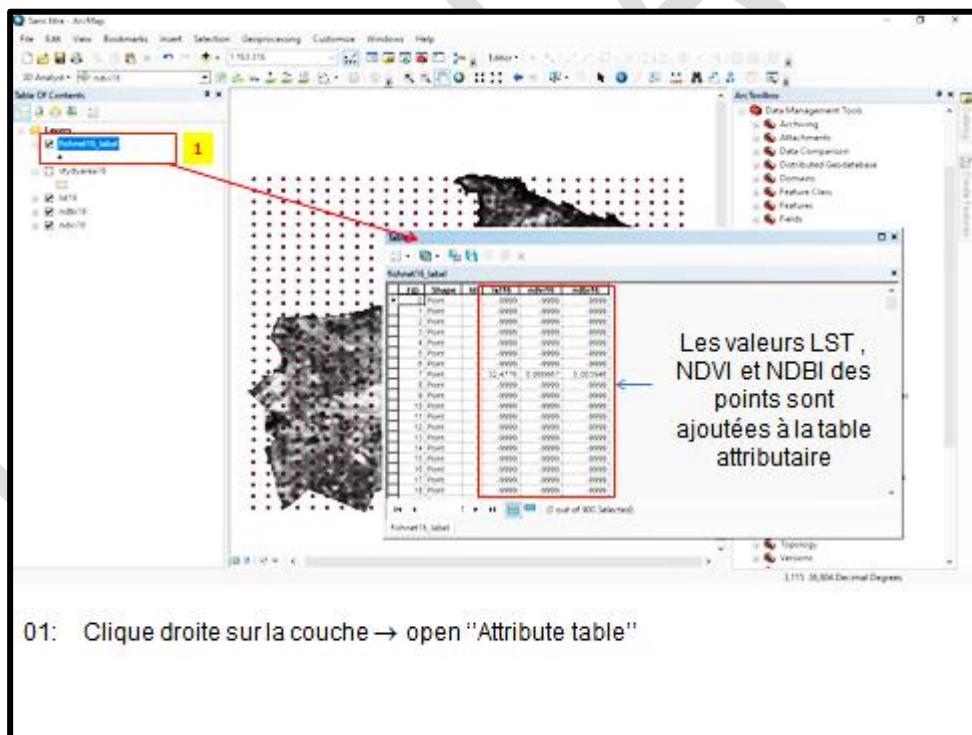




3- Extraction de valeurs LST, NDBI et NDVI vers des points



Dans l'étape 04, choisir la couche "LST" pour extraire les valeurs de température vers des points. Refaire la même chose avec le NDVI et NDBI.



01: Clique droit sur la couche → open "Attribute table"

Table

fishnet16_label

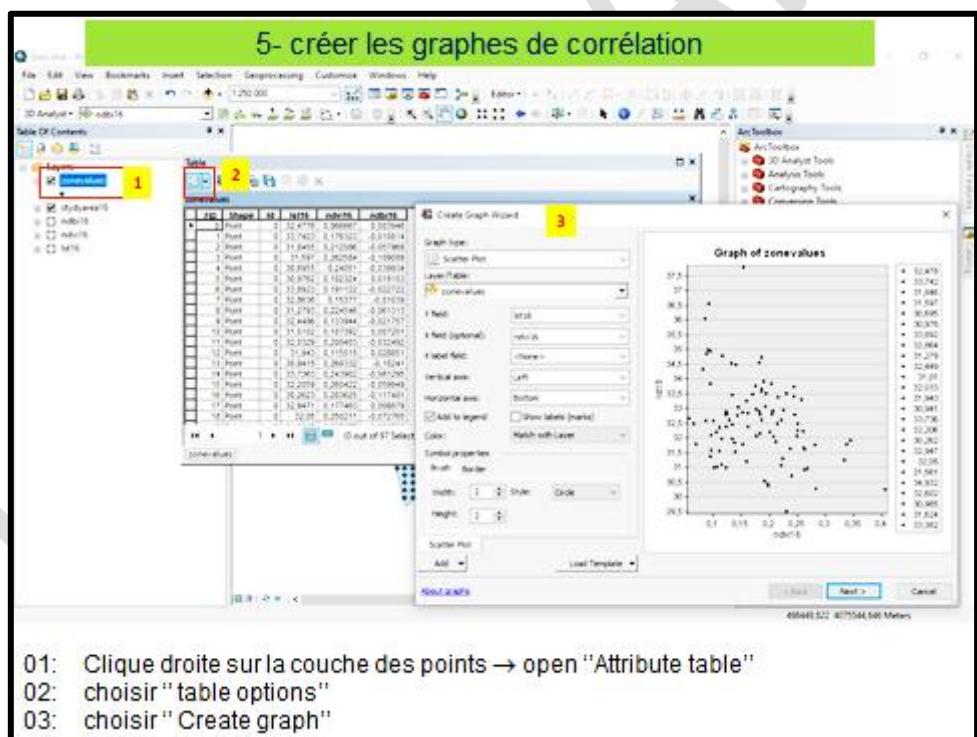
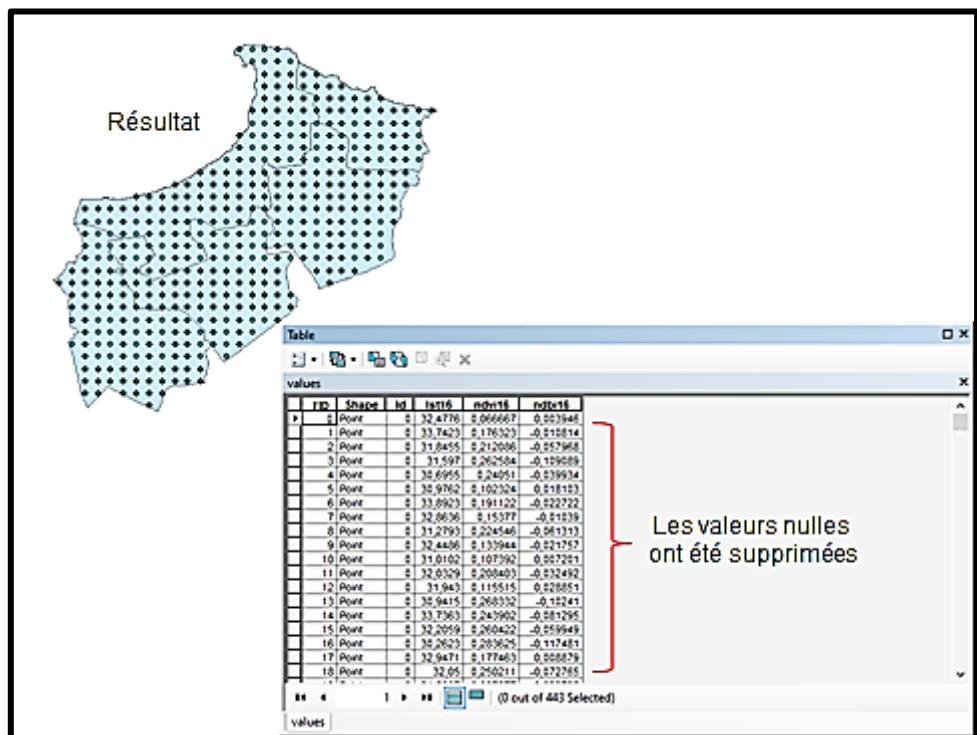
FID	Shape	Id	IsNull	nDx16	nDy16
0	Point		-9999	-9999	-9999
1	Point		-9999	-9999	-9999
2	Point		-9999	-9999	-9999
3	Point		-9999	-9999	-9999
4	Point		-9999	-9999	-9999
5	Point		-9999	-9999	-9999
6	Point		-9999	-9999	-9999
7	Point		34.8176	5.00000001	0.00010485
8	Point		-9999	-9999	-9999
9	Point		-9999	-9999	-9999
10	Point		-9999	-9999	-9999
11	Point		-9999	-9999	-9999
12	Point		-9999	-9999	-9999
13	Point		-9999	-9999	-9999
14	Point		-9999	-9999	-9999
15	Point		-9999	-9999	-9999
16	Point		-9999	-9999	-9999
17	Point		-9999	-9999	-9999
18	Point		-9999	-9999	-9999
19	Point	

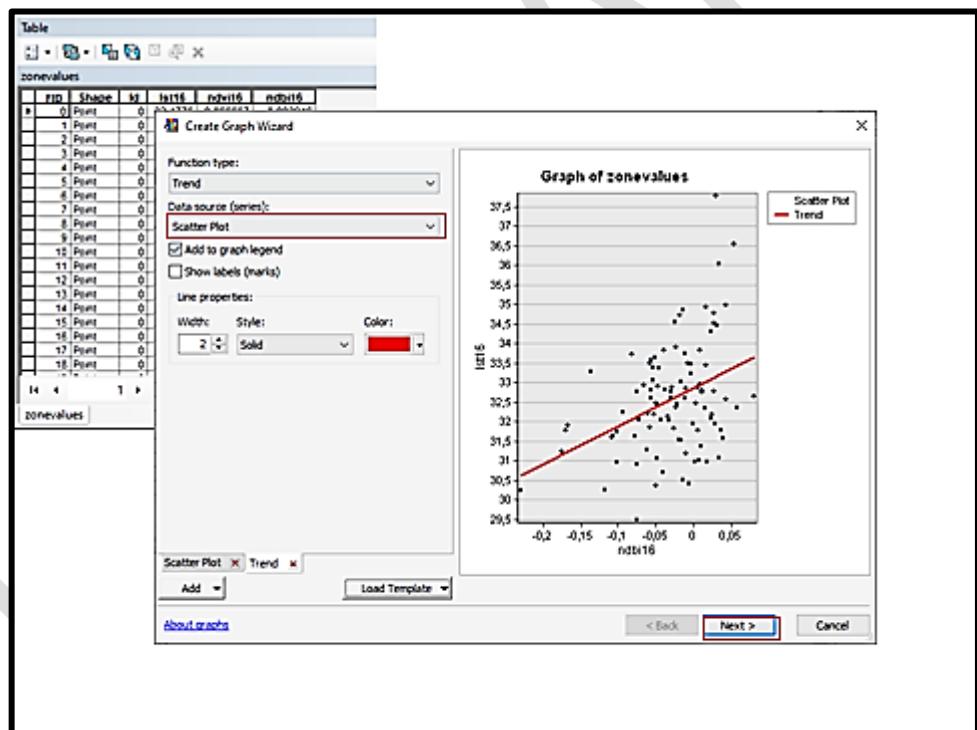
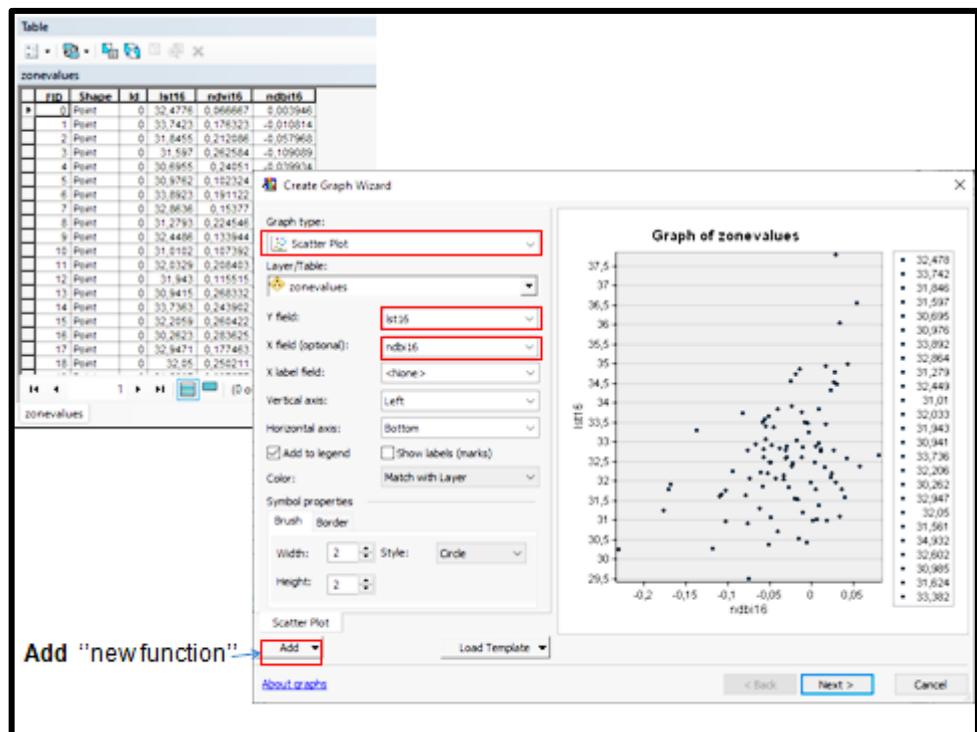
3 (0 out of 900 Selected)

fishnet16_label

"-9999" représentent des valeurs nulles (Des points hors la zone d'étude)

The screenshot shows the ArcGIS 10.2.2 interface. The 'Table Of Contents' panel on the left displays layers: 'hydrel15_Label' (selected), 'hydrel15', 'mvt15', and 'mvt15'. The 'ArcToolbox' panel on the right is open, with 'Extract' expanded, and 'Clip' is highlighted with a red box. The 'Clip' tool dialog box is in the foreground, with 'hydrel15' selected in the 'Input Features' dropdown and 'C:\Users\pc\Documents\ArcGIS\Default.gdb\hydrel15_clipped' in the 'Output Feature Class' dropdown. A red arrow points from the 'Clip' tool in the ArcToolbox to the 'Clip' button in the dialog box.





TP N°13: CARTOGRAPHIE DE DEPIRISSEMENT DU CEDRE DE L'ATLAS DANS LE PARC NATIONAL DE BELEZMA



- **Objectif du TP :** Réalisez une cartographie du dépérissement de l'espèce endémique du Cèdre de l'Atlas dans le parc national de BELEZMA dans la wilaya de Batna.

Au niveau du parc national de Belezma, le cèdre de l'Atlas possède une valeur écologique irremplaçable. Toutefois, ce peuplement de cédraies est soumis à une dégradation continue.

De ce fait, nous allons analyser les phénomènes liés à cette dégradation.

Présentation de la zone d'étude (parc de Belezma)

Géographiquement, le massif forestier du Belezma se localise dans le Nord Est Algérien, occupant 26 000 hectares de superficie à 7 km à l'ouest de Batna ville.

Le parc national de Belezma a été créé en 1984 dans le but de protéger les espèces endémiques Nord-africaines telles que le Cèdre de l'Atlas.

Dans le massif de Bélezsma, la cédraie occupe environ 5400 hectares et se répartit sur deux ensembles de chaînons orientés sensiblement WNW (Ouest/Nord-Ouest) – WSW (Ouest/Sud-Ouest).

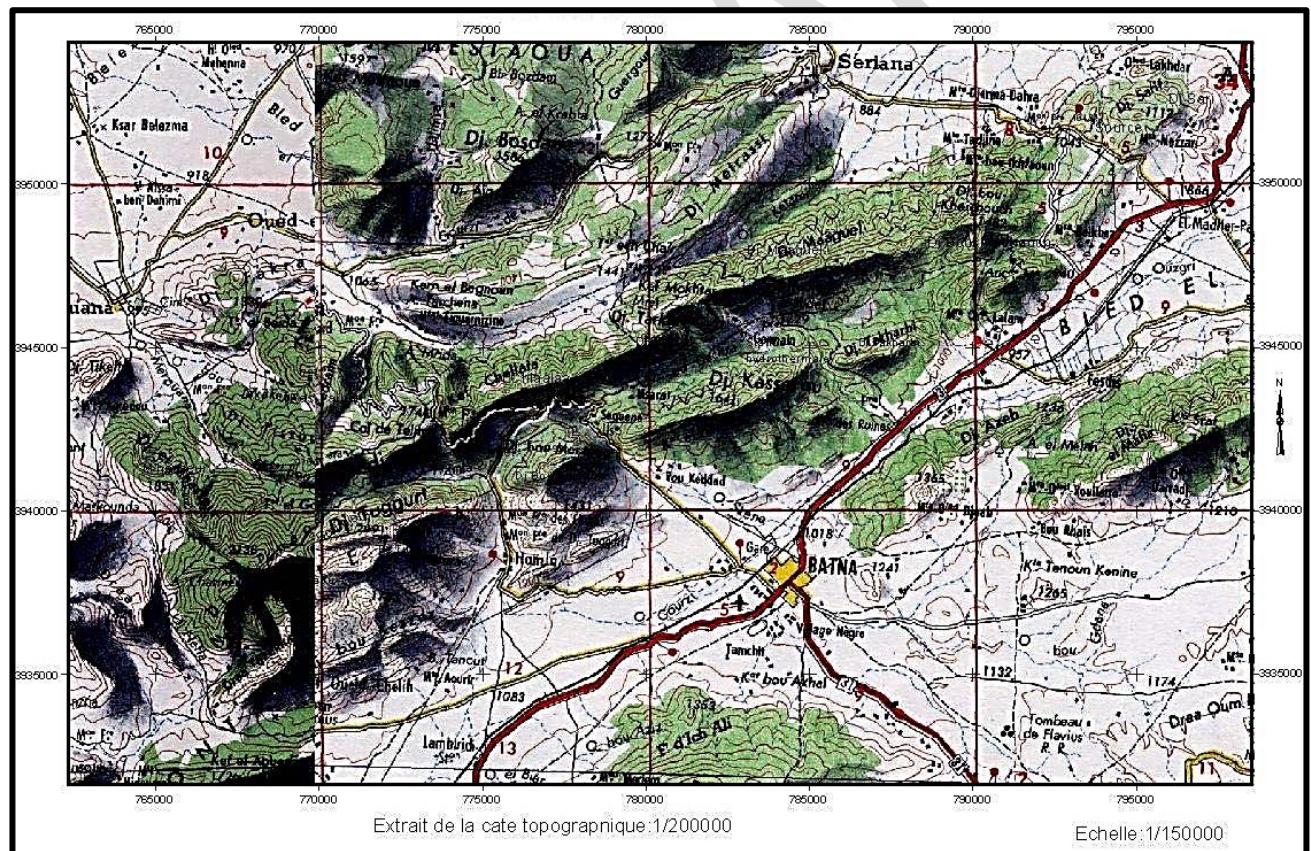
La cédraie de Belezma évolue dans une tranche altitudinale allant de 1400 à 2000 m sur les versants Nord. Toutefois, quand les conditions microclimatiques sont favorables, le Cèdre peut descendre jusqu'à 1200 m.

Le parc national de Belezma fait partie des étages bioclimatiques semi-aride supérieur et subhumide (Nord de Belezma), avec une pluviométrie annuelle de 500 à 700 mm.

Le relief du parc de Belezma est accidenté comprend des montagnes de moyennes et hautes altitudes qui forment dans l'ensemble deux lignes de crêtes parallèles séparées par des vallées profondes.

Existence d'une grande variété de substrats géologiques dont des grès, des quartzites, des grès calcaires, des calcaires compacts, des calcaires dolomitiques, des marno-calcaires...etc.

En versant Nord, la roche compacte est souvent à nu, ne supportant plus que des cèdres adultes et où ne s'observe plus aucune régénération.



SITUATION DU PARC NATIONAL DE BELEZMA



Vue satellite sur le territoire de Belezma

Photos prises par :
Auteurs

PRÉSENTATION DU CÈDRE DE L'ATLAS : Cycle de croissance

The diagram illustrates the life cycle of the Atlas Cedar (Cedrus atlantica). It shows the transition from male cones to female cones, seed dispersal, and tree growth stages from young to adult.

Cônes femelle (Female cones) and **Cônes mâles** (Male cones) are shown. **Graines** (Seeds) are shown being dispersed. **Cèdre jeune** (Young cedar) and **Cèdre adulte** (Adult cedar) are shown with their respective growth stages.

Texts:

- Le cèdre de l'Atlas est une essence monoïque : les fleurs mâles et femelles évoluent sur le même arbre. Les inflorescences mâle et femelle ne se constituent pas en même temps.**
- A partir du mois d'Octobre, les bractées des inflorescences femelles commencent à s'ouvrir progressivement pour recevoir les grains de pollen libérés par les chatons mâles.**
- Les branches sont plutôt dressées lorsqu'il est jeune, puis, prenant de l'âge, l'arbre s'élargit, au point de prendre un magnifique port tabulaire : les branches s'aplissent en éventails horizontaux.**

PRÉSENTATION DU CÈDRE DE L'ATLAS : Fiche technique

Nom scientifique	<u>Cedrus</u> <u>Atlantica</u> (Manetti)
Habitat (origine)	Montagne d'Afrique du Nord (Chaine de l'Atlas)
Type	Conifère
Famille	Pinacée (Pinaceae)
Hauteur	Jusqu'à 50 m
Circonférence	Jusqu'à 6 m
Feuillage	Persistant
Rendement (fleur)	Cône
Multiplication	Par semis
Pollinisation	Mois de Sept/Oct
Racine	Profonde
Croissance	Lente
Longévité	700 ans à 1000 ans

The technical presentation of the Atlas Cedar (Cedrus atlantica) includes a world map showing the distribution of the species, a large illustration of a mature cedar tree, and detailed botanical illustrations of leaves, cones, and seeds. A 50 m scale bar is shown above the tree, and a 6 m scale bar is shown at the base of the tree. A green arrow indicates a 3-year growth period for a female cone.

Text:

Le cèdre de l'Atlas, une espèce endémique de l'Afrique du Nord, (Klorane B.F.)

Photo 1 : Cèdre Atlantica

Source : prises par les étudiants sur terrain (juin 2021)



Photo 2 : Promo 2020/2021 de MEHmed au parc national de BELZMA.
Période de juin 2021.

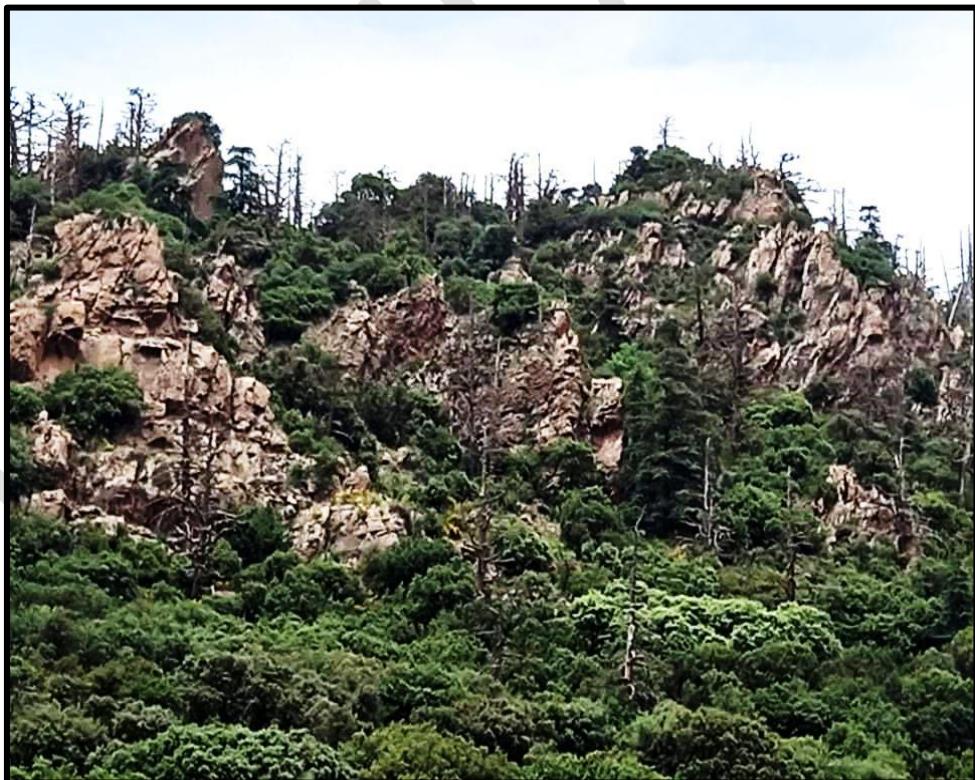


Photo 3 : Dépérissement des cendrais dans les hauteurs de Belezma,
Photo prises par les étudiants sur terrain (juin 2021)

Causes naturelles et anthropiques du déclin du Cèdre Atlantica

- L'Exposition (mauvaises conditions d'alimentation en eau, pente forte, sol superficiel) : Empêche l'infiltration des eaux pour alimenter les racines profondes dans le sol
- La sénescence (âge avancé des peuplements 300-400ans) : Absence de régénération : Inaptitude à fructifier au-delà de 250ans
- Les insectes (attaques d'insectes xylophages, défoliâtes) et les champignons : Affaiblissement et maladie des branches
- Les Animaux (comme le sanglier et les bovins) : Endommage la régénération naturelle par le piétinement (sol devient compact)
- La sécheresse récurrente et prolongée (La succession des années particulièrement déficitaires en précipitations et les températures élevées) : dépassement du seuil de tolérance au stress hydrique (régénération difficile des tissus)
- le développement des couches herbacées : Empêche les graines de tomber sur la terre
- Les influences sahariennes (vents de sable)
- Les coupes illicites (défrichements, 90's) : Fortes blessures et cicatrice qui deviennent un foyer potentiel pour les parasites
- Les Incendies (dues aux imprudences humaines) ; Tuent certains arbres et endommagent les autres
- Le tourisme irresponsable (feux de camping, déchets...)

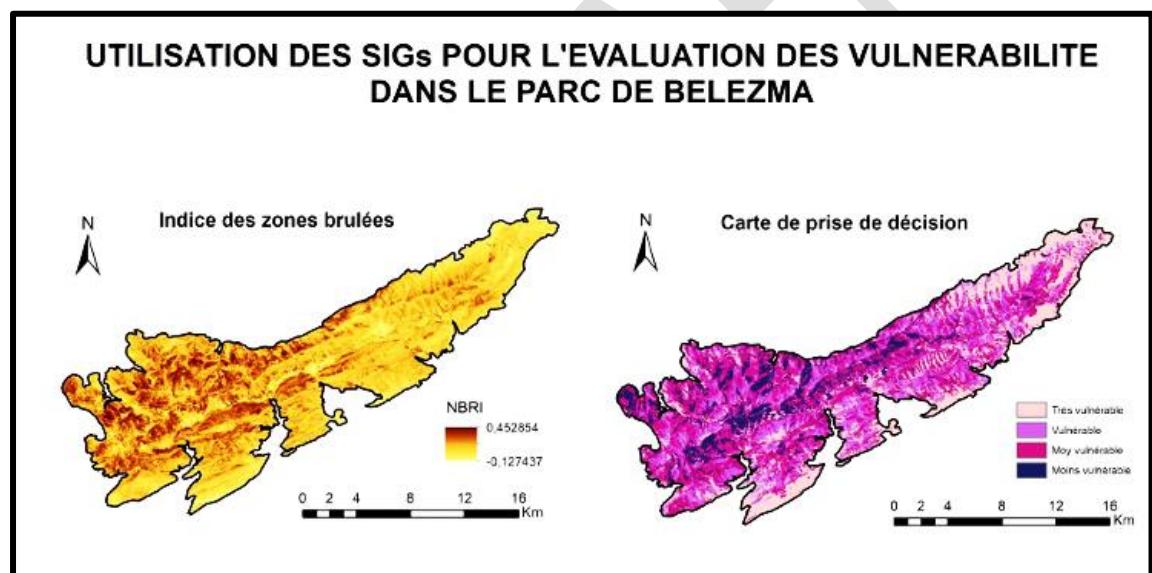
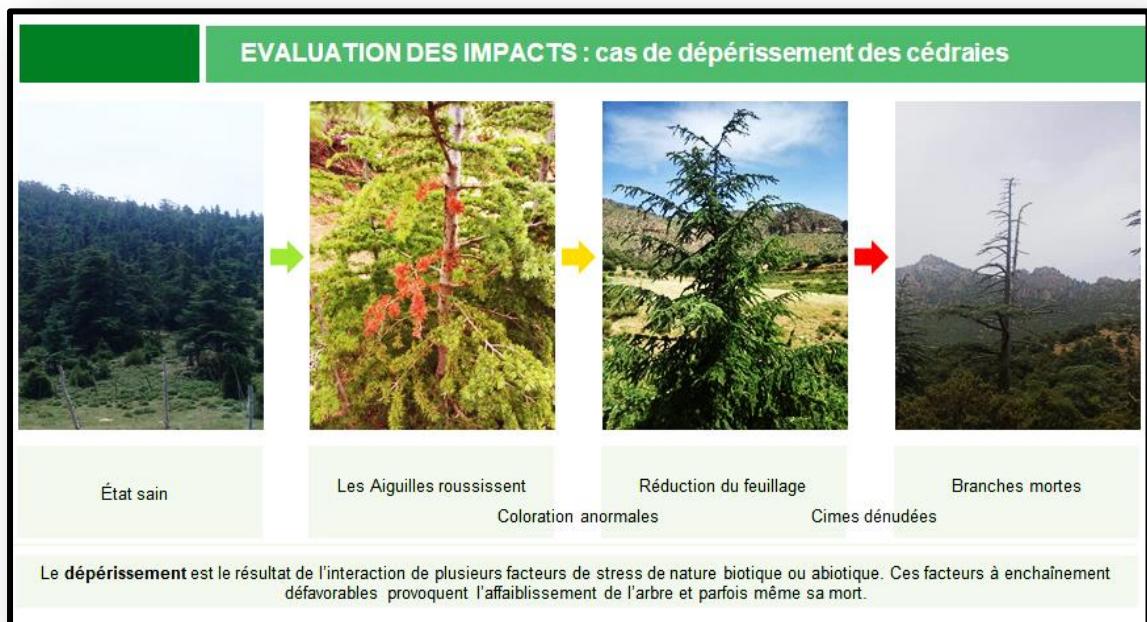
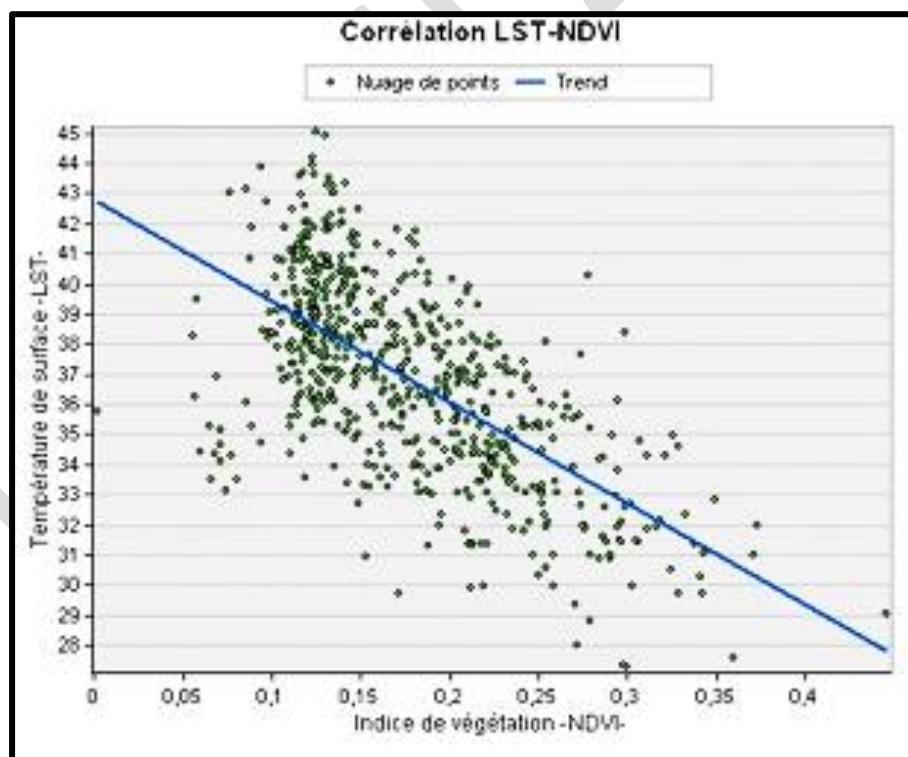
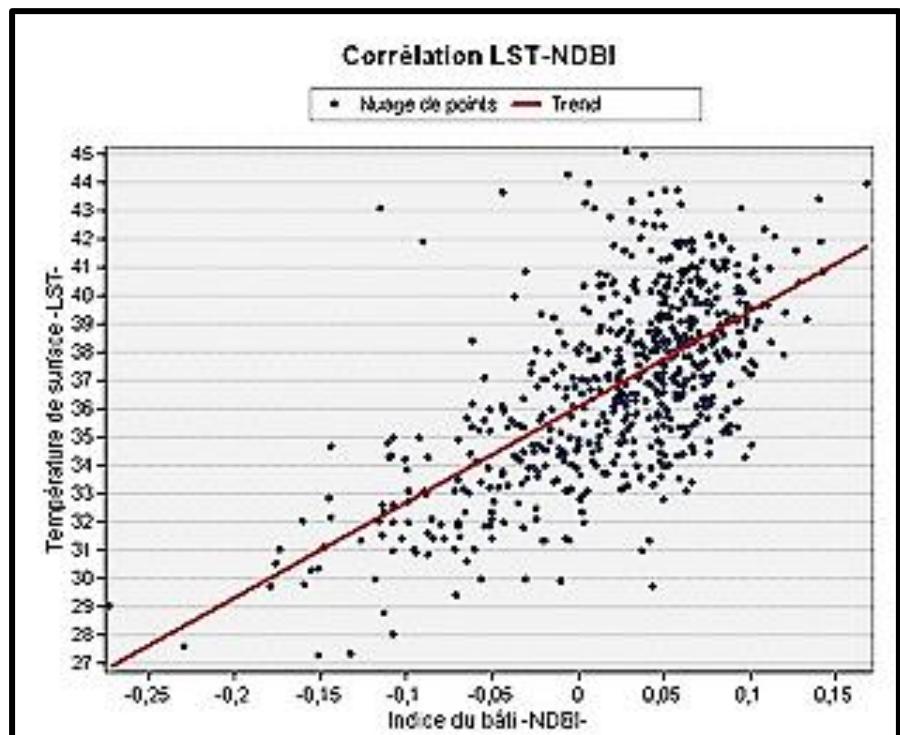


Figure 48: Carte de prise de décision et zones brûlées au Parc National de Belezma

Le massif forestier du Parc National de Belezma participe énormément à la diminution de la température de surface des communes avoisinantes. En contrepartie, on remarque une augmentation de température aux niveaux des limites territoriales (les zones urbanisées participent à l'augmentation de la température de surface - effet de l'ilot de chaleur urbain).



UTILISATION DES SIGs POUR L'EVALUATION DE NDVI - NDBI - LST DANS LE PARC DE BELEZMA

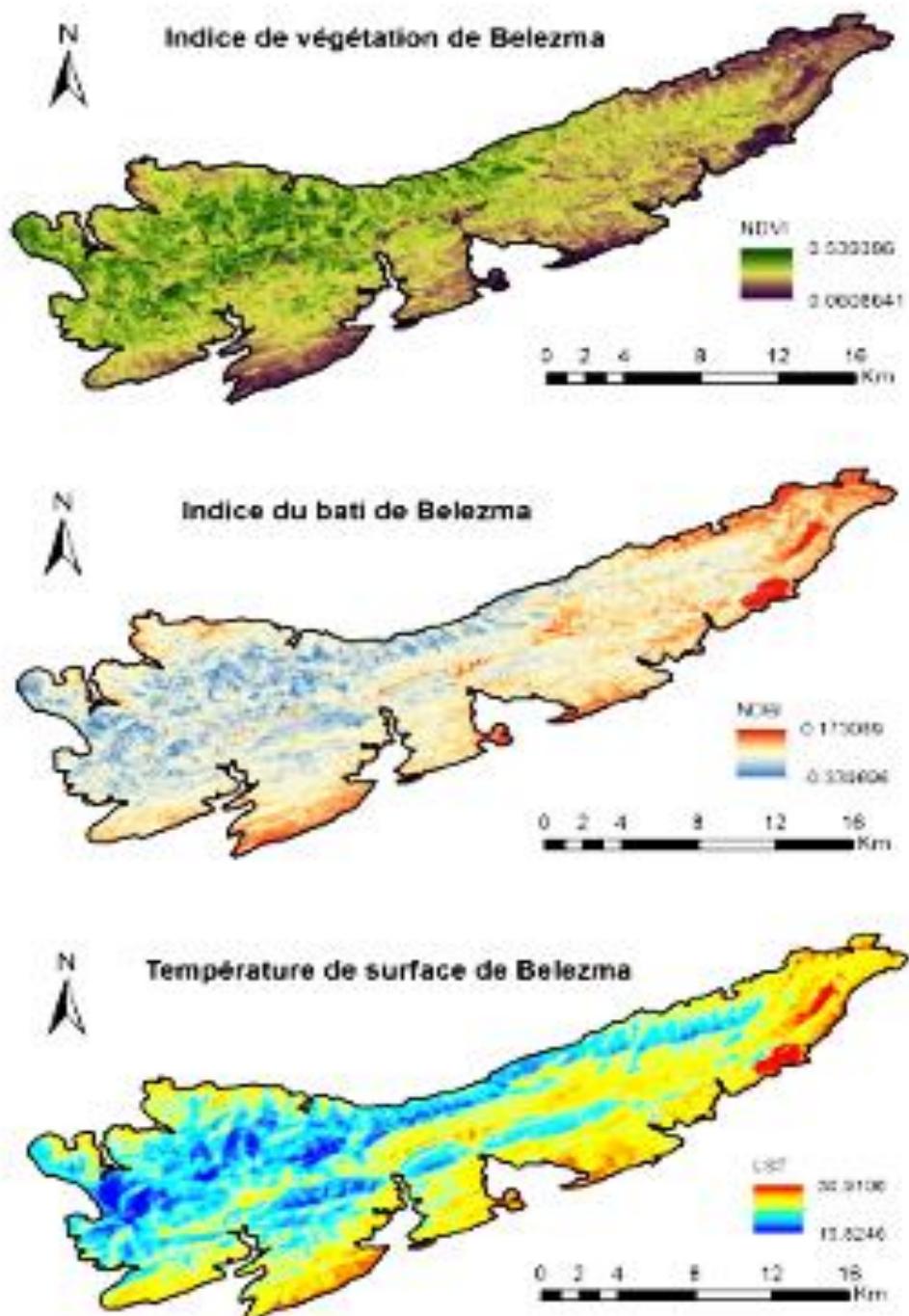


Figure 49: NDVI-NDBI- LST du Parc national de Belezma

Source : Travail des étudiants en atelier

TP N°14: CARTOGRAPHIE DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LA WILAYA D'ANNABA



L'érosion hydrique est l'un des problèmes les plus importants qui menacent tous les pays, en particulier les zones côtières, car elles sont exposées d'une part aux interventions humaines et souvent négatives en surface, et d'autre part, aux changements climatiques qui menacent le monde.

Les facteurs impliqués dans sa réalisation Annaba est l'une des villes les plus importantes du sud de la Méditerranée qui est exposée aux dangers des changements climatiques et des interventions humaines d'autre part. Notre zone d'étude est l'une zone les plus vulnérables aux interventions humaines et à l'urbanisation à Annaba, car ces zones ont récemment connu de nombreuses constructions au détriment des terres fertiles et des forêts.

Nous avons utilisé le modèle BACHAOUI (2007) avec ArcGIS 10.8.3.

a) Paramètre pente (A) :

Bachaoui et al, (2007), ont défini quatre classes de pentes qui peuvent provoquer une sensibilité à l'érosion en attribuant à chaque classe un indice exprimant le degré de sensibilité y afférent: Classe faible (0-5°), Moyenne (5-15°), Elevée (15-35°), Très élevée (35-90°).

Classe de pente (°)	Indice attribué
0 - 5°	1
5 - 15°	2
15 - 35°	3
35 - 90°	4

Source : Bachaoui et al, (2007), p398

b) Paramètre végétation (B) :

Bachaoui et al. (2007) ont partagé l'occupation du sol en quatre classes : végétation très dense (Forêt), végétation éparse ou de densité moyenne (maquis), terrains cultivés (Agriculture, arboriculture et parcours), terrain nus (et zone urbaine). Des indices ont été attribué à chaque classe avec des valeurs entre 1 et 4, 1 est affecté à la classe la moins sensible et 4 à la classe la plus sensible.

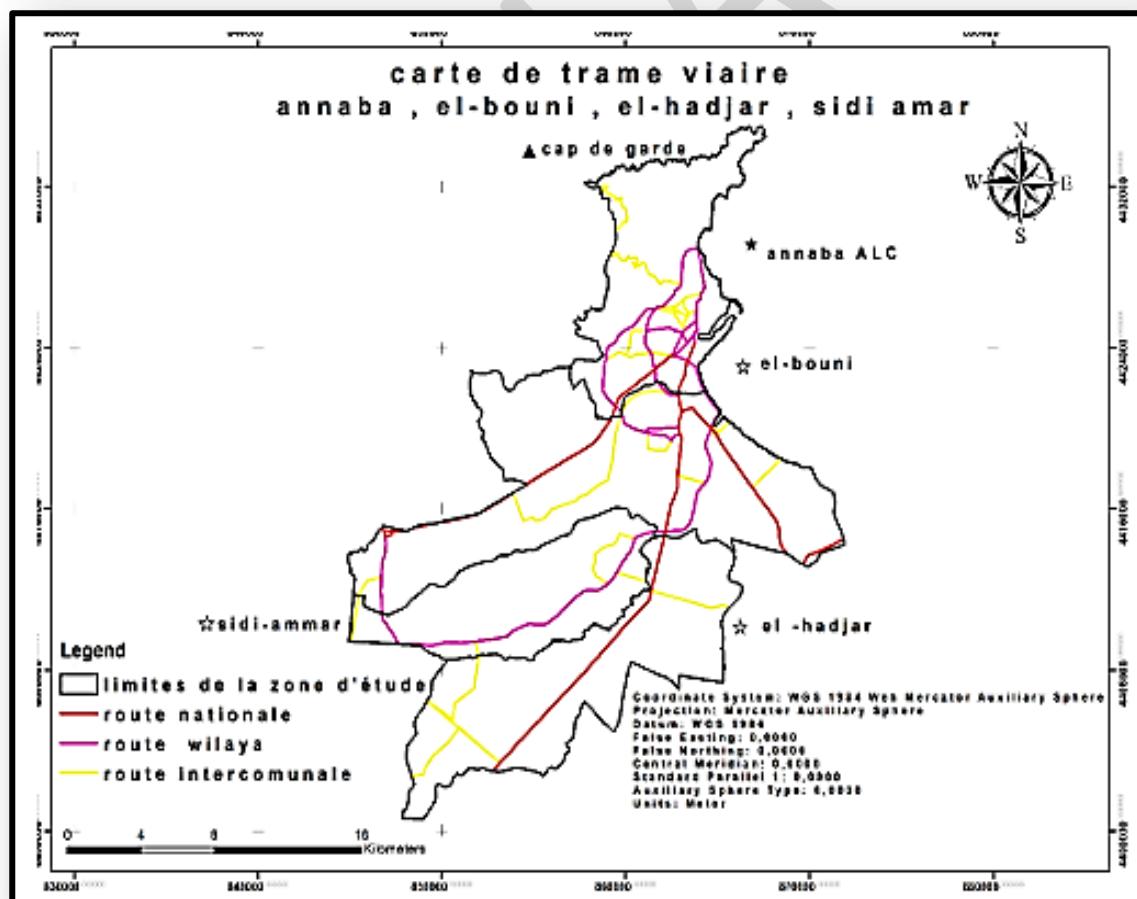
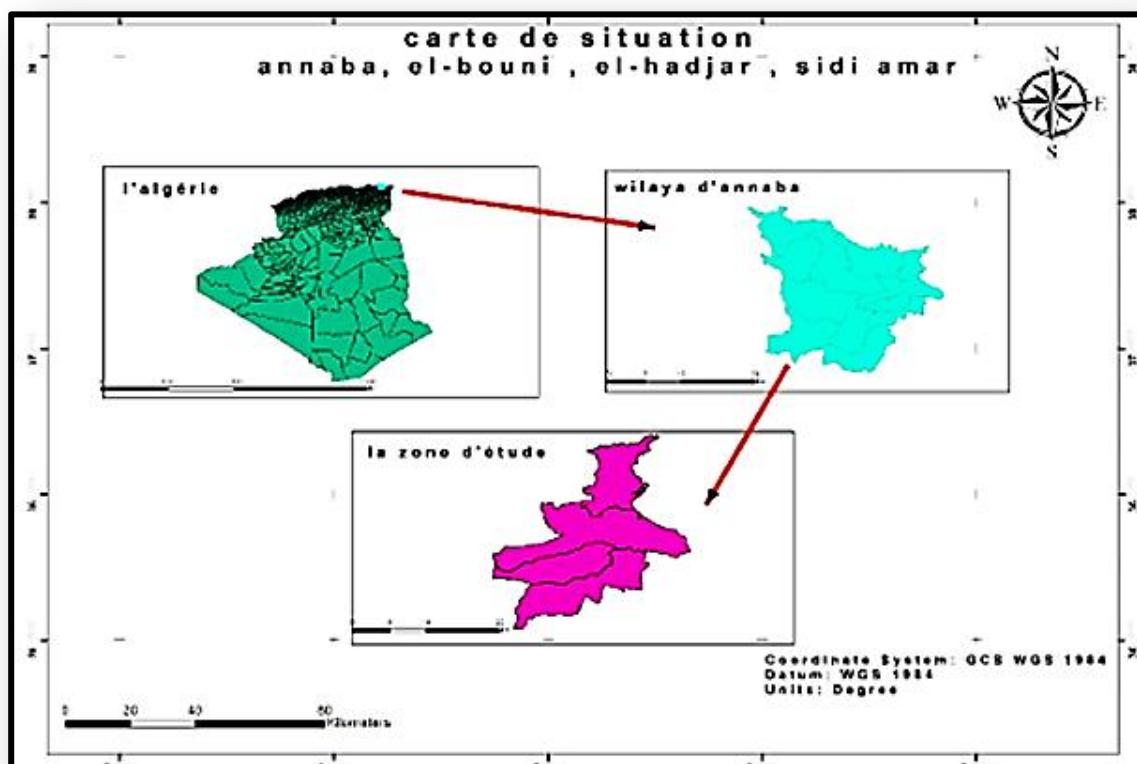
Couvert végétal	Occupation de sol	Indice attribué
Forêt	Végétation très dense	1
Maquis	Végétation éparse ou de densité moyenne	2
Agriculture, arboriculture et parcours	Terrains cultivés	3
Zone urbaine et terre nue	Terrain nus	4

Source : Bachaoui et al, (2007), p399

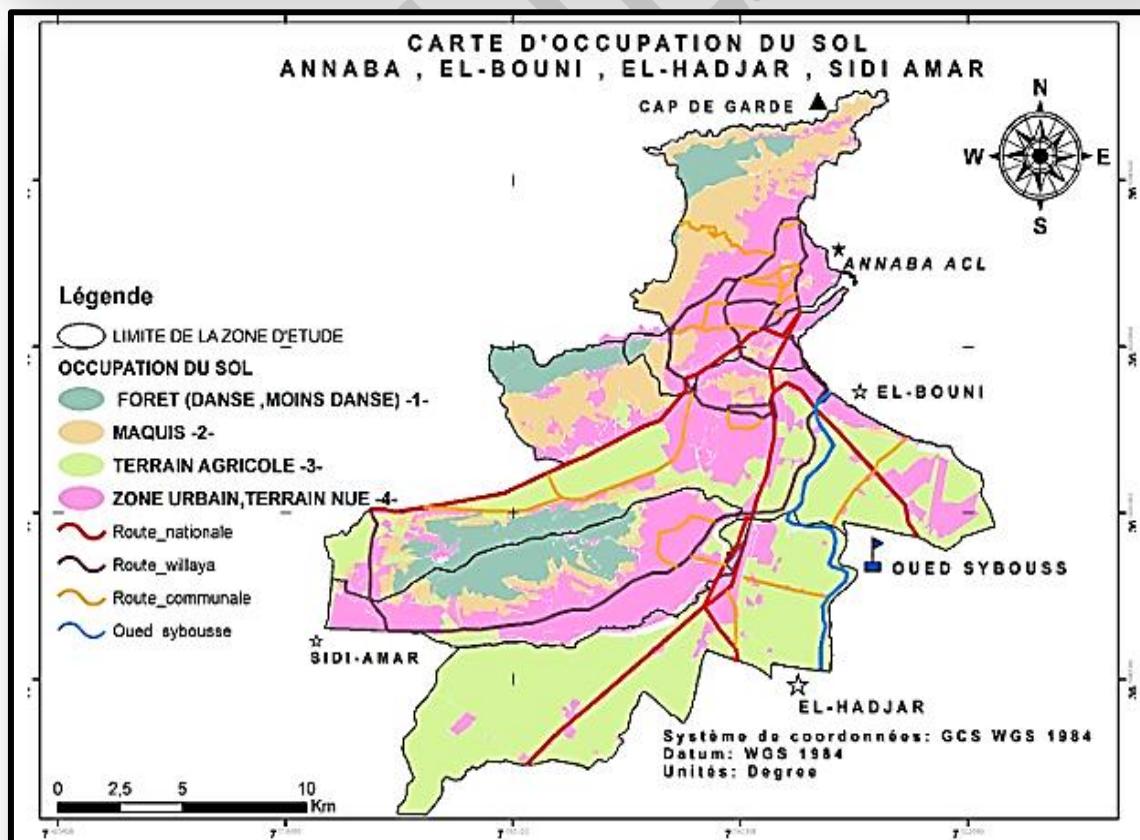
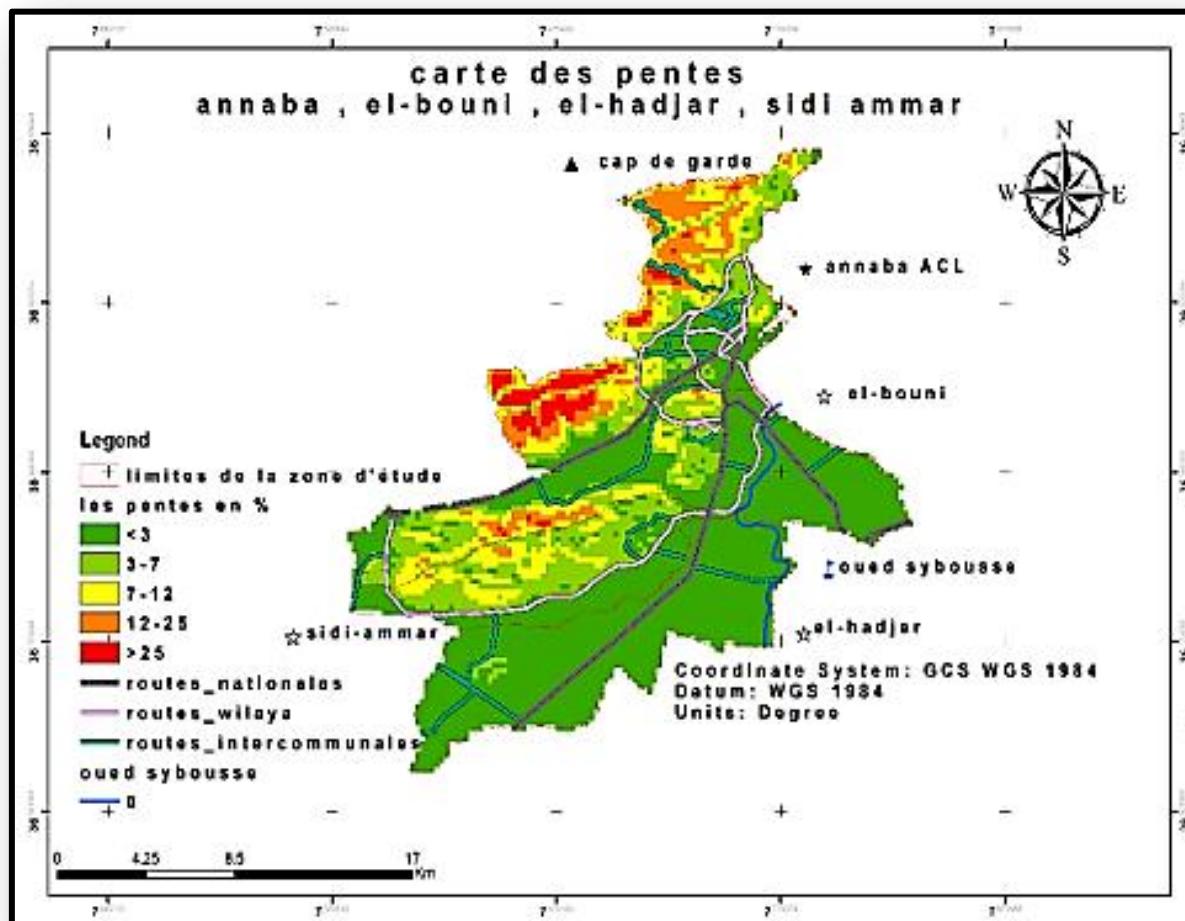
c) Croisement (A) X (B) :

Cette carte est le résultat du croisement entre la carte des pentes reclassifiées en quatre classes avec celle de la végétation reclassifiées également en quatre classes tout en se basant sur le tableau 46. On passe par la suite à l'union des couches dans chaque classe.

Potentiel d'érosion		Classes de pente			
		1 (0-5)	2 (5-15)	3 (15-35)	4 (35-90)
Occupation du sol	1	2	3	3	3
	2	1	2	3	3
	3	2	3	3	4
	4	2	4	4	4



Source : Travail des étudiants en atelier



Source : Travail des étudiants en atelier

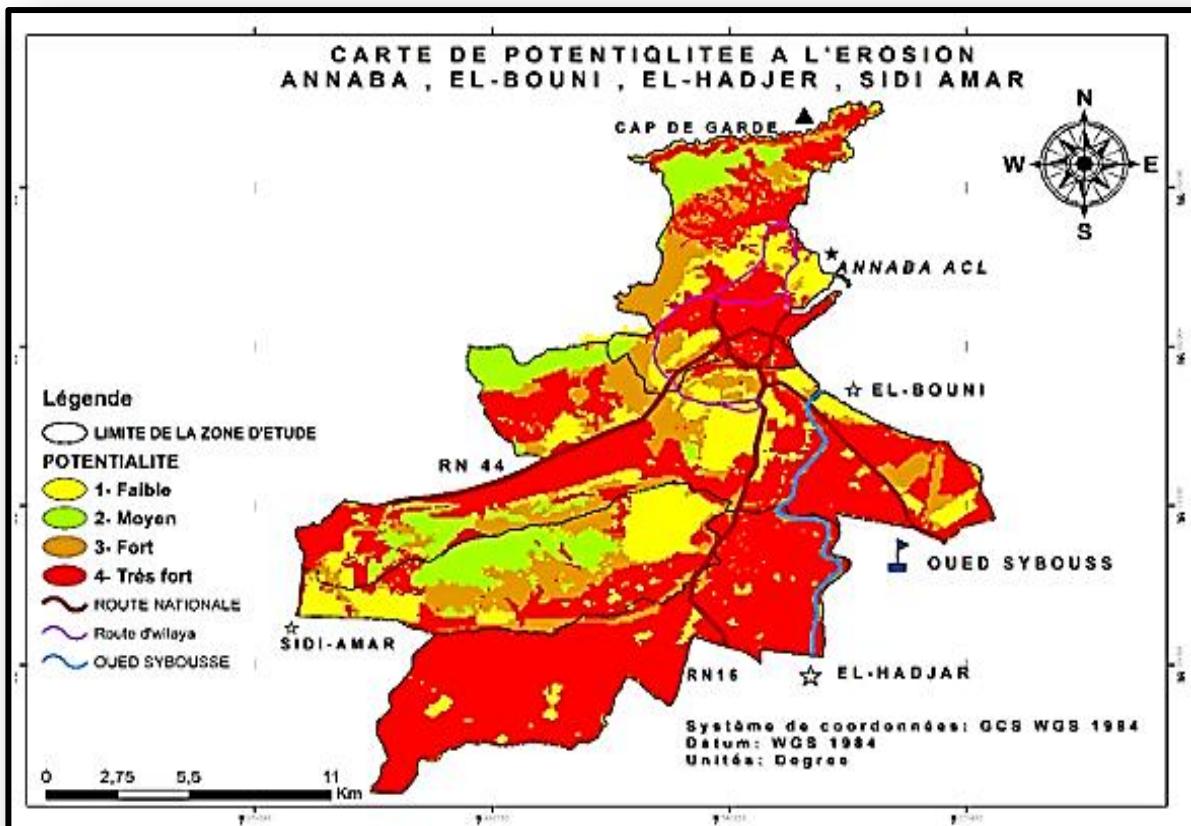


Figure 50: Carte de potentialité à l'érosion hydrique dans la wilaya d'Annaba

Source : Travail des étudiants en atelier

Références bibliographiques

- AKDIM N., (2017) : « Cours, introduction à la télédétection spatiale, principes de bases, traitement et applications » DOI: 10.13140/RG.2.2.26840.08963
- AOUDA S., et MAHDI Y., (2023) : « Indice de risque d'incendie de forêts a l'aide du sig dans la wilaya de Skikda, Algérie ». Revue Agrobiologia www.agrobiologia.net ISSN (Print): 2170-1652 e-ISSN (Online): 2507-7627.
- BACHAOUI B., BACHAOUI E.M., EI HARTI A., BANNARI A. et EI GHMARI A., 2007 « Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du Haut Atlas Marocain. ». Télédétection 7 (1-2-3-4) : 394-404.
- BOULTIF M., (2021) : Webinaire sur: « L'Application des indices spectraux dans l'étude de l'environnement ». Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Aride (CRSTRA).
- DAGORNE A., DUCHE Y.J., CASTEX M., OTTAVI J.Y., (1994) : « Protection des forêts contre l'incendie et système d'information géographique application à la commune d'Auribeau-sur-Siagne (Alpes Maritimes) ». Forêt Méditerranéenne, XV (4), pp.409-420.
- DJAGNIKPO KPEDENOU K., BOUKPESSI T., TANZIDANI T., TCHAMIE K., (2016): « Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (sud-est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat ». Sciences de l'Environnement, 13, pp.137-156. (hal-01409418).
- EL ABOUDI A., (2017) : Cours Télédétection Master1.pdf
<http://www.fsr.ac.ma/DOC/cours/biologie/Aboudi/Cours%20Teledetection%20Master1.pdf>
- FAOUR G., BOUKHEIR R. et DARWISH A., (2006) : « Méthode globale d'évaluation du risque d'incendies de forêt utilisant la télédétection et les SIG : cas du Liban», Télédétection.
- GODARD V., (2023) : « Quelques missions de télédétection Satellitaire » Fiche Mémo n°3.3 du cours de Télédétection niveau 2 : mem33tel.htm (univ-paris8.fr).
- GUYOT G., (1992) : « Signatures spectrales des surfaces naturelles » Caen, Paradigme, Col. : Télédétection satellitaire n°5, 178 p.
- MAMA V. J., & OLOUKOI J., (2003): « Évaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol », Télédétection, 3, 5, pp. 429-441.
- MARIEL A., (1995) : « Cartographie du niveau de risque d'incendie, exemple du massif des Maures » CEMAGREF, article.
- MINVIELLE E et SOUIAH S.A., (2003) : « Analyse statistique et spatiale : Statistiques, cartographie, télédétection, SIG ». Nantes : Éd. du temps, 284 p.

ROBIN J.G., CARREGA P., and FOX D., (2006): « Modelling fire ignition in the Alpes-Maritimes Department, France». A comparison. Vth International Forest Fire Conference. Coimbra (Portugal). Forest Fire Research & Wild land Fire Safety. Cd-Rom. Mill press, Rotterdam

SERRADJ A., (2018) : « Télédétection Spatiale, Séance#1: INTRODUCTION » Support de cours de formation en télédétection. Université Constantine 3. Séance#1_INTRODUCTION_Filig.pdf

SERRADJ A., (2018) : « Télédétection Spatiale, Séance#2_PERFORMANCE DES CAPTEURS».

Support de cours de formation en télédétection. Université Constantine 3.
Séance#2_RESOLUTIONS_Filig.pdf

Site web :

- Copernicus: Sentinel-2-eoPortal: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>
- Tutoriel du Centre Canadien de Télédétection : <https://ressources-naturelles.canada.ca/cartes-outils-et-publications/imagerie-satellite-donnees-delevation-et-photos-aerielles/tutoriel-notions-fondamentales-telendetion/9310>
- <http://www.spotimage.com/web/148-les-satellites-spot.php>
- <http://landsat.usgs.gov>
- <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gallerymap.asp>
- <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1.html>
- EnvCAL - UVED Signatures spectrales des principales surfaces naturelles (univ-paris1.fr)