

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Des Sciences et de la Technologie Mohammed Boudiaf



Faculté des Sciences
Spécialité: Physique

Département de Physique
Option: Rayonnement et Matière

Mémoire présenté par Mr. BOUSSIR M'hammed
Pour l'obtention du diplôme de magister en Physique

Thème :

**DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL DE GESTION DE BASE DE
DONNEES IMAGES ET DONNEES METEO**

Soutenu le : **28/ 06 / 2012**

Devant la commission d'examen composée de:

Président	: Mr. KAMECHE Mostafa	Professeur	USTO
Rapporteur	: Mr. BACHARI Nour El Islam	Professeur	USTHB
Examineur	: Mr. LOUNIS Mourad	Professeur	USTO
Examineur	: Mr. LAGHA Mohand	MC A	U. BLIDA
Examineur	: Mr. HASSINI Abdelatif	Chargé C.	U. ES-SENIA ORAN

- ANNEE UNIVERSITAIRE : 2011/2012 -

Remerciements

J'adresse tout d'abord mes remerciements les plus sincères, au Professeur Mr. BACHARI NOUR EL -ISLEM, qui a très volontiers accepté d'être le promoteur de ce mémoire. Sa grande connaissance dans le domaine, ainsi que son expérience, ont joué un rôle important dans la conception de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jurys,

Je tiens tout d'abord à remercier Mr. KAMECHE MOSTEFA, Professeur à l'Université d'USTO, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de mémoire.

J'exprime ma profonde gratitude aux Mr. LAGHA MOHAND, MC A à l'université de Blida, Mr. HASSINI ABDELLATIF, Chargé de cours à l'université d'Oran, Mr. LOUNIS MOURAD, Professeur à USTO qui a acceptés d'être les examinateurs de ce mémoire.

J'exprime aussi mes sincères remerciements à tous les enseignants de département de physique.

Dédicace

Je dédie ce mémoire,

*À tous ceux qui m'ont accompagné et soutenu durant la réalisation de ce
mémoire,*

À ma famille,

À tous les enseignants,

À tous les personnes de laboratoire LAAK,

À tous les étudiants.

Résumé

Dans ce travail, nous avons élaboré un logiciel de gestion de base de données images et données météo. Nous avons implémenté deux bases de données, une pour la gestion des images Météosat, l'autre pour les gestions des données météo. Pour la première base de données, notre outil s'occupe de différentes opérations de manipulation des images Météosat, donc, il fait plus que les opérations de traitement simples (affichages, arrondissement, réduction,...etc.), il fait aussi des traitements complexes (calcul d'ennuagement, image à ciel clair, image à ciel nuageux...etc.). Pour la deuxième base de données, cet outil de gestion, s'occupe de la gestion des données météo et qui peuvent êtres recueils à travers les différentes stations qui se trouvent au niveau de territoire national. Afin d'intégrer les données images dans la base des données météo que nous avons créé, notre outil de gestion fait l'extraction d'informations à travers les images Météosat, à savoir : premièrement le type de nuages (classification des nuages) et pour cela nous avons amélioré la méthode METEO-France pour aboutir à un résultat acceptable et deuxièmement calcul des rayonnements.

Mots clés: Image Météosat, Base de données, Ennuagement, Données Météo, Données image, Classification.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	08
CHAPITRE I: IMAGES ET BASE DE DONNEES IMAGES	
I.1. INTRODUCTION.....	11
I.2. LES SATELLITES METEOROLOGIQUES.....	11
I.3. SATELLITE METEOSAT.....	12
I.3.1. CARACTERISTIQUES GENERALES.....	12
I.3.2. LES FONCTIONS DU SATELLITE METEOSAT.....	13
I.3.3. BANDES SPECTRALES.....	14
I.3.3.1. CANAL VISIBLE.....	14
I.3.3.2. CANAL INFRAROUGE VAPER D'EAU.....	14
I.3.4. TRANSMISSION DES DONNEES METEOSAT.....	14
I.3.5. DESCRIPTION DES IMAGES METEOSAT.....	15
I.3.5.1. LES IMAGES HAUTES RESOLUTION (H.R.I).....	15
I.3.5.2. LES IMAGES B2.....	15
I.3.5.3. LES IMAGES WEFAX.....	15
I.3.6 CARACTERISTIQUES DES IMAGES MÉTÉOSAT.....	16
I.3.6.1. IMAGE VISIBLE (VIS).....	16
I.3.6.2. IMAGE INFRAROUGE(IR).....	17
I.3.6.3. IMAGE VAPEUR D'EAU.....	18
I.4. LES IMAGES UTILISEES.....	18
I.5. EXEMPLE.....	19
I.6. C'EST QUOI UNE BASE DE DONNEES?.....	19
I.7. MISE EN PLACE D'UNE BASE DE DONNEES.....	19
I.8. CONCEPTION D'UNE BASE DE DONNEES.....	21
I.8.1. ANALYSE.....	21
I.8.1.1. ANALYSE DU MONDE REEL.....	21
I.8.1.2. MODELISATION CONCEPTUELLE.....	21
I.8.1.3. MODELISATION LOGIQUE.....	21
I.8.1.4. MODELISATION PHYSIQUE.....	21
I.8.2. MODELES CONCEPTUELS DE DONNEES (MCD).....	22
I.8.3. EXEMPLE.....	23
I.8.4. LE MODELE RELATIONNEL.....	23
I.8.6. PASSAGE DU MODELE CONCEPTUEL DE DONNEES(MCD) AU MODELE RELATIONNEL.....	24
I.8.7. EXEMPLE.....	24
I.9. BASE DES DONNEES DES IMAGES METEOSAT.....	25
I.9.1. MCD DES IMAGES METEOSAT.....	25
I.9.2. LE MLD DES IMAGES METEOSAT.....	25
I.10. CONCLUSION.....	26
CHAPITRE II: PRETRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES	
II.1. INTRODUCTION.....	28
II.2. DEFINITION D'UNE IMAGE.....	28
II.3. IMAGE NUMERIQUE.....	28
II.4. PRETRAITEMENTS SIMPLES DES IMAGES METEOSAT.....	29

II.4.1. VARIANCE.....	29
II.4.1.1. ALGORITHME.....	29
II.4.1.2. EXEMPLE NUMERIQUE.....	30
II.4.2. TRANSLATION.....	31
II.4.3. HISTOGRAMME D'UNE IMAGE.....	32
II.4.4. CORRELATION.....	32
II.4.4.1.DEFINITION.....	32
II.4.4.2. ALGORITHME.....	33
II.4.5. DIFFERENCE.....	33
II.4.5.1. DEFINITION.....	33
II.4.5.2.EXEMPLE.....	34
II.5. QUANTIFICATION DU NUAGE.....	35
II.5.1.BRILLANCE.....	35
II.5.1.1. BRILLANCE MINIMALE.....	35
II.5.1.2. BRILLANCE MAXIMALE.....	36
II.5.1.3. APPLICATION.....	37
II.5.2. ENNUAGEMENT.....	38
II.5.2.1.ALGORITHME N□	
:01.....	39
II.5.2.2.ALGORITHME N□	
:02.....	40
II.5.2.3.ALGORITHME N□	
:03.....	42
II.5.2.4.ALGORITHME N□	
:04.....	43
II.6. CONCLUSION.....	45

CHAPITRE III: CLASSIFICATION DE LA MASSE NUAGEUSE

III.1. INTRODUCTION.....	47
III.2. DEFINITION D'UNE CLASSIFICATION.....	47
III.3. APPROCHE GENERALE D'UNE CLASSIFICATION.....	48
III.4. TECHNIQUES DE CLASSIFICATION.....	49
III.4.1. LES ARBRES DE DECISION.....	49
III.4.2. RESEAUX DE NEURONES.....	50
III.4.3. RESEAUX BAYESIENS.....	51
III.4.4. LE RAISONNEMENT BASE SUR LA MEMOIRE (K-NN).....	52
III.4.5. NUEE DYNAMIQUE.....	52
III.5. EVALUATION D'UNE METHODE DE CLASSIFICATION.....	53
III.6. CLASSIFICATION DES NUAGES.....	54
III.6.1. TYPE DU NUAGE.....	54
III.6.1.1. LES NUAGES LES PLUS ELEVES (PREFIXE: CIRR OU CIRRO).....	55
III.6.1.2. LES NUAGES DE L'ETAGE MOYEN (PREFIXE: ALTO).....	55
III.6.1.3. LES NUAGES DE L'ETAGE INFERIEUR.....	55
III.6.1.4. LES CUMULUS ET CUMULONIMBUS.....	55
III.6.2. METHODES DE CLASSIFICATION DES NUAGES.....	56
III.6.2.1. LES METHODES VISUELLES.....	56
III.6.2.3. LES METHODES A SEUIL.....	56
III.6.3. METHODE PROPOSEE PAR METEO-FRANCE.....	56

III.6.3.1. IDENTIFICATION DES NOYAUX.....	57
III.6.3.2. CLASSIFICATION DES NUAGES.....	57
III.7. CONCLUSION.....	58

CHAPITRE IV: DONNEES METEOROLOGIQUES ET RADIOMETRIQUES

IV.1. INTRODUCTION.....	60
IV.2. DEFINITIONS.....	60
IV.2.1. DEFINITION DE LA CLIMATOLOGIE.....	60
IV.2.2. DEFINITION DE LA METEOROLOGIE.....	60
IV.2.3. DEFINITION DE L'ATMOSPHERE.....	61
IV.3. LES BRANCHES DE LA METEOROLOGIE.....	61
IV.3.1. LA METEOROLOGIE AERONAUTIQUE.....	61
IV.3.2. LA METEOROLOGIE AGRICOLE.....	61
IV.3.3. LA METEOROLOGIE DE L'ESPACE (METEOROLOGIE SPATIALE).....	61
IV.3.4. LA METEOROLOGIE FORESTIERE.....	62
IV.3.5. LA METEOROLOGIE MARITIME.....	62
IV.3.6. LA MICROMETEOROLOGIE.....	62
IV.4. LES APPLICATIONS DE LA METEOROLOGIE.....	62
IV.4.1. LES TRANSPORT.....	62
IV.4.2. L'AGROCLIMATOLOGIE.....	63
IV.4.3. L'HABITAT.....	63
IV.4.4. L'ACTIVITE ECONOMIQUE.....	63
IV.5. LES PARAMETRES METEOROLOGIQUES.....	64
IV.5.1. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE.....	64
IV.5.2. LE VENT.....	64
IV.5.3. LA TEMPERATURE.....	65
IV.5.4. TEMPERATURE MOUILLEE.....	65
IV.5.5. TEMPERATURE ROSEE.....	65
IV.5.6. NEBULOSITE.....	65
IV.5.7. VISIBILITE.....	66
IV.5.8. PRESSION DE LA MER.....	66
IV.5.9. TENSION DE VAPEUR.....	66
IV.5.10. LES PRECIPITATIONS.....	66
IV.5.11. L'HUMIDITE DE L'AIR.....	67
IV.6. LES INSTRUMENTS DE MESURES.....	68
IV.6.1. LE BAROMETRE.....	68
IV.6.2. LE THERMOMETRE.....	68
IV.6.3. L'HYGROMETRE.....	68
IV.6.4. L'ANEMOMETRE.....	68
IV.6.5. LE PLUVIOMETRE.....	69
IV.7. HORAIRE DE PRISE DE MESURE.....	69
IV.8. INFORMATION MANQUANTE.....	69
IV.9. RESSOURCES METEOROLOGIQUES.....	69
IV.10. LES SATELLITES METEOROLOGIQUES.....	70
IV.11. LES STATIONS METEOROLOGIQUES.....	70
IV.12. LA PREVISION METEOROLOGIQUE.....	71
IV.13. LES DIFFERENTES SORTES DE LA PREVISION METEOROLOGIQUE.....	71

IV.14. TECHNOLOGIES DE CONTROLE METEOROLOGIQUE.....	72
IV.15. L'INSOLATION.....	72
IV.15.1. DEFINITIONS.....	72
IV.15.1.1. DEFINITION DE L'INSOLATION	73
IV.15.1.2. DEFINITION DE L'ENERGIE SOLAIRE.....	73
IV.15.1.3. LA RESSOURCE SOLAIRE.....	73
IV.15.2. LA MESURE DE L'INSOLATION.....	74
IV.15.3. LE CAPTURE ET L'EXPLOITATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE.....	75
IV.15.3.1. LE SOLAIRE THERMIQUE.....	75
IV.15.3.2. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE.....	75
IV.16. MODELISATION DES DONNEES METEOROLOGIQUE.....	75
IV.16.1. LES DONNEES METEOROLOGIQUES QUOTIDIENNES.....	75
IV.16.2. LES DONNEES METEOROLOGIQUES HORAIRES.....	76
IV.13.3. CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES METEOROLOGIQUES.....	77
IV.17. LES RAYONNEMENTS.....	79
IV.17.1. RADIATION DIRECTE.....	79
IV.17.2. RADIATION DIFFUSEE.....	79
IV.17.3. RADIATION GLOBALE.....	79
IV.18. CONCLUSION.....	80

CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. INTRODUCTION.....	82
V.2. LA BASE DE DONNEES DES IMAGES.....	82
V.2.1. CREATION DE LA TABLE DES IMAGES METEOSAT.....	82
V.2.2. MANIPULATION DE LA TABLE DES IMAGES METEOSAT.....	83
V.3. LA BASE DE DONNEES DES DONNEES METEOROLOGIQUES.....	85
V.4. CLASSIFICATION DES NUAGES.....	88
V.4.1. ARCHITECTURE PROPOSEE.....	88
V.4.1.1. STRUCTURES DE DONNEES UTILISEES.....	88
V.4.1.2. ALGORITHME.....	89
V.4.1.3. ARCHITECTURE GLOBALE.....	90
V.4.2. CRITIQUES.....	91
V.4.3. AMELIORATIONS PROPOSEES.....	91
V.4.3.1. PRINCIPE.....	91
V.4.3.2. ARCHITECTURE AMELIOREE.....	93
V.4.3.3. ALGORITHME.....	95
V.5. INTEGRATION DES DONNEES IMAGES DANS LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES.....	109
V.6. CONCLUSION.....	112
CONCLUSION GENERALE.....	113
ANNEXE.....	115
BIBLIOGRAPHIE.....	123

Liste des tableaux

<i>Tableau I. 1: Satellites météorologiques</i>	12
<i>Tableau I. 2 : Date de lancement des satellites Météosat</i>	12
<i>Tableau I. 3 : Format d'image Météosat désignées par l'ESOC</i>	16
<i>Tableau I. 4 : Représentation d'un schéma relationnel sous forme d'une table</i>	24
<i>Tableau II. 1 : radiométrie en quelques points</i>	38
<i>Tableau II. 2 : radiométrie du sol, mer et nuages</i>	38
<i>Tableau III.1 : Réseaux bayésiens</i>	52
<i>Tableau III.2 : Matrice de confusion</i>	53
<i>Tableau III. 3: valeurs en compte numérique des centres de gravité des classes du nuage</i>	57
<i>Tableau V.1: Structure de la table des images Météosat</i>	82
<i>Tableau V.2 : Structure de la table des stations météorologiques</i>	85
<i>Tableau V.3 : Structure de la table des météorologiques horaires</i>	86
<i>Tableau V.4 : Structure de la table des météorologiques quotidiennes</i>	87
<i>Table V. 5: Structure de la table noyaux</i>	88
<i>Table V. 6: Description de la table noyaux</i>	88
<i>Table V. 8 : Temps d'exécution</i>	108
<i>Tableau V.9 : Description de la table des données images « TableDImage »</i>	111

LISTE DES FIGURES

<i>FIGURE I.1: Image Météosat visible prise-le 1995/04/03 a 12 heure.....</i>	<i>17</i>
<i>FIGURE I.2 : Image Météosat infrarouge prise-le 1995/03 a 12 heures.....</i>	<i>18</i>
<i>FIGURE I.3 : Etapes de création d'une base de données.....</i>	<i>20</i>
<i>FIGURE I.4 : La relation entre SGBD et BD.....</i>	<i>20</i>
<i>FIGURE I.5 : Modèle entité-association.....</i>	<i>23</i>
<i>FIGURE I.6 : MCD des images Météosat.....</i>	<i>25</i>
<i>FIGURE II. 1 : Image satellitaire Météosat visible brute.....</i>	<i>30</i>
<i>FIGURE II. 2 : Image variance associée à l'image de la figure II.1.....</i>	<i>30</i>
<i>FIGURE II. 3 : Image Météosat visible prise le 1995/04/01 a 09 heures.....</i>	<i>34</i>
<i>FIGURE II. 4 : Image Météosat visible prise le 1995/04/01 a 15 heures.....</i>	<i>34</i>
<i>FIGURE II. 5 : Image différence des deux images figure ii.3 et figure II.4.....</i>	<i>34</i>
<i>FIGURE II.6: Calcul de l'image minimale et maximale.....</i>	<i>36</i>
<i>FIGURE II.7 : Brillance maximale visible du paquet des images du mois 04/1995.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURE II.8 : Brillance minimale visible du paquet des images du mois 04/1995.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURE II.9 : Brillance minimale infrarouge 04/1995.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURE II.10 : Brillance maximale visible 04/1995.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURE II. 11 : Représentation de la réflectance du sol et nuage.....</i>	<i>39</i>
<i>FIGURE II. 12 : Image ennuagement.....</i>	<i>40</i>
<i>FIGURE II.13 : Image brute visible prise –le 1995/04/01 a 09 heures.....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURE II.14 Images ennuagement correspondre aux images visibles de la figure II.13.....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURE II.15: Image brute 95040118.vis.....</i>	<i>43</i>
<i>FIGURE II.16: Image ennuagement.....</i>	<i>43</i>
<i>FIGURE II. 17 : Image brute visible 95040118.vis.....</i>	<i>44</i>
<i>FIGURE II. 18 : Image ennuagement associée.....</i>	<i>44</i>
<i>FIGURE III. 1 : Principe d'une classification.....</i>	<i>47</i>
<i>FIGURE III. 2: Approche globale de construction d'un modèle de classification.....</i>	<i>49</i>
<i>FIGURE III. 3: Arbre de décision.....</i>	<i>50</i>
<i>FIGURE III. 4 : Réseau de neurones.....</i>	<i>51</i>
<i>FIGURE III. 5 : Réseau bayésien.....</i>	<i>52</i>
<i>FIGURE III.6 : Les types du nuage.....</i>	<i>55</i>
<i>FIGURE IV.1: Le relief fait obstacle au front chaud provoquant la pluie.....</i>	<i>67</i>
<i>FIGURE IV.2: Mesure d'une donnée météorologique.....</i>	<i>71</i>
<i>FIGURE IV.3: Héliographe de type cambell-stockes.....</i>	<i>74</i>

<i>FIGURE IV.4: Model conceptuel de données des données météorologiques(MCD)</i>	78
<i>FIGURE V. 1 : Illustration de l'algorithme</i>	90
<i>FIGURE V. 2 : Illustration de l'algorithme</i>	90
<i>FIGURE V.3 : Image a ciel clair</i>	91
<i>FIGURE V.4 : Image ennuagement</i>	91
<i>FIGURE V. 5: Arborescence du nouveau de la méthode de classification proposée</i>	92
<i>FIGURE V. 6: Architecture générale du nouvel système</i>	93
<i>FIGURE V. 7: Image a ciel clair</i>	94
<i>FIGURE V. 8: L'histogramme de l'image a ciel clair</i>	94
<i>FIGURE V. 9: Image a ciel clair binaire</i>	94
<i>FIGURE V. 10: Image ennuagement</i>	95
<i>FIGURE V. 11: Image ennuagement binaire</i>	95
<i>FIGURE V.13 : Image 95050430.vis</i>	97
<i>FIGURE V. 14 : Image 95050430 classée par le premier algorithme</i>	97
<i>FIGURE V. 15 : Image ennuagement 95050430 binaire</i>	98
<i>FIGURE V.16 : Image 95050430. vis classée après amélioration</i>	98
<i>FIGURE V. 17 : Image 95042224 .vis</i>	99
<i>FIGURE V. 18 : Image 95042224 classée par le premier algorithme</i>	100
<i>FIGURE V. 19 : Image ennuagement 95042224 binaire</i>	100
<i>FIGURE V. 20 : Image 95042224 classée après amélioration</i>	101
<i>FIGURE V. 21 : Image 95040118 .vis</i>	102
<i>FIGURE V. 22 : Image 95042224 classe par le premier algorithme</i>	102
<i>FIGURE V. 23 : Image 95040118.vis classée après amélioration</i>	103
<i>FIGURE V. 24 : Image 95040318.vis</i>	103
<i>FIGURE V. 25 : Image 95040318 classée par le premier algorithme</i>	104
<i>FIGURE V. 26 : IMAGE ENNUAGEMENT 95040318</i>	104
<i>FIGURE V.27 : Image 95040318. Classée après amélioration</i>	105
<i>FIGURE V. 28 : Image 95090318 .vis</i>	105
<i>FIGURE V. 29 : Image 95090318 classée par le premier algorithme</i>	106
<i>FIGURE V. 30 : IMAGE ENNUAGEMENT BINAIRE 95090318</i>	106
<i>FIGURE V. 31 : IMAGE 95090318 CLASSEE APRES AMELIORATION</i>	107
<i>FIGURE V.32 : Image 95040318.vis</i>	109
<i>FIGURE V.33 : Image 95050430.vis</i>	109
<i>FIGURE V.34 : Le nouveau MCD des données météo</i>	110

INTRODUCTION GENERALE

Les conséquences économiques et sociales entraînées par de mauvaises prévisions météorologiques peuvent s'avérer catastrophiques. Les fortes intempéries ne font pas que détruire les arbres et les infrastructures mais elles provoquent des bouleversements, menacent la vie humaine et détruisent des économies locales. A cause de ces conséquences, la prévision devient de plus en plus un outil indispensable pour la prévision des catastrophes naturelles.

Grace a leurs caractéristiques et leurs fréquences, les données et les images dérivées au système METEOSAT s'avèrent particulièrement précieuses pour la prévision immédiates et à courte échéance. Combinées avec les autres moyens existants et données météorologiques rassemblées aux différentes stations météorologiques existantes, elles permettent aux météorologues de connaître et de suivre le développement des phénomènes météorologiques susceptibles de devenir dangereux et informer les services d'intervention et les autorités locales. Ainsi, elles collaborent à atténuer le dégât et à protéger la vie humaine et les biens.

Le présent travail a pour objectif de faire un outil de gestion de base de données images METEOSAT et données météorologiques. Ainsi, pour chaque pixel on associe ces coordonnées géographiques pour en conséquence intégrer les données météorologiques sur ces images.

Afin d'enrichir notre base de données météorologique par des données extraites de l'image, on a fait recourir au traitement par pixel pour calculer le type de nuage ou « classification » et les rayonnements ce qui impose une étape de prétraitement et la plus importante dans notre travail et de transformer les images brutes en images synthétiques ou « ennuagement ».

En outre, nous avons proposé des modifications de l'algorithme de classification utilisé par METEO-France en introduisant ce prétraitement.

Les images stockées ne sont plus les images brutes mais des images ennuagement. Ces images présentent un avantage précieux puisque elles sont représentées dans la majorité de cas sous forme de matrices creuses. Cet avantage est exploité pour créer une banque d'images METEOSAT et la transformation en image brute est possible par des relations linéaires développées.

Les images ennuagement présentent à la fois une quantité de masse nuageuse par pixel mais après classification présente une information sémantique qui décrit la qualité du pixel

Pour atteindre ces objectifs nous avons organisé ce travail aux chapitres suivants :

Chapitre 1 : les images METEOSAT et la base de données images.

Chapitre 2 : prétraitement des images satellitaires.

Chapitre 3 : classification des nuages

Chapitre 4 : les données radiométriques et météorologiques.

Chapitre 5 : résultats et discussions.

En fin une conclusion générale, une annexe et un glossaire.

CHAPITRE I:
IMAGES ET BASE DE
DONNEES IMAGES

I.1. Introduction

L'utilisation des données satellitaires est un outil indispensable pour le suivi d'occupation du sol et les prévisions météorologiques. En effet les satellites météorologiques sont une source d'information incontournable aussi bien pour la météorologie opérationnelle (analyse et prévision des situations météorologiques) que pour la surveillance et le suivi de l'environnement continental et océanique à court et à long terme. Ce type de d'observation et de suivi a conduit à mesurer les luminances réfléchies par le système terre- atmosphère à des heures très différentes pour l'ensemble des points d'une image, et ce quasiment au même instant. Son importance est liée aux informations qu'elle apporte régulièrement sur les masses nuageuses apparaissent au dessus des régions scrutées par les satellites météorologiques

Dans ce chapitre nous présentons un état de l'art sur les principes des satellites météorologiques, principalement Météosat et les types des images produites par ce système. D'autre part nous discutons sur les principes de base de données qui doit être utilisées dans notre travail pour archives et gérer nos images satellitaires Météosat.

I.2. Les satellites météorologiques

Les radiomètres des satellites d'observation de la terre mesurent, en même temps, le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement propre émis par les corps en observation. Les premiers satellites d'observation appliqués à la météorologie ont été lancés par NOAA (National Océan and Atmosphère Administration) [DAN83].

Ils furent suivis par le lancement de toute une série d'engins destinés à couvrir les applications météorologiques dans le monde entier. Actuellement il existe deux sortes de satellites [DAN83] :

- ✓ Les satellites à défilement, dont l'altitude est généralement comprise entre 800 et 1000 km. Leurs orbites étant polaire, il passe près les pôles nord et sud.
- ✓ Les satellites géostationnaires (ou satellites géosynchrones) se trouvant à environ 36000 km de la terre. Ils restent stationnaires vis-à-vis de la terre animée du même mouvement de rotation que celle-ci tout en observant la même partie du globe.

Le programme de recherche sur l'atmosphère globale a entrepris de mettre en place cinq satellites géostationnaires afin de réaliser une observation permanente de la plus grande partie du globe terrestre. **La table I.1** donne pour chaque satellite son nom, les coordonnées géographiques du point satellite et les pays chargés de sa mise en orbite et son maintien.

Satellite	Latitude (degré)	Longitude (degré)	Pays
MÉTÉOSAT	0	0	Europe
GOES-EAST	0	75 Ouest	USA
GOE-WEST	0	135 Ouest	USA
GMS	0	150 Ouest	Japon
GOES-INDIAN	0	60 Est	USA et Europe

Tableau I. 1: Satellites météorologiques

A partir de chaque satellite, la terre est vue à l'intérieur d'un cône de visée d'environ 17 degrés d'angle de sommet [DAN83]. Le système de projection qui en découle donne des images de plus en plus déformées lorsqu'on se déplace du point sous satellite vers l'horizon. Aucune observation des régions polaires n'est possible par ce dispositif.

I.3. Satellite Météosat

I.3.1. Caractéristiques générales

Météosat est un satellite géostationnaire qui permet d'observer en permanence l'atmosphère terrestre ou se trouvent l'Afrique du nord et l'Europe. Ce satellite a été conçu par l'organisation internationale EUMETSAT destiné à la mise en place, le maintien en bon état et à l'exploitation des systèmes européens de satellites opérationnels pour l'observation météorologique. Notant que six satellites de ce type ont été successivement lancés depuis 1977 à ce jour (voir la table I.2)

Satellites	Date de lancement	Observations
MÉTÉOSAT 1	1977	N'est plus opérationnel
MÉTÉOSAT 2	1981	N'est plus opérationnel
MÉTÉOSAT 3	1988	N'est plus opérationnel
MÉTÉOSAT 4	1989	N'est plus opérationnel
MÉTÉOSAT 5	1991	N'est plus opérationnel
MÉTÉOSAT 6	1996	Opérationnel

Tableau I. 2 : Date de lancement des satellites Météosat

Météosat est animé d'un mouvement de rotation au tour de son axe (100 tours /min). Son radiomètre est équipé de trois types de détecteurs adapté à trois canaux différents du spectre électromagnétique. ci après [DAN83]:

- ✓ Un détecteur pour le canal infrarouge thermique dont la bande varie de 10.5 à 12.5 μm .
- ✓ Un détecteur pour le canal infrarouge vapeur d'eau dont le spectre s'étale de 5.7 à 7.1 μm .
- ✓ Deux détecteurs identiques, de résolution deux fois plus importante que celle des canaux infrarouges, pour le canal visible. leurs bandes de longueur d'onde est {0.4 μm -1.14 μm }.

Le radiomètre étant entraîné par la rotation du satellite au tour de son axe, il observe la terre d'Est en Ouest pendant 1/20 du temps de cette rotation. Le balayage nord – sud est obtenu par le décalage pas à pas du télescope [DAN83]. On a ainsi la possibilité d'avoir :

- ✓ Soit un jeu de deux images, l'un visible composé de 5000 lignes et l'autre infrarouge thermique composé de 2500 lignes ;
- ✓ Soit un jeu de trois images : visible, infrarouge thermique et infrarouge vapeur d'eau de 2500 lignes chacune [DAN83]. Ainsi à partir du point satellite, la résolution est de 2.5 km pour l'image à 5000 lignes et de 5 km pour l'image à 2500 lignes . Cette résolution diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du point satellite en raison de l'inclinaison de la visée.

I.3.2. Les fonctions du satellite Météosat

Météosat est conçu pour trois fonctions :

- ✓ **Observation permanente de la terre:** Cette fonction prend principalement en compte les besoins de la météorologie. Pour se faire, le satellite est équipé des radiomètres qui effectuant une osculation complète du globe terrestre toutes les 30 mn les données établies par ce radiomètres sont reçues à la station terrestre de Darmstadt en Allemagne qui opère à la réception d'un certain nombre de traitements et d'extraction d'informations [CPA76].
- ✓ **Diffusion des données et des informations extraites :** la station terrestre de Darmstadt utilise le satellite MÉTÉOSAT comme relief spatial pour retransmettre aux utilisateurs les données brutes ou élaborées. Les stations d'utilisateurs sont de deux types : Les station PDUS (primary data user station) ;et Les station SDUS (secondary data user station) .Les stations PDUS sont capables de recevoir la transmission digitale de l'image haute résolution alors que les stations SDUS reçoivent des images analogique au standard WEFAX (WEather FASCimile) ,c'est-à-dire ,des secteurs d'images à résolution plus faible dans un format compatible avec la transmission

APT(automatic picture transmission) classique des satellites polaires américains [FRC76] .

- ✓ **Collecte de données :** Le satellite MÉTÉOSAT sert de relief pour la transmission des mesures effectuées par des stations terrestres [CPA76].

I.3.3. Bandes spectrales

I.3.3.1. Canal visible

Celui-ci varie de 0.4 μm à 1.14 μm car il se compose des fenêtres visibles (0.4 μm à 0.75 μm).et proche infrarouge (0.75 μm , -1.14 μm). La gamme visible est utilisée dans la photographie aérienne et pour le rayonnement solaire réfléchi par le sol et les nuages. Dans le proche infrarouge les ondes électromagnétiques sont fortement réfléchies par la couverture végétale et correspondante à une signature des plantes. De façon générale, l'émission ou la réflexion d'ondes électromagnétiques par les objets qui se trouvent dans le champ de vision du satellite, dépendant de la nature de ces objets. La couverture végétale réfléchit presque toute l'énergie électromagnétique qu'elle reçoit dans le proche infrarouge. Les corps froids comme les lacs, la neige et les nuages émettent très peu de rayonnement infrarouge [DAN83]

I.3.3.2. Canal infrarouge vapeur d'eau

Ce canal s'étend de 5.1 μm à 7.1 μm . il se trouve dans la partie du spectre infrarouge où le rayonnement électromagnétique est absorbé par les molécules d'eau, d'où son nom canal vapeur d'eau.

I.3.3.3. Canal infrarouge thermique

Ce canal s'étend de 10.5 μm à 12.5 μm dans la gamme de l'infrarouge lointain (8 μm à 14 μm) dans cette gamme, la puissance électromagnétique réfléchie par les objets en observation est proportionnelle à leur température.

I.3.4. Transmission des données Météosat

Le radiomètre de satellite Météosat balaye la surface observée par celui-ci et mesure la réponse spectrale des objets qui forment cette surface. Le satellite transmet les signaux provenant de son radiomètre vers le centre européen des opérations spatiales (ESOC ou European Spatial Operation Center) installé à Darmstadt et qui dépend de l'agence spatiale européenne (ESA).

De tels signaux sont reçus par l'ESOC sous forme d'images brutes où chaque point représente la valeur numérique de l'énergie électromagnétique qui est, soit émise, ou réfléchie par le sol et l'atmosphère. Au centre de Darmstadt, ces images subissent tout d'abord un prétraitement qui consiste à corriger notamment les dégradations subies à cause des défauts d'orbite du satellite,

de variation de position d'origine de balayage radio métrique et des irrégularités de balayage [CPA76].

Par la suite on obtient des images numériques qui sont échantillonnées à des dimensions adaptées aux traitements automatiques de l'information spatiales. Les images ainsi pré traitées sont alors, soit stockées, ou transmises via Météosat, vers les stations météorologiques menées d'un système de réception conçu pour ce type d'images.

Les pays utilisateurs d'images Météosat sont chargés à leur tour de transmettre vers l'ESOC toutes les données météorologiques collectées au niveau de leur centre météorologique. Ces dernières sont équipées de stations automatiques jouant le rôle de plate forme de collecte de données (DCP Data Collection Platform) et reliés par voie Hertzienne au centre de Darmstadt. Par le biais de canaux de transmission du satellite Météosat.

Les canaux sont au nombre de 66, soit 33 canaux régionaux et 33 canaux internationaux dont deux sont actuellement utilisés par l'ONM. Après traitement et stockage au centre de Darmstadt.

I.3.5. Description des images Météosat

L'image acquise par le satellite Météosat, se présente sous forme d'une matrice de valeurs numériques, à chaque pixel de coordonnées (x, y) est attribuée un compte numérique CN(x, y) codée sur 8 bits. Il existe trois types d'images Météosat [DAN83] : les images hautes résolution, les images B2 et les images WEFAX.

I.3.5.1. Les images hautes résolution (H.R.I)

Codées sur 8 bits et enregistrées toutes les demi-heures, ces images couvrent tout l'hémisphère terrestre. Leur format est de 5000 X 5000 pixels pour le visible et 2055 X 2500 pixel pour l'infrarouge. Celles-ci sont stockées au centre de Darmstadt sur des bandes magnétiques.

I.3.5.2. Les images B2

Appelées images de moindre résolution ou image B2, elles sont obtenues en moyennant les points de tous les 2 X 2 pixels et en échantillonnant ceci tous les 36 pixels .ces images sont archivées toutes les trois heures par l'ESOC sur bande magnétique, sous un format réduit de 416 X 416 pour toute la région observée par le satellite.

I.3.5.3. Les images WEFAX

Elles sont transmises avec les données DCP par le centre de Darmstadt via Météosat vers les centres météorologiques. La partie principale d'une image WEFAX prise dans le visible est subdivisée en 24 sous format de 800 X 800 pixels.

I.3.6 Caractéristiques des images MÉTÉOSAT

Les données satellitaires sont destinées à assister les services météorologiques dans leurs tâches de prévention et leurs études sur l'atmosphère. Afin de toucher un maximum d'utilisation, l'ESOC a choisi de ne pas transmettre l'intégralité des images (toute l'image, toutes les demi heures) pour disposer d'avantage de temps de transmission. Ainsi, elle réserve pour ses utilisateurs six formats d'images qui portent dans la terminologie Météosat les désignations suivantes VV, DA, AM, SA, et [TEK91]. Chaque format correspond à une zone géographique comme la montre la **table I.3**

Région	Latitude Nord	Latitude Sud	Longitude Ouest	Longitude Est
VV	+59	+23	-12	+38
DA	+41	+15	-14	+15
DZ	+47	+19	-16	+16
AM	+44	+17	-8	+22
SA	+32	+9	+29	+74
MZ	+64	+25	-10	+47

Tableau I. 3 : Format d'image Météosat désignées par l'ESOC

L'O.N.M reçoit quotidiennement et chaque demi-heure les formats d'images AM et DZ qui couvre l'Europe et l'Afrique du nord. Pour notre étude, nous avons des images HRI de format DZ. Ces fichiers images regroupent les trois canaux, visible infrarouge et vapeur d'eau.

I.3.6.1. Image visible (VIS)

Les images visibles représentent la quantité de lumière visible rétro diffusée par les nuages ou la surface de la terre. Les nuages et la neige apparaissent en blanc et les zones sans nuages en noir. Les nuages épais sont plus brillants que les nuages fins. Il est difficile de distinguer les nuages bas des nuages élevés. Pour cela, il faut utiliser les images infrarouges. On ne peut pas utiliser les images visibles la nuit.

La valeur de la luminance d'un point de l'image, exprimée en niveau de gris, dépend de trois facteurs essentiels, liés à l'éclairement solaire, à la géométrie de prise de vue et au pouvoir de réflectance du corps en observation. En étudiant Météosat du canal visible utilisé, on voit sur celles-ci que tout corps d'autant plus blanc qu'il est un bon réflecteur du rayonnement solaire [JAC82] (**Figure I.1**).

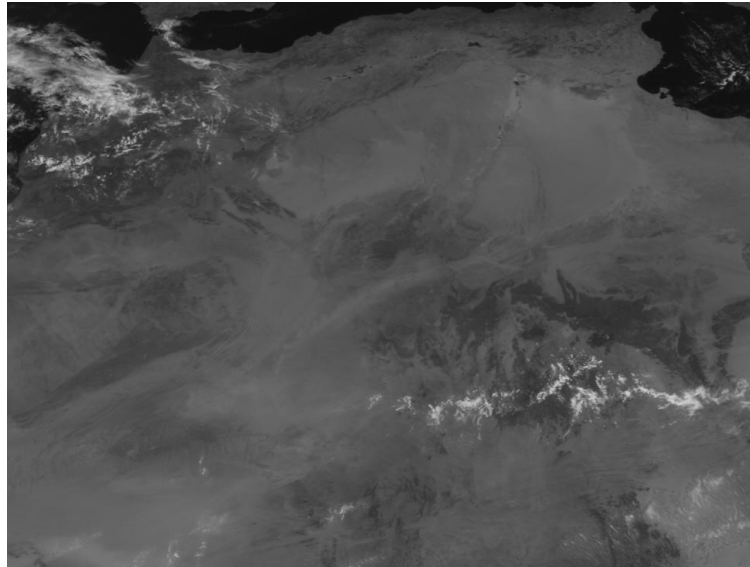


Figure I.1 : Image Météosat visible du 1995/04/03 a 12h.

I.3.6.2. Image infrarouge(IR)

Les images infrarouges représentent une mesure du rayonnement infrarouge émis par le sol ou les nuages. Ce rayonnement dépend de la température. Plus l'objet est chaud plus il est noir et plus l'objet est froid, plus il est blanc. Les nuages élevés apparaissent plus blanc que les nuages bas car ils sont plus froid. Dans les zones sans nuages, plus le sol est chaud, plus il est sombre. Ces images infrarouges nous enseignent sur la température radiative de la surface terrestre et du sommet des nuages. Tout corps émet des radiations électromagnétiques dans la bande infrarouge correspondante à sa température .

Dés lors, l'observation de cette bande est très utile si l'on veut suivre l'évolution d'un objet (à l'exemple d'un nuage pluvieux) .durant la nuit l'observation dans la bande visible devient impossible. L'image infrarouge correspondante est une carte thermique de la terre et des nuages. Dans cette image la valeur nulle de pixel correspond à une température élevée. En revanche, la valeur maximale du pixel (égale 255) correspond à une température d'un objet froid (**voir figure I.4**).

D'où l'existence d'une relation linéaire entre la température radiative du pixel et la valeur de son niveau [JAC82] .Celle-ci lorsqu'elle est exprimée en degré C est donnée par la relation : $T=55-\frac{Cn}{2}$, Avec Cn, la valeur du niveau de gris comprise entre 0 et 255. Dans ce cas nous trouvons que la température radiative de chaque pixel varie entre $-72.5^{\circ}C$ et $+55^{\circ}C$.

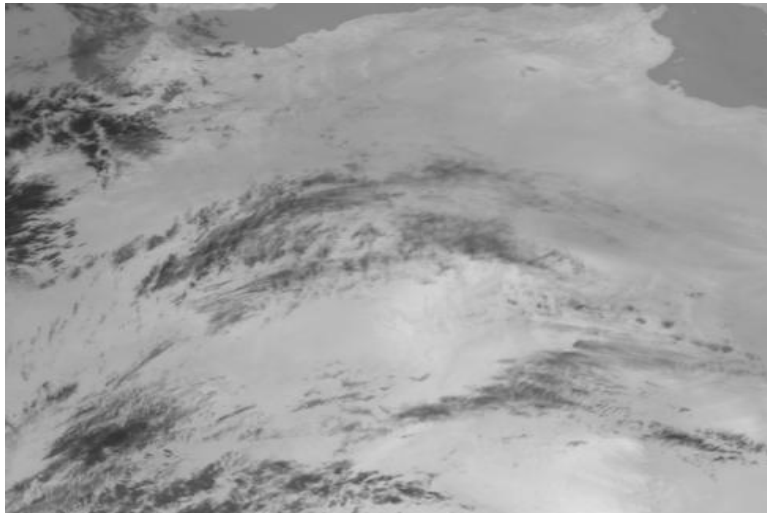


Figure I.2 : Image Météosat Infrarouge du 1995/04/03 a 12h

I.3.6.3. Image vapeur d'eau

Le capteur de vapeur d'eau de Météosat mesure la luminance du rayonnement infrarouge émis dans la bande ($5.7 \mu\text{m}$ à $-7.7 \mu\text{m}$). Les régions sèches apparaissent en gris sombre, tandis que les zones de forte humidité apparaissent en gris clair.

I.4. Les images utilisées

Les images utilisées dans notre travail sont présentées par une banque image Météosat. Cette banque est acquise à partir d'EUMETSAT et présente une fenêtre spatiale centrée sur l'Algérie. La banque est composée des images visible et infrarouge pour les trois heures 09h00, 12h00 et 15h00.

Le choix des heures précédentes est dû à la clarté des images d'une part et d'autre part ces horaires tranchent la journée en segment horaire représentatif de la situation météorologique.

Ces images sont au format TIFF d'une résolution de (974 x 775) pour l'image visible et (487 x 388) pour l'image infrarouge. Elles ont une taille fixe de 739 Ko pour l'image visible et 184 Ko pour l'image infrarouge. On constate que la résolution de l'image visible est le double que la résolution de l'image infrarouge. Ces images sont nommées de la façon suivante : AA MM JJ HH CCC.TIF.

Tels que :

- ✓ AA : Années d'acquisition → 2 caractères,
- ✓ MM : Mois d'acquisition → 2 caractères,
- ✓ HH : Heure d'acquisition fois X 2 → 2 caractères,

- ✓ CCC : le canal utilise pour l'acquisition qui soit le canal visible (vis) ou le canal infrarouge (ir) → 3 caractères,
- ✓ TIF : représente le format des images (l'extension du fichier image est de type .tif).

I.5. Exemple

- 95040424.vis : le nom d'une image Météosat prise le 04/04/1995 a 12 heures par le canal visible du satellite Météosat.
- 95040424.ir : le nom d'une image Météosat prise le 04/04/1995 a 12 heures par le canal infrarouge du satellite Météosat.
- 95041118.ir : le nom d'une image Météosat prise le 11/04/1995 a 09 heures par le canal infrarouge du satellite Météosat.

On constate que pour une année, un mois, un jour, une heure et un canal donne, il existe une seule image. Ce qui représente la clé d'identification unique de ces images.

Pour la gestion du banque d'images, on va utiliser une base de données contenant la liste des images dont chaque image est définie par le numéro, type (visible ou infrarouge), l'année, mois, jour et l'heure d'acquisition de l'image par le satellite. Ces informations doivent être enlevées à partir du nom d'image.

I.6. C'est quoi une base de données?

Une base de données(BD) est ensemble d'informations archivées dans des mémoires accessibles a des ordinateurs en vue de permettre le traitement des diverses applications prévues pour elles.

L'intérêt d'une BD est de regrouper les données communes a une application dans le but :

- ✓ D'éviter les redondances et les incohérences qu'entraînerait fatalement une approche où les données seraient réparties dans différents fichiers sans connexions entre eux,
- ✓ D'offrir des langages de haut niveau pour la définition et la manipulation des données,
- ✓ De partager les données entre plusieurs utilisateurs,
- ✓ De contrôler l'intégrité, la sécurité et la confidentialité des données,
- ✓ D'assurer l'indépendance entre les données et les traitements,

I.7. Mise en place d'une base de données [WEB4]

La mise en place d'une base de données peut être divisée en trois étapes comme l'indique-le schéma ci-dessous :

- ✓ Recherche des données et création de la base de données

- ✓ Structuration des données
- ✓ Implémentation de la base de données

La mise en place d'une base de données peut être divisée en trois étapes comme l'indique le schéma ci-dessous :

- ✓ Recherche des données et création de la base de données
- ✓ Structuration des données
- ✓ Implémentation de la base de données

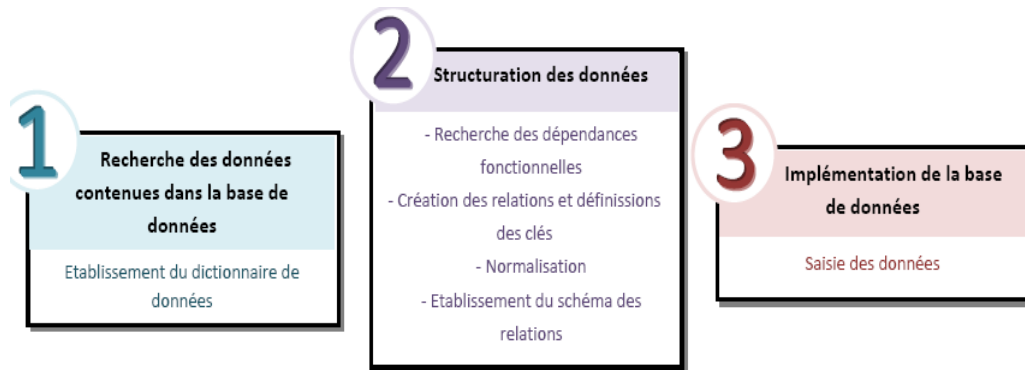


Figure 3 : Etapes de création d'une base de données

Les bases de données sont gérées par des logiciels spécialisés appelés systèmes de gestion de base de données(SGBD).

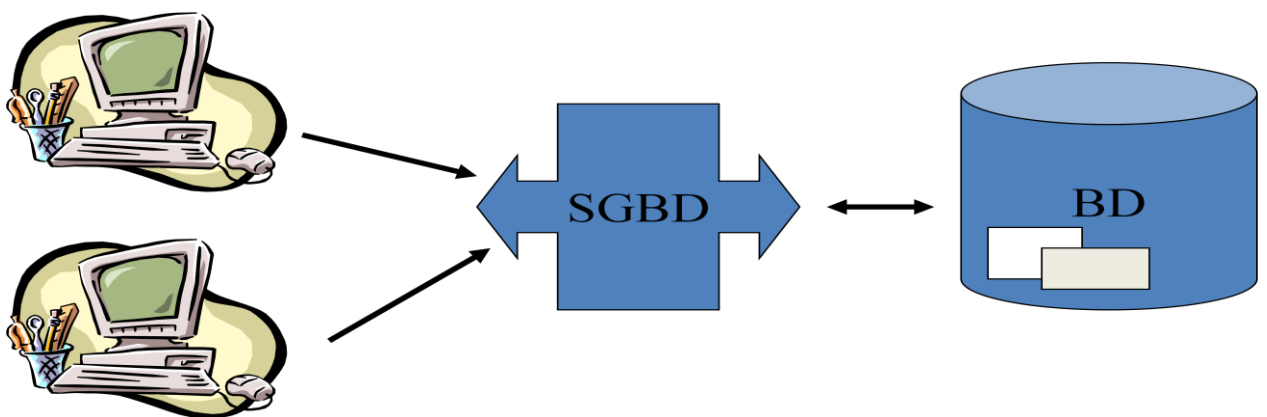


Figure I.4 : La relation entre SGBD et BD.

Plus précisément, un SGBD permet de décrire, mémoriser, manipuler (à l'aide de requêtes) et traiter des ensembles de données, tout en assurant leur sécurité, leur confidentialité et leur intégrité (justesse).

Il existe plusieurs types de SGBD, selon la manière dont les données sont implantées et gérées « Physiquement ». Actuellement, les SGBD les plus répandus sont relationnels, c'est-à-dire conforme au modèle relationnel. On parle alors de SGBDR par exemple : Oracle, SQL Server, DB2, Access, MySQL, ...

I.8. Conception d'une base de données

I.8.1. Analyse

I.8.1.1. Analyse du monde réel

Le monde réel est aperçu comme un système abstrait. Ce système abstrait se traduit par :

- ✓ Des classes d'entités,
- ✓ Des propriétés sur ces classes,
- ✓ Des liaisons entre ces classes.

Le système abstrait est décrit par un schéma conceptuel.

I.8.1.2. Modélisation conceptuelle

Principes généraux à respecter :

- ✓ Le schéma conceptuel doit être libre de toute considération non significative du système abstrait (organisation physique des données, aspects particuliers a un usager tels que des formats de messages...)
- ✓ Tous les aspects du système abstrait doivent être décrits dans le schéma conceptuel ; aucun d'eux ne doit intervenir ailleurs en particulier dans des programmes d'application indépendants du schéma conceptuel.

I.8.1.3. Modélisation logique

Traduit le modèle conceptuel dans le modèle du SGBD. Il existe différents types de modèles logiques de SGBD : hiérarchiques, réseau, relationnels, orientés objet. Certains modèles peuvent être spécifiques à un SGBD.

I.8.1.4. Modélisation physique

Structures de stockage internes des données.

I.8.2. Modèles conceptuels de données (MCD)

Dans cette partie on s'intéresse au modèle entité-association(E-A). Ce modèle est un langage graphique destiné à la construction du modèle conceptuel d'une BD, indépendamment du SGBD qui sera utilisé pour gérer celle-ci. Il est à la base de nombreuses méthodes de conception de BD par exemple, la méthode Merise. Il est aussi bien adapté à la conception d'une BD relationnelle.

Le modèle E-A repose sur les concepts suivants :

- ✓ Une entité est décrite par ses attributs. Par exemple une image satellitaire décrite par : type, année, mois, jour, heure...
- ✓ Une entité est identifiée par sa clé : les valeurs d'une partie de ses attributs. Par exemple, une image satellitaire peut être identifiée par la date et l'heure de prise de l'image par le satellite et le canal, une station météorologique identifiée par latitude, longitude.
- ✓ Une association exprime un lien entre plusieurs entités. Par exemple, l'attachement d'une image à un satellite, les données météorologiques à une station météorologique.
- ✓ Une association peut aussi avoir des attributs.
- ✓ Le schéma E-A d'une BD est composé de l'ensemble des définitions des types d'entité et d'association auxquelles doivent appartenir les instances de cette BD.

Les caractéristiques des associations sont:

- ✓ Associations un à plusieurs (1-N) entre deux entités A et B.
- ✓ Associations 1-1 qui est un cas particulier de l'association 1-N.
- ✓ Association plusieurs à plusieurs (M-N) entre deux entités A et B.

I.8.3. Exemple

Le modèle entité- association correspond aux données météorologiques est le suivants:

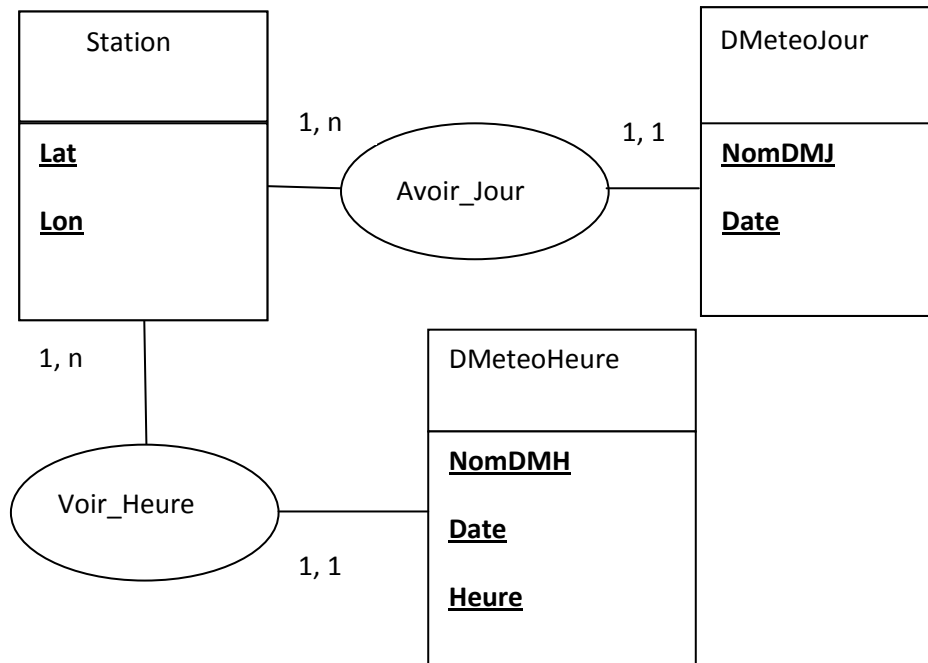


Figure I.5 : modèle entité-association.

I.8.4. Le modèle relationnel

C'est un modèle LOGIQUE de donnée, celui qui correspond à l'organisation des données dans les bases de données relationnelles (il existe d'autres organisations de bases de données : hiérarchique, réseau, objet, ...).

Les SGBD actuels les plus courants sont relationnels (Oracle, SQL Server, Access, MySQL, ...).

Un modèle relationnel est composé de relations, encore appelée tables. Ces tables sont écrites par des attributs ou champs (noms de colonnes). Pour décrire une relation, on indique tout simplement son nom en majuscule, suivi du nom de ses attributs entre parenthèses.

L'identifiant d'une relation est composé d'un ou plusieurs attributs qui forment la **clé primaire**.

Une relation peut faire référence à une autre en utilisant une **clé étrangère**, qui correspond à la clé primaire de la relation référencée.

Chaque ligne (**tuple ou enregistrement**) d'une table représente **une occurrence** de l'entité ou de l'association correspondante.

I.8.5.Exemple

IMAGESAT (**Num** :entier , **ImagSat** :ObjetOle , **Annee** :char(4) , **Mois** : char(2) , **Jour** : char(2) , **Heure** :char(2) , **Type** : char(3))

Ce qui est écrit ci-dessus constitue en fait le schéma de la relation **IMAGESAT**. La relation **IMAGESAT** est représentée sous la forme d'une table :

Num	ImagSat	Annee	Mois	Jour	heure	Type
1	Image1	1995	04	01	12	vis
2	Image2	1995	04	01	12	ir
3	Image3	1996	06	10	15	vis
4	Image4	1999	03	04	09	Ir
5	Image5	2001	01	02	15	vis

Tableau I. 4 : Représentation d'un schéma relationnel sous forme d'une table.

- Une ligne de la table constitue un élément de la relation, ou n-uplet. Elle représente aussi une image satellite, instance de la relation **IMAGESAT**. D'un point de vue logique (mathématique), il s'agit d'un prédicat qui met en relation les attributs de la relation.
- Il n'y a pas d'ordre sur les lignes (ni sur les colonnes) dans une table / relation.
- Il n'y a pas non plus d'information sur l'organisation physique (stockage des données) qui est de ce fait cachée à l'utilisateur.

I.8.6. Passage du modèle conceptuel de données(MCD) au modèle relationnel

Le passage du MCD vers le modèle relationnel se fait suivant les règles de passage suivantes :

- **Règle 1** : Toute entité devient une relation ayant pour clé primaire son identifiant. Chaque propriété se transforme en attribut.
- **Règle 2** : Toute association hiérarchique (de type [1, n]) se traduit par une clé étrangère. La clé primaire correspondant à l'entité père (côté n) migre comme clé étrangère dans la relation correspondant à l'entité fils (côté 1).
- **Règle 3** : Toute association non hiérarchique (de type [n, n] ou de dimension > 2) devient une relation. La clé primaire est formée par la concaténation (juxtaposition) l'ensemble des identifiants des entités reliées. Toutes les propriétés éventuelles deviennent des attributs qui ne peuvent pas faire partie de la clé.

I.8.7. Exemple

Le modèle relationnel correspond au MCD (ou modèle E-A) de l'exemple sous-dessus (qui modélise les données météorologiques) est le suivant :

STATION (lat , lon , alt , NomStation)

DMETEOJOUR (intitule , date , valeur , lat* , lon*)

DMETEOHEURE(intitule , date , heure valeur, lat* , lon*)

I.9. Base des données des images Météosat

I.9.1. MCD des images Météosat

Notre travail consiste à créer une base de données pour les images Météosat, on remarque qu'on a deux types d'images, les images visibles et les images infrarouges. Les caractéristiques de ces images sont les mêmes qui sont : l'objet image lui-même, la date (année, mois, jour) et l'heure de prise de l'image par le satellite et le canal utilisé pour créer l'image qui soit visible soit infrarouge. Donc notre base de données est une base de données simple contenant seulement une table puisque on a une seule entité.



Figure I.6 : MCD des images Météosat.

I.9.2. Le MLD des images Météosat

Puisque on a une seule entité dans notre MCD des images Météosat, on applique la première règle de passage de MCD vers le MLD, on obtient la relation suivante :

TableImageMS (Annee , Mois , Jour , Heure , Type , Image) .

Il nous reste donc que l'utilisation d'un outil de création de base de données pour implémenter cette base de données ce qui est l'objet du chapitre V.

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre on a expliqué en premier lieu les différents types d'images Météosat, ensuite on a présente les données utilisées dans notre travail, ainsi que les différentes notions et techniques concernant la réalisation d'une bases de donnes et à la fin du chapitre, on a appliqué ces techniques pour modéliser notre base de donnes des images Météosat utilisées dans notre travail. Dans le chapitre suivant on va expliquer les traitements et présenter l'ensemble des algorithmes nécessaires à notre travail sur ces images.

CHAPITRE II :
PRETRAITEMENT DES IMAGES
SATELLITAIRES

II.1. Introduction

Le prétraitement des images consiste à préparer les images à d'autres traitements ultérieurs par l'application des différents algorithmes. Les prétraitements sont de deux types : prétraitements simples, et prétraitements multitemporel c'est-à-dire appliquer sur un paquet d'images. Le prétraitement multitemporel, appelé aussi ennuagement qui joue un rôle fondamental car il consiste à quantifier les nuages. Dans ce chapitre on va présenter les différents algorithmes de traitement préalables des données.

II.2. Définition d'une image

L'image est une représentation d'une personne ou d'un objet par la peinture, la sculpture, le dessin, la photographie, le film, etc.

C'est aussi un ensemble structuré d'informations qui, après affichage sur l'écran, ont une signification pour l'œil humain. Elle peut être décrite sous la forme d'une fonction $I(x, y)$ de brillance analogique continue, définie dans un domaine borné, tel que x et y sont les coordonnées spatiales d'un point de l'image et I est une fonction d'intensité lumineuse et de couleur. Sous cet aspect, l'image est inexploitable par la machine, ce qui nécessite sa numérisation [AND 87].

II.3. Image numérique

L'image numérique est l'image dont la surface est divisée en éléments de tailles fixes appelés cellules ou pixels, ayant chacun comme caractéristique un niveau de gris ou de couleurs prélevé à l'emplacement correspondant dans l'image réelle, ou calculé à partir d'une description interne de la scène à représenter. [GON 77].

La numérisation d'une image est la conversion de celle-ci de son état analogique (distribution continue d'intensités lumineuses dans un plan xOy . [LAH 93]) en une image numérique représentée par une matrice bidimensionnelle de valeurs numériques $f(x,y)$ où :

x, y : coordonnées cartésiennes d'un point de l'image.

$f(x, y)$: niveau de gris en ce point

Pour des raisons de commodité de représentation pour l'affichage et l'adressage, les données images sont généralement rangées sous formes de tableau I de n lignes et p colonnes. Chaque élément $I(x, y)$ représente un pixel de l'image et à sa valeur est associé un niveau de gris codé sur m bits (2^m niveaux de gris ; 0 = noir ; 2^m-1 = blanc). La valeur en chaque point exprime la mesure d'intensité lumineuse perçue par le capteur.

II.4. Prétraitements simples des Images Météosat

Les images Météosat ne sont pas directement exploitables, des prétraitements sont nécessaires à savoir :

II.4.1. Variance

Les images utilisées présentent des objets différents mais parfois confus. Dans ce cas un prétraitement de base est nécessaire pour l'augmentation de la dispersion entre les différents pixels. La variance d'une image est une image calculée sur un pavé de 3 x 3 pixels (que l'on déplace sur toute l'image) centré sur le pixel considéré. Le calcul de la variance n'est autre qu'un masque numérique 3 x 3.

L'algorithme suivant décrit le calcul de l'image variance, il se fait en trois étapes, la première c'est le calcul de l'image moyenne, la deuxième est le calcul de l'image variance locale et en fin l'image variance.

II.4.1.1. Algorithme

Données entrées : Image brute (G).

Résultats : Image variance (V), associée à l'image brute (G).

Début :

Calculer l'image moyenne (M)

Pour chaque pixel $p(i,j)$ de l'image (G) **faire**

Si $P(i,j)$ est un pixel de bordure **alors**

$$M(i,j) = G(i,j)$$

Sinon

$$M(i, j) = \left[\sum_{n=i-1}^{i+1} \sum_{m=j-1}^{j+1} G(n, m) \right] / 9$$

Fsi

Fait

Calculer l'image variance local (VL)

Pour chaque pixel $P(i,j)$ de l'image (G) **faire**

Si $P(i,j)$ est un pixel de bordure **faire**

$$VL(i,j)=G(i,j)$$

Sinon

$$VL(i, j) = \left[\sum_{n=i-1}^{i+1} \sum_{m=j-1}^{j+1} (G(n,m) - M(i, j))^2 \right] / 9$$

Fsi

Fait

Calculer l'image variance (V)

Pour chaque pixel P(i,j) de l'image (VL) **faire**

$$V(i, j) = \text{Log}(1 + \sqrt{VL(i, j)}) \times 30$$

Fait

Fin.

II.4.1.2. Exemple Numérique

Soit une image G, on applique l'algorithme précédente un pixel P(i,j) de l'image G comme suit :

Pave 3 x3 pixels de l'image G

0	10	20
100	60	110
50	40	150

Tous les valeurs de la bordure sont les mêmes pour l'image variance (V)

On a la valeur P(2,2)= 60 de l'image G, on calcul la valeur de V(2,2) de l'image V par l'application de l'algorithme précédente comme suit :

$$M(2,2) = (0+10+20+100+60+110+50+40+150)/9 = 60$$

$$VL(2, 2) = [(0-60)^2 + (10-60)^2 + (20-60)^2 + (100-60)^2 + (60-60)^2 + (110-60)^2 + (50-60)^2 + (40-60)^2 + (150-60)^2] / 9 = 2267$$

Donc:

$$V(2,2) = \text{log}(1 + \sqrt{2267}) \times 30 = 51$$

Pave 3 x3 pixels de l'image V

0	10	20
100	51	110
50	40	150

L'application de l'algorithme précédente sur l'image Météosat visible acquise le 1995/04/04 à 09 heure (Figure II.1) donne comme résultat l'image variance illustrée dans la Figure II.2



Figure II. 1 : Image satellitaire Météosat visible brute

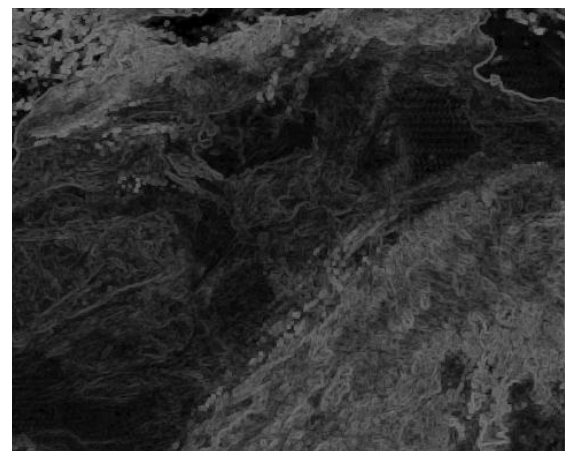


Figure II. 2 : Image variance associée à l'image de la Figure II.1

II.4.2. Translation

Les images Météosat sont des images à résolution spatiale différentes. Les images visibles à forte résolution ($5 \times 5 \text{ km}^2$) par contre celles des images infrarouges sont de résolution de $2.5 \times 2.5 \text{ km}^2$. Toute analyse bispectrale ne peut être effectuée que si les images sont prises dans les mêmes conditions spatiales. Puisque notre travail se base sur une analyse multispectrale et multitemporelle il est nécessaire de développer des objets qui permettent la mise en forme des différentes images sur la même taille.

La translation d'une image est le passage d'une résolution à une autre en respectant la taille et le facteur. Il existe plusieurs algorithmes pour la translation ou le redimensionnement de l'image.

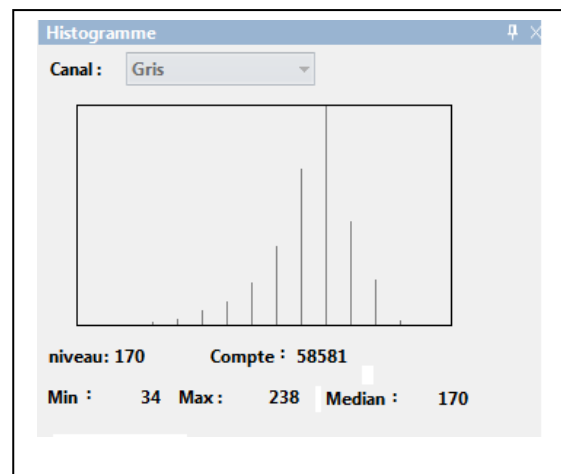
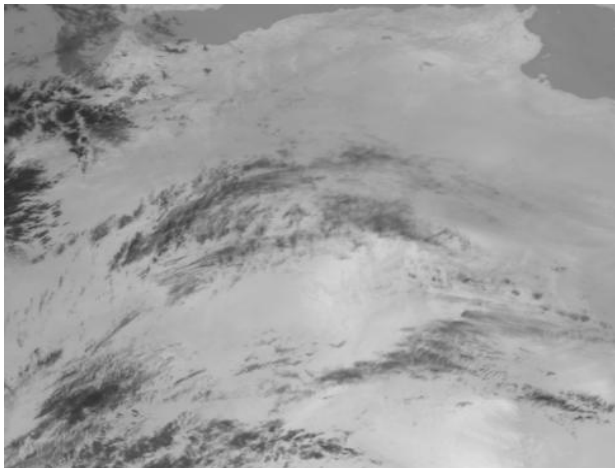
II.4.3. Histogramme d'une Image

L'histogramme des niveaux de gris ou des couleurs d'une image est une fonction qui donne la fréquence d'apparition de chaque niveau de gris (couleur) dans l'image. Pour diminuer l'erreur de quantification, pour comparer deux images obtenues sous des éclairages différents, ou encore pour mesurer certaines propriétés sur une image, on modifie souvent l'histogramme correspondant [KUN 93][GON 77].

Il permet de donner un grand nombre d'information sur la distribution des niveaux de gris (couleur) et de voir entre quelles bornes est répartie la majorité des niveaux de gris (couleur) dans les cas d'une image trop claire ou d'une image trop foncée. Il peut être utilisé pour améliorer la qualité d'une image (Rehaussement d'image) en introduisant quelques modifications, pour pouvoir extraire les informations utiles de celle-ci. Ainsi, l'histogramme d'une image en 256 niveaux de gris sera représenté par un graphique

- **Exemple :**

L'histogramme de l'image infrarouge prise le 1995/04/03 a 12 heures



II.4.4. Corrélation

II.4.4.1. Définition

L'analyse multitemporelle des différentes images, nous impose à comparer les images résultantes par rapport aux images d'origines. Il s'agit de calculer le coefficient de corrélation entre deux images. Le coefficient de corrélation est un taux quantitatif qui représente la semblance entre deux images. Un taux de 100% indique que les deux images sont identiques par contre un faible taux indique que les deux images présentent une

distribution radiométrique différente. Puisque les images satellites sont des images qui présentent le même espace, une variation du coefficient de corrélation s'interprète par une distribution de la masse nuageuse différente. Ce taux est calculé statistiquement par l'algorithme suivant :

II.4.4.2. Algorithme

Données entrées : deux images G1 et G2 de même taille.

Résultat : TC (taux de corrélation entre les images G1 et G2).

CV : la covariance entre G1 et G2.

M1 et M2 sont respectivement les images moyennes des images G1 et G2.

Var1 et var2 sont respectivement les variances des images G1 et G2.

Début

- Calculer la covariance entre G1 et G2

$$CV = \sum_{i=0}^{Largeur} \sum_{j=0}^{Longueur} [(G2(i, j) - M1(i, j)) \times (G1(i, j) - M2(i, j))]$$

- Calculer la variance de chaque image

$$Var1 = \sum_{i=0}^{Largeur} \sum_{j=0}^{Longueur} (G1(i, j) - M1(i, j))^2$$

$$Var2 = \sum_{i=0}^{Largeur} \sum_{j=0}^{Longueur} (G2(i, j) - M2(i, j))^2$$

- Calculer le coefficient de corrélation

$$TC = \frac{CV}{\sqrt{Var1} \times \sqrt{Var2}}$$

Fin

II.4.5. Différence

II.4.5.1. Définition

La corrélation est une information statistique pour la comparaison entre deux images. Pour augmenter l'analyse corrélatrice une analyse visuelle s'impose d'elle-même. Dans ce cas la comparaison par la fonction différence entre les niveaux de gris permet une analyse visuelle. Une différence nulle s'interprète par une radiométrie homogène entre les deux images par contre une différence non nulle s'interprète par une évolution radiométrique

II.4.5.2.Exemple

La figure II.5 représente l'image différence entre l'image Météosat visible de la figure II.3 et l'image Météosat visible de la figure II.4

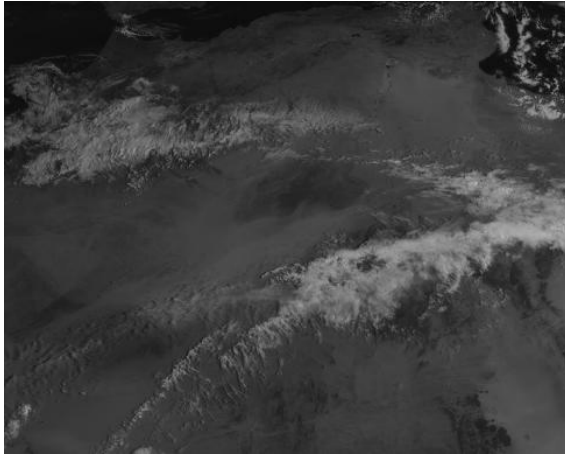


Figure II. 3 : Image Météosat visible prise le 1995/04/01 a 09 heures

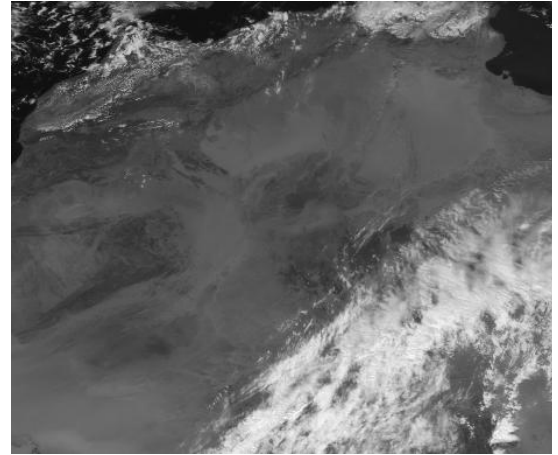


Figure II. 4 : Image Météosat visible prise Le 1995/04/01 a 15 heure

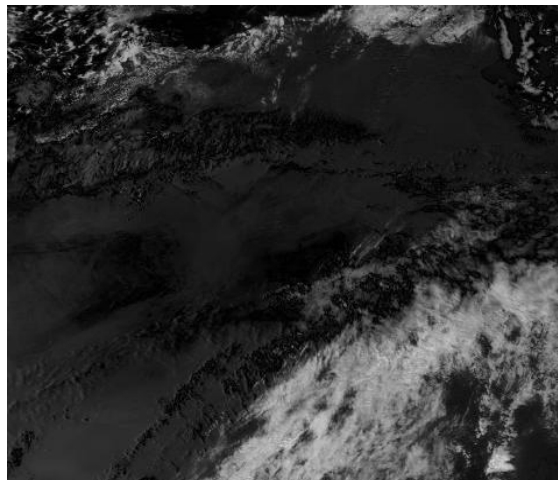


Figure II. 5 : Image différence des deux Images figure II.3 et Figure II.4

L'image obtenue montre qu'il y a une différence entre les deux images, ce qui apparaît clairement entre les deux images comparées.

II.5. Quantification du nuage

La quantification est une information capitale pour indiquer le taux de recouvrement d'image par un objet spécifique tel que les nuages. Le recueil de cette information n'est pas aussi simple. Le but de cette partie est de présenter la démarche à suivre pour obtenir cette précieuse information.

II.5.1.Brillance

Une image satellite peut être présentée sous forme d'une matrice numérique codée sur k bits. Les images METEOSAT sont des images de taille fixe et tout élément de la matrice est dit brillance (compte numérique) codée sur 8 bits. La brillance d'un pixel est une contribution d'une brillance du sol et une brillance d'atmosphère.

Soit un paquet d'images prises dans le même spectre pour la même heure et sur une période journalière quelconque. À partir de ce paquet nous calculant deux images dites de référence, on parle de brillance maximale B_{\max} et de brillance minimale B_{\min} comme suit :

II.5.1.1. Brillance minimale

La brillance minimale est calculée en comparant toutes les images du paquet pour chaque pixel et d'attribuer à l'image résultante (image de la brillance minimale) la valeur du pixel de radiométrie minimale. En parcourant tous les pixels, nous aurons l'image finale d'une même taille que les images du paquet.

- **Algorithme**

Données entrees: un ensemble des images ($I_1 , I_2 , I_3 , \dots , I_n$).

Resultats: Image a brillance minimale B_{\min} .

Minimum ($I_1 , I_2 , I_3 , \dots , I_n$): une fonction qui donne la valeur minimale parmi plusieurs valeurs possibles

Début

Pour chaque pixel $P(i,j)$ de l'image B_{\min} **faire**

$B_{\min}(i , j)=\text{Minimum}[I_1 (i , j) , I_2 (i , j) , I_3 (i , j) , \dots , I_n (i , j)]$;

Fait

Fin.

II.5.1.2. Brillance maximale

Même procédure pour le calcul de la brillance maximale seulement que la valeur affectée à l'image résultante est celle du pixel de radiométrie maximale. L'algorithme suivant montre ce calcul :

- **Algorithme**

Données entrees: un ensemble des images ($I_1 , I_2 , I_3 , \dots , I_n$).

Résultats: Image a brillance maximale B_{max}

Maximum ($I_1 , I_2 , I_3 , \dots , I_n$): une fonction qui donne la valeur maximale parmi plusieurs valeurs possibles

Début

Pour chaque pixel $P(i,j)$ de l'image B_{max} **faire**

$$B_{max}(i, j) = \text{Maximum}[I_1(i, j), I_2(i, j), I_3(i, j), \dots, I_n(i, j)] ;$$

Fait

Fin.

L'algorithme ci-dessus peut être schématisé dans la figure II.6 suivante :

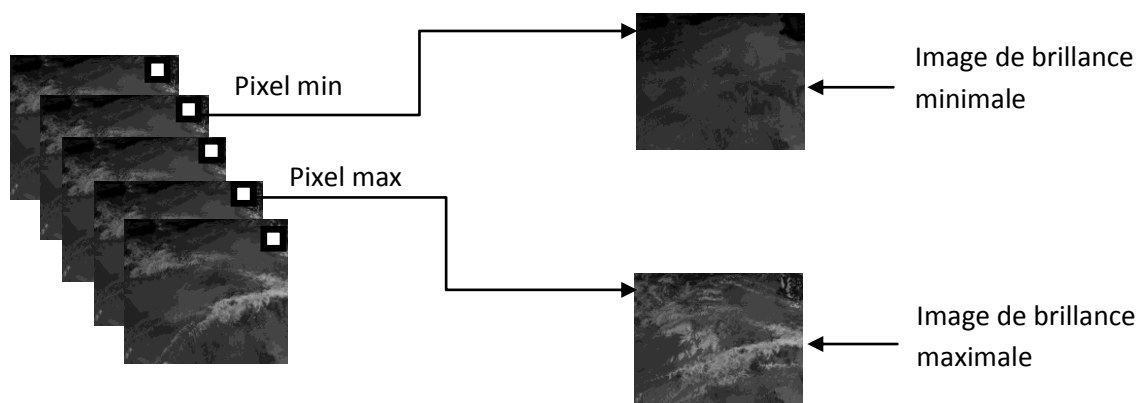


Figure II.6: calcul de l'image minimale et maximale

II.5.1.3. Application

Les quatre images suivantes représentent la brillance minimale et maximale calculées pour le mois d'avril 1995, et pour chaque canal (visible et infrarouge).

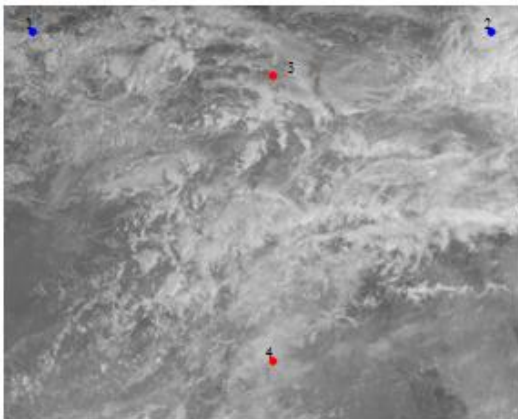


Figure II.7 : Brillance maximale visible 04/95

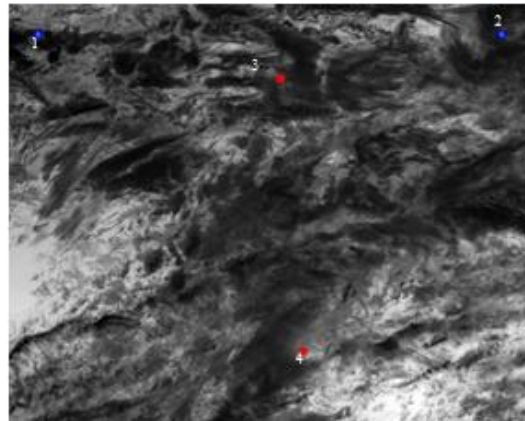


Figure II.8 : brillance minimale

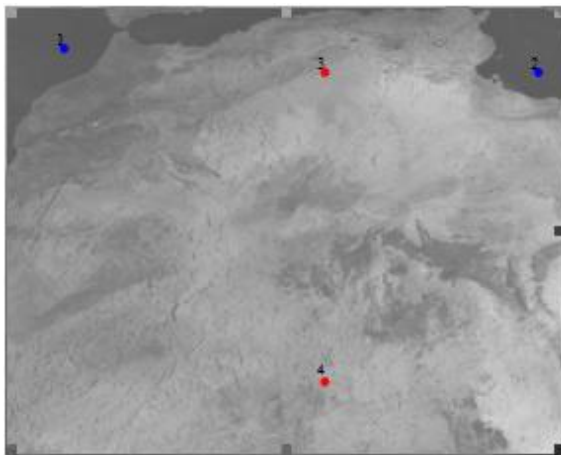


Figure II.9 : brillance minimale visible
04/95

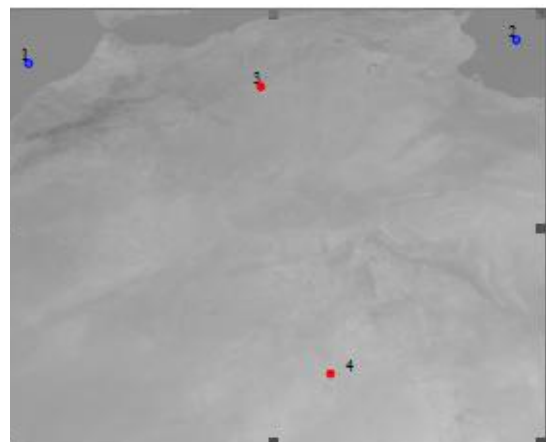


Figure II.10 : brillance maximale infrarouge
04/95

L'analyse des images de brillance minimale et maximale en un ensemble de points connus (1.2.3.4) donne les valeurs de radiométrie suivantes :

Points	1	2	3	4
Brillance visible minimale	13	14	52	44
Brillance visible maximale	123	137	108	101
Brillance infrarouge minimale	46	48	57	52
Brillance infrarouge maximale	139	136	158	192

Tableau II. 1 : radiométrie en quelques points

L'analyse visuelle nous permet de conclure aussi :

Radiométrie Image	Sol	Mer	Nuage et autres
Image Visible	20 < radiométrie < 60	radiométrie < 20	radiométrie > 60
Image infrarouge	Radiométrie > 140	130 < radiométrie < 140	Radiométrie < 130

Tableau II. 2 : radiométrie du sol, mer et nuages

D'après les deux tableaux, nous avons conclu que la brillance minimale (B_{\min}) représente :

- ✓ la référence du ciel nuageux dans le cas de l'image infrarouge
- ✓ la référence du ciel clair dans le cas de l'image visible

Et que la brillance maximale (B_{\max}) représente :

- ✓ la référence du ciel clair dans le cas de l'image infrarouge
- ✓ la référence du ciel nuageux dans le cas de l'image visible

II.5.2. Ennuagement

La brillance d'un pixel semi-couvert par la masse nuageuse est une combinaison linéaire entre la brillance du sol et la brillance du nuage. Soit α le taux de recouvrement du pixel par la masse nuageuse. La partie non couverte est présentée par une brillance à ciel clair qui est la brillance minimale par contre la partie couverte est présentée par une brillance à ciel nuageuse qui est la brillance maximale. [BAC99]

$$B = \alpha \% \cdot B_{\max} + (1 - \alpha \%) \cdot B_{\min} \dots\dots (1)$$

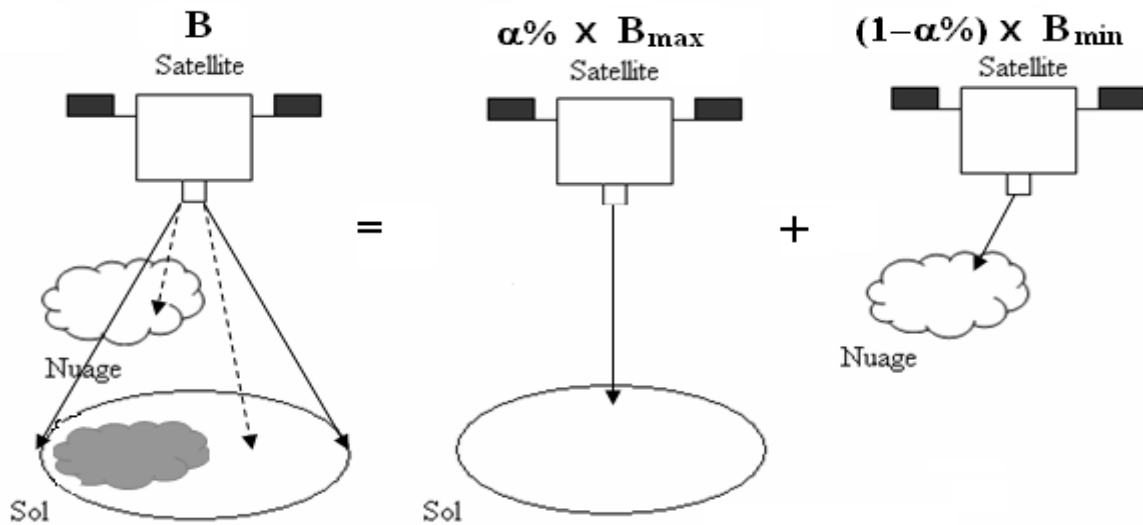


Figure II. 11 : représentation de la réflectance du sol et nuage

Soient **B** l'image brute, **E** l'image ennuagement à calculer, **B_{max}**, **B_{min}** les deux images de brillance maximale et minimale. Soit un pixel p(x,y) semi-couvert par la masse nuageuse, sa brillance est B(x,y).

Nous définissons **α%** comme étant le pourcentage de recouvrement du pixel par les nuages.

Le coefficient **α%** = {0% ciel clair ; 100% ciel nuageux}

Prenant un pixel **B (i, j)**, la radiométrie de celui-ci n'est qu'une combinaison linéaire du pixel le plus nuageux **B_{max} (i, j)** et le pixel le plus clair **B_{min} (i, j)** suivant la formule :

$$B(i,j) = \alpha \times B_{\max}(i, j) + (1 - \alpha) \times B_{\min}(i, j) \dots\dots\dots (1).$$

En faisant sortir **α** de la formule (1) nous obtiendrons :

$$\alpha = (B(i,j) - B_{\min}(i,j)) / (B_{\max}(i,j) - B_{\min}(i,j))$$

Ce qui nous donne le taux de recouvrement du pixel par les nuages. De cette idée nous décrivons l'algorithme pour le calcul de l'ennuagement :

II.5.2.1. Algorithme N⁰¹ :

Données entrées : Image brute **B**, Image de brillance minimale **B_{min}** , Image de brillance maximale **B_{max}**.

Résultat : Image ennuagement **E**.

Début

Pour chaque pixel $P(i,j)$ de l'image B **faire**

$$E(i,j) = [B(i,j) - B_{\min}(i,j)] \times 255 / [B_{\max}(i,j) - B_{\min}(i,j)]$$

Fait.

Fin.

La multiplication par 255 ce fait pour mieux visualiser l'image ennuagement.

Chaque image brute peut être présentée par une image ennuagement.

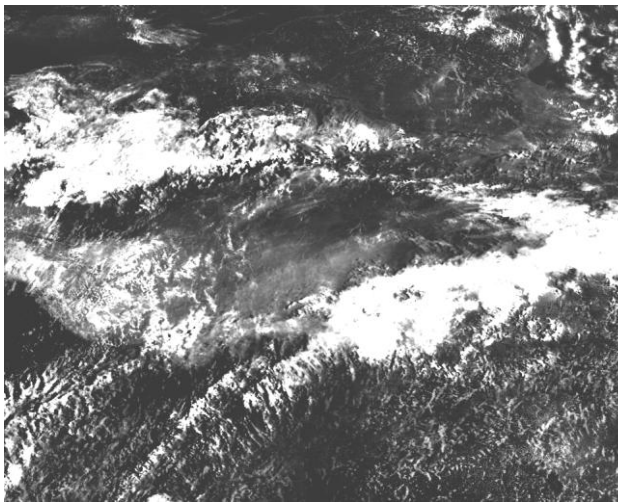


Figure II. 12 : Image ennuagement

- **Critique**

Lorsque le B_{\min} et le B_{\max} sont égaux en un ensemble de pixels, le calcul de l'ennuagement dans ces points n'est pas possible vu que la division par zéro est impossible. De ce fait nous avons amélioré le calcul en utilisant l'algorithme suivant :

II.5.2.2. Algorithme N° :02

Données entrées : Image brute B, Image a brillance minimale B_{\min} , image a brillance maximale B_{\max} .

Résultats : Image ennuagement E.

Début

Pour chaque pixel $P(i,j)$ de l'image B **faire**

Si $B_{\max}(i,j) \neq B_{\min}(i,j)$ **alors**

$$E(i,j) = [B(i,j) - B_{\min}(i,j)] \times 255 / [B_{\max}(i,j) - B_{\min}(i,j)]$$

Sinon

$$E(i,j)=[B(i,j) - B_{\min}(i,j)] \times 255 / [255 - B_{\min}(i,j)]$$

Esi

Fait

Fin.

Cette formule se base sur l'impossibilité d'avoir un pixel B_{\min} de radiométrie 255. En pratique, ce cas ne se produit pas que rarement. Dans la suite, on néglige ces cas pour faciliter le calcul.

• **Exemple**

Soient toutes les images prises du canal visible à 09h00 entre 01/04/1995 et 30/04/1995.

• calculer B_{\min} et B_{\max} de ce paquet comme expliqué précédemment.

✓ pour chaque image brute, calculer l'ennuagement associé.

Les résultats obtenus sont illustré sur la figure II.14. Cette figure représente l'ennuagement d'une image visible prise parmi les images de l'échantillon

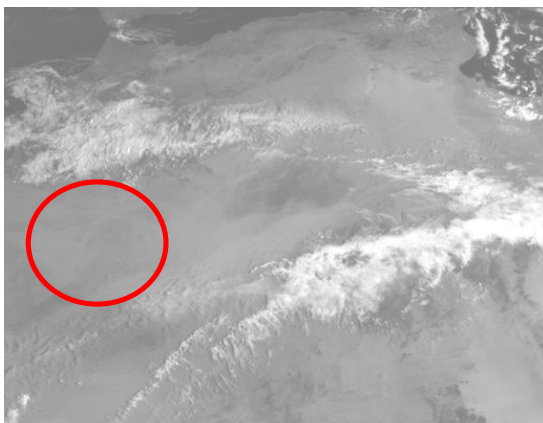


Figure II. 13: Image brute visible 95040118.vis

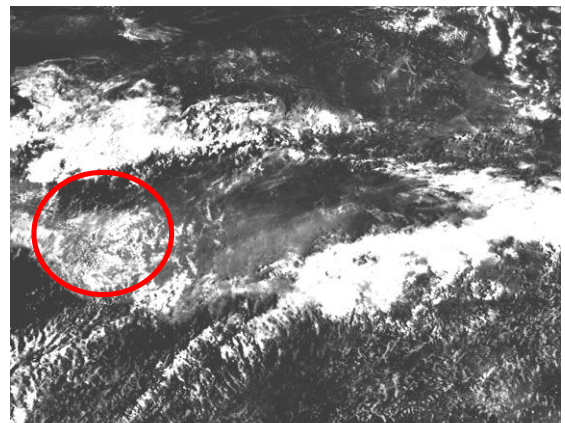


Figure II.14: Image ennuegement

• **Discussion**

D'après l'image brute la zone encerclée présente un état à ciel clair. Par contre, dans l'image ennuegement cette zone correspond à un taux de recouvrement par des nuages.

L'analyse de la formule de calcul d'ennuagement précédente démontre que lorsque $B(i,j)$ et $B_{\max}(i,j)$ sont proches (une différence de 10), et que le $B_{\max}(i,j)$ est proche du $B_{\min}(i,j)$ il y a présence du bruit .

• **Exemple :**

Soit l'image **95040118. vis**, on calcule B_{\min} et B_{\max} du mois complet (mois d'avril) pour le pixel (201,421) on trouve : $B = 49$, $B_{\max} = 49$, $B_{\min} = 35$, $E = 238$, $B - B_{\min} = 14$

La brillance $B=49$ correspond à un état ciel clair par contre son ennuagement calculé est $E= 238$.

La confusion est due tout simplement à la formule développée précédemment.

• **Correction**

La brillance à l'état du ciel clair ne peut pas être stable sur une période des jours cela est due à l'état de l'atmosphère ou au changement d'occupation du sol. La brillance minimale est celle de la mer qui est affectée fortement par la contribution atmosphérique. Le bruit atmosphérique contribue avec une brillance de 10.

II.5.2.3.Algorithme N[□] :03

Données entrées : Image brute B, Image de brillance minimale Bmin, Image de brillance maximale Bmax.

Résultats : Image ennuagement E

Début

Pour chaque pixel P(Ij) de l'image B **faire**

Si $B(i,j) - B_{\min}(i,j) < 10$ **alors**

$$E(i,j) = 0$$

Sinon

$$E(i,j) = [B(i,j) - B_{\min}(i,j)] \times 255 / [B_{\max}(i,j) - B_{\min}(i,j)]$$

Fsi

Fait.

Fin.

Le résultat obtenu ; pour la même image ; après cette correction est présentée sur l'image suivante :

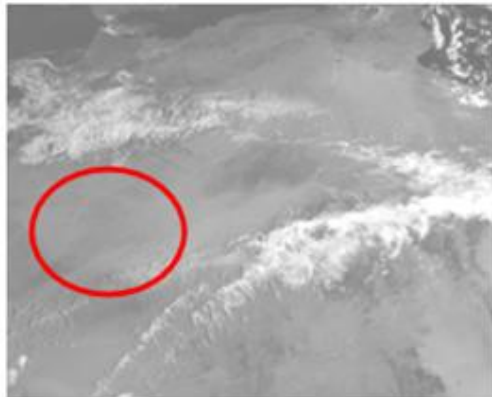


FIGURE II.15: image brute 95040118.vis

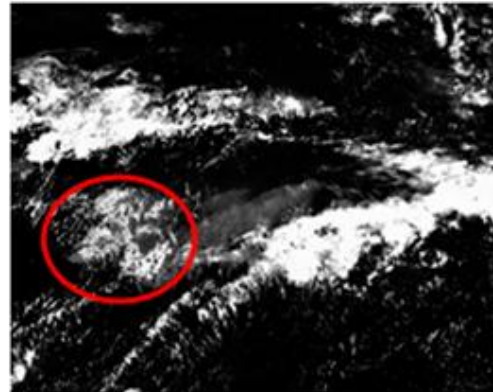


FIGURE II.16: image ennuagement

- **Discussion**

Nous remarquons que le taux de bruit a diminué par rapport à la première image (figure II.14).

- **Correction**

Dans la première correction nous avons tenu compte de la variation due aux effets atmosphériques. Mais aussi nous devons tenir compte des changements du sol. Un sol humide est présenté par une diminution de brillance par contre un sol sec doit être corrigé par une légère augmentation. Les variations à ciel clair pour un pixel donné ne dépassent pas la valeur de 20. Dans notre cas nous sommes intéressés à une quantification de la masse nuageuse dans l'atmosphère terrestre pour cette raison le seuil de correction a pour effet d'éliminer les variations dues aux effets de l'atmosphère et de la composition de l'espace terrestre. d'où la nécessité d'appliquer un nouvel seuil plus grand.

II.5.2.4. Algorithme N° :04

Données entrées : Image brute B , Image à brillance minimale B_{\min} , Image à brillance maximale B_{\max} .

Résultats : Image ennuagement E .

Début

Pour chaque pixel $P(i,j)$ de l'image B **faire**

Si $B(i,j) - B_{\min}(i,j) < 20$ **alors**

$$E(i,j) = 0$$

Sinon

$$E(i,j) = (B(k,j) - B_{\min}(i,j)) \times 255 / (B_{\max} - B_{\min}(i,j))$$

Fsi

Fait.

Fin.

Le résultat obtenu après cette correction est présenté sur l'image suivante :

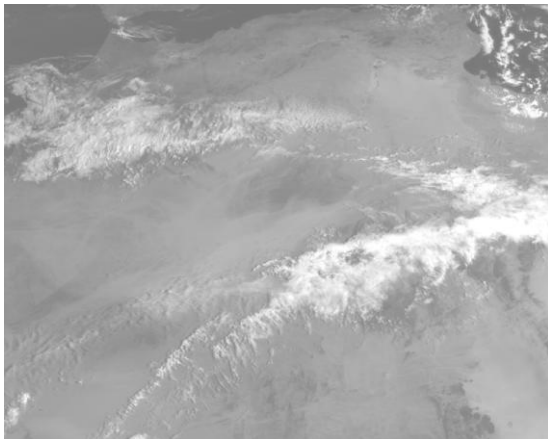


Figure II. 17 : Image brute visible 95040118.vis

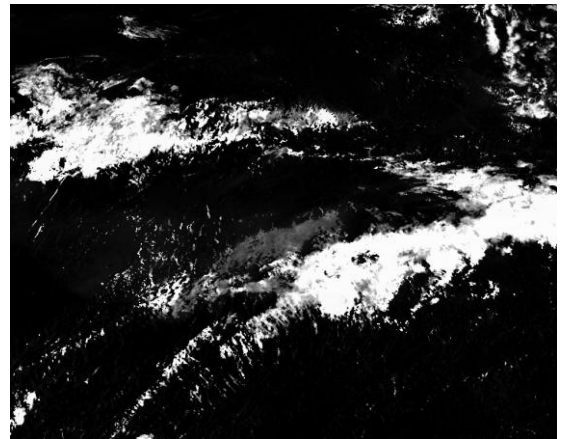


Figure II. 18 : image ennuagement associée

- **Discussion**

Le dernier seuil appliqué corrige toutes les erreurs du calcul du taux d'ennuagement .ainsi on a un résultat important qui représente une classification quantitative.

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrits les données utilisées ainsi que les prétraitements nécessaires afin de préparer les images satellitaires étudiés aux traitements ultérieurs. L'ennuagement ; Après l'étude expérimentale qui à été faite progressivement ; représente un résultat pratique et intéressant. Il est tout fois considéré comme une classification quantitative qui sert de support pour la classification sémantique. L'utilité et L'évaluation seront vues dans les chapitres suivants.

CHAPITRE III :
CLASSIFICATION DE LA MASSE
NUAGEUSE

III.1. Introduction

Les nuages sont des éléments clés du système climatique. Il est donc essentiel de pouvoir identifier correctement les différents types de nuages dans les modèles climatiques. Il est en effet possible de définir un nombre limite de formes et caractéristiques, qui permettent de classer les nuages en différents groupes suivant leurs altitudes, et leurs épaisseurs.

Le problème de la classification des nuages à partir images satellitaires fut de la recherche. Dans la plupart des situations pratiques, la classification visuelle des nuages « néphanalyse », est faite par des experts à partir données satellitaires.

Le présent chapitre a pour but d'étudier le concept de classification ainsi que les techniques de classification les plus répandues et de contribuer à l'extraction des différentes classes de nuages présents sur les images satellitaires et d'en visualiser les résultats obtenus.

III.2. Définition d'une classification

Les données d'entrée de la classification est une collection d'enregistrements, chaque enregistrement ou instance est caractérisé par un tuple (x,y) , tels que x est un ensemble d'attributs, y est un attribut spécial représentant la *classe* de l'enregistrement.

La classification est la tâche qui cherche une fonction objective, qui assigne à chaque ensemble d'attributs x , une des classes prédéfinies y . La fonction objective est appelée ainsi modèle de classification, le modèle de classification a pour rôle :

- ✓ **La description**: le modèle de classification sert comme outil pour distinguer les objets de différentes classes.
- ✓ **La prédiction** : le modèle de classification peut être aussi utilisé pour prédire la classe d'un nouvel enregistrement [QUI93].

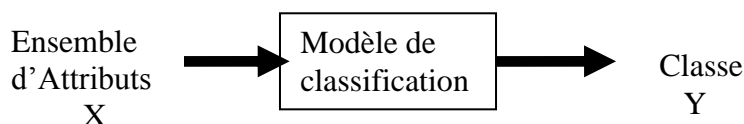


Figure III. 1 : Principe d'une classification

La classification consiste en fait à assigner un objet à une catégorie adéquate parmi plusieurs autres catégories (classes).

Il existe deux sortes de classification :

- ✓ **Classification supervisée** : guidée par l'utilisateur, les classes sont prédéfinies et connues à priori.
- ✓ **Classification non supervisée** : automatique, les classes ne sont pas connues à l'avance.

Plusieurs techniques de classification ont été développées, le choix d'une technique dépend d'un ensemble de paramètres tels que la nature des données.

III.3. Approche générale d'une classification

Une technique de classification est une approche systématique pour construire un modèle de classification à partir d'un ensemble de données. Les données d'apprentissage sont subdivisées en deux sous ensemble : un ensemble pour construire le modèle, et un ensemble pour tester le modèle construit et l'évaluer.

Il existe plusieurs méthodes de classification, chaque méthode emploie son propre algorithme pour identifier le modèle approprié, et découvrir la relation qui existe entre l'ensemble d'attributs et la classe.

Le modèle généré doit non seulement partitionner l'ensemble de données utilisées pour le construire, mais il doit être capable de prédire la classe à laquelle appartient un nouvel enregistrement, il est donc primordial que le modèle construit ait de bonne capacité de généralisation.

Le processus de classification se déroule en deux phases :

- ✓ **Construction du modèle** : à partir de l'ensemble d'apprentissage, construire un modèle représenté par des règles de classification (arbre de décision, formules mathématiques)
- ✓ **Utilisation du modèle** : tester la précision du modèle et l'utiliser dans la classification de nouvelles données [QUI93].

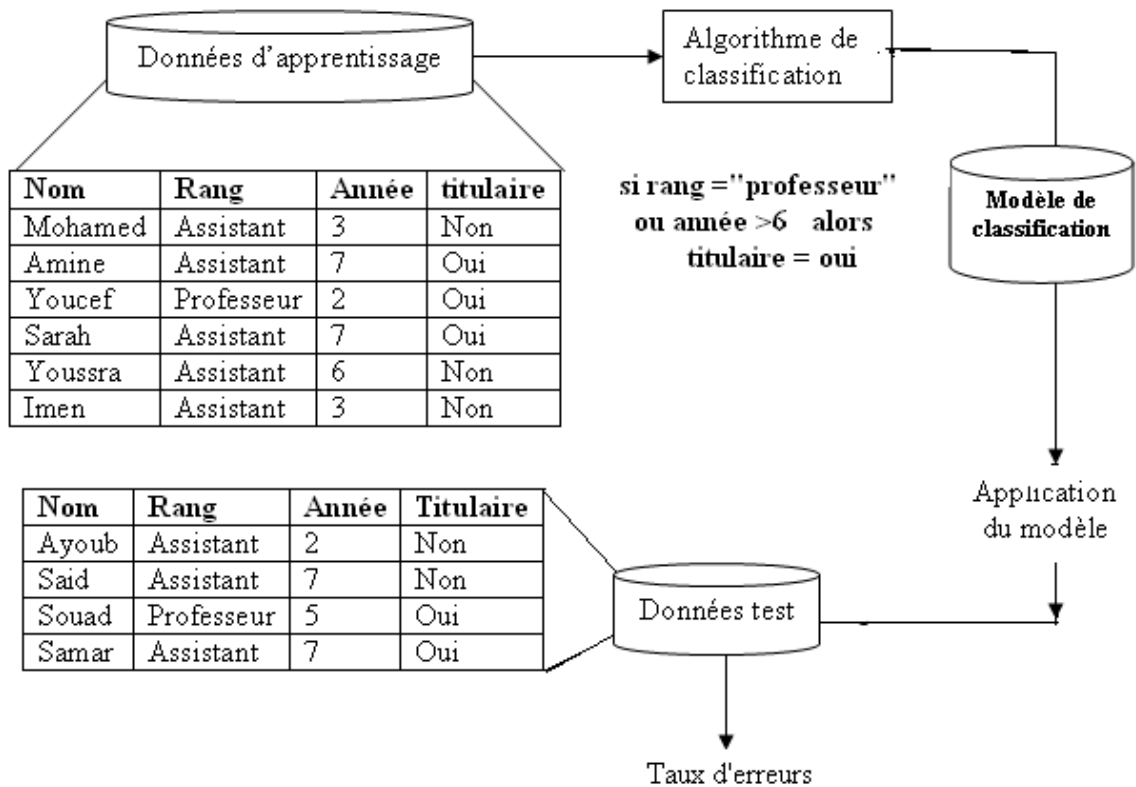


Figure III. 2: Approche globale de construction d'un modèle de classification

III.4. Techniques de classification

De nombreux facteurs influent sur le choix de la technique de classification à savoir le domaine d'application, le type des données à traiter, les objectifs qu'on veut atteindre, les connaissances a priori et d'autres paramètres. Dans ce chapitre on va étudier les méthodes les plus utilisées :

III.4.1. Les arbres de décision

Les arbres de décision ciblent la classification (prédiction de variables discrètes). Comme son nom l'indique, cette méthode consiste à construire un arbre. Un enregistrement (qu'on veut classer) déclenche par le nœud racine, et passe d'un nœud père à un nœud fils s'il satisfait la condition posée jusqu'à atteindre le nœud feuille qui est sa classe.

Un arbre de décision peut donc être aperçu comme étant un ensemble de règles qui mènent à une classe.

La Figure III.3 montre un arbre de décision utilisé afin de déterminer pour chaque zone d'eau détectée sa nature (lac, fleuve ou mer/océan).

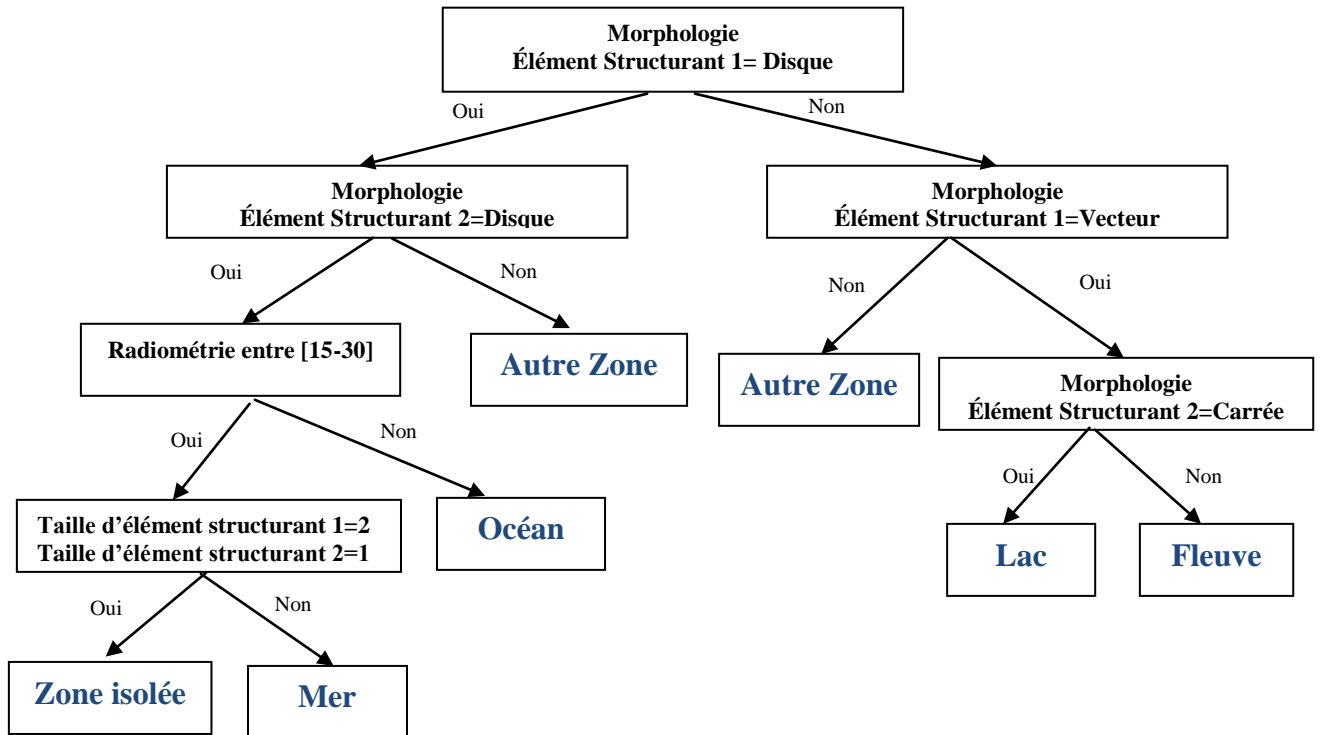


Figure III. 3: Arbre de Décision

La construction de l'arbre se fait suivant un algorithme approprié. Plusieurs algorithmes existent dans la littérature, les plus connus sont CART (Classification And Regression Trees), C4.5 et CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection).

III.4.2. Réseaux de neurones

Les réseaux de neurones ciblent la prédiction. Ils permettent de construire un modèle qui prédit la valeur d'une variable à partir d'autres variables connues appelées variables prédictives. Si la variable à prédire est discrète (qualitative), alors il s'agit d'une classification.

Un réseau neuronal est composé de groupes de nœuds (neurones). Chaque groupe de nœuds correspond à une couche. Un réseau neuronal est formé par au moins trois couches ; entrée, intermédiaire et sortie. Dans la couche entrée, chaque nœud correspond à une variable prédictive. La couche sortie contient un ou plusieurs nœuds ; la ou les variables à prédire.

Le réseau peut avoir plusieurs couches intermédiaires (mais une seule entrée et une seule sortie), appelées aussi couches cachées.

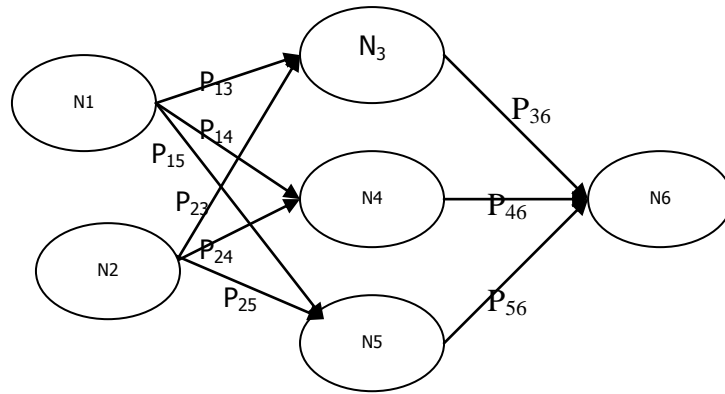


Figure III. 4 : Réseau de Neurones

Chaque nœud de la couche j est relié à tous les nœuds de la couche $j+1$. A chaque arc est associé un poids (une valeur) P_{ij} ; c'est le poids de l'arc entre le nœud i et le nœud j .

Les valeurs entrées des nœuds de la première couche sont les valeurs des variables prédicatrices. Les valeurs internes des autres nœuds (des couches intermédiaires et de la couche sortie) sont calculées à travers une fonction de sommation.

Ainsi la valeur interne du nœud 5 dans la **Figure III.4** est : $((P_{15} * N_1) + (P_{25} * N_2))$. La sortie du nœud 5 (la valeur N_5) est calculé en fonction de sa valeur interne par une fonction d'activation dite aussi fonction de transformation. Plusieurs fonctions prédéfinies d'activation existent dans la littérature, elles peuvent être linéaires ou non-linéaires.

III.4.3. Réseaux bayésiens

Les Réseaux Bayésiens correspondent à une modélisation descriptive des données, également appelés réseau de croyance. Un réseau bayésien est un graphe dirigé, acyclique où chaque nœud représente une variable aléatoire continue ou discrète, et chaque arc représente une dépendance probabiliste. Si un arc relie un nœud Y à un nœud Z , alors Y est le parent de Z , et Z est le descendant de Y .

Chaque variable est indépendante des variables auxquelles elle n'est pas reliée. Les variables peuvent être continues ou discrètes. Chaque lien entre deux variables est pondéré par la valeur de la dépendance probabiliste, ainsi la valeur que porte l'arc reliant Y à Z est en fait $P(Z/Y)$ [HAK00]. Cette probabilité se calcule par le théorème de bayes $P(Z/Y)=P(Y/Z) \times P(Z)/P(Y)$.

- **Exemple**

Classification de pannes d'ordinateurs selon la couleur de voyant (Rouge, Vert)

Et l'équipement défaillant (UC, MC, PE).pour l'envoi d'un dépanneur selon la classe.

Le tableau suivant représente les probabilités sur l'ensemble d'apprentissage.

P(couleur /panne)	Rouge	Vert	P(panne)
UC	0,70	0,30	0,20
MC	0,40	0,60	0,10
PE	0,20	0,80	0,70
P(couleur)	0,32	0,68	1,00

Tableau III.1 : Réseaux bayésiens

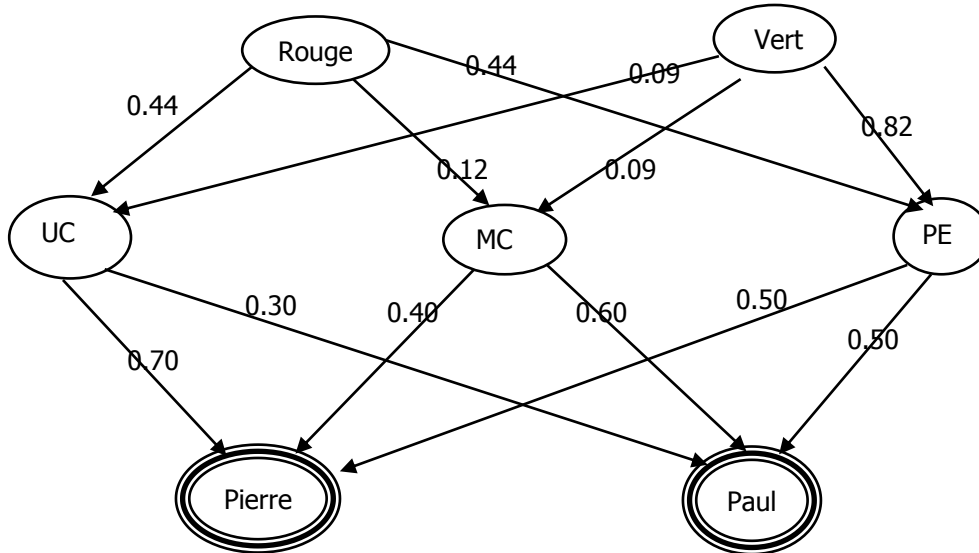


Figure III. 5 : Réseau bayésien

II.4.4. Le Raisonnement Basé sur la Mémoire (K-NN)

Appelée aussi Raisonnement Basé sur les Cas, cette méthode essaye de résoudre un nouveau problème en observant les solutions des anciens problèmes qui lui sont similaires. La méthode des k-voisins les plus proches est une technique qui cible la classification. Elle décide de la classe à laquelle appartient un nouveau cas, en examinant les k cas qui lui sont les plus similaires. Un exemple typique de l'utilisation des KNN, est la manière avec laquelle procèdent les médecins. Lorsqu'un patient se présente à un médecin, il lui exprime ses symptômes. Le docteur essaye de se rappeler de cas similaires en comparant leurs symptômes avec les symptômes du patient en question. Le diagnostic et le traitement seront très semblables à ceux utilisés avec les anciens cas.

III.4.5. Nuée Dynamique

Cette classification est généralement utilisée lorsqu'on ne dispose d'aucune information. La classification utilisée dans ce cas se déroule selon la méthode dite d'agrégation autour de centres mobiles. Dans l'imagerie, cette méthode consiste à agréger tous les pixels de l'espace

des radiométries au centre le plus proche, en fonction d'une distance généralement euclidienne. La classification se déroule généralement en quatre phases:

- 1- Introduction des centres initiaux (valeurs radiométriques initiales)
- 2- Calcul de la distance séparant chaque pixel de tous les centres. Affectation de chaque pixel au centre le plus proche.
- 3- Calcul du centre de gravité des classes ainsi obtenues.
- 4- Utilisation de ces centres de gravité dans une nouvelle itération qui reprend au niveau 2 ci-dessus.

L'algorithme recommence ainsi de suite en fonction du nombre d'itérations choisi ou en fonction d'un critère choisi. A chaque itération, les partitions de l'espace des radiométries se modifient, s'affinent, jusqu'à une stabilité au-delà de laquelle de nouvelles itérations n'apportent plus rien de significatif.

Le nombre de classes dépend du nombre de centres entré au début de la classification. Certains centres mal entrés peuvent disparaître dès la 1ère itération s'ils n'ont rien agrégé.

III.5. Evaluation d'une méthode de classification

L'évaluation des performances d'une méthode de classification est basée sur le nombre d'enregistrements du test classés correctement et incorrectement par le modèle, ce nombre est souvent représenté dans une table dite matrice de confusion [QUI93].

✓ Exemple

		Classes prédites	
		Classe 1	Classe 0
Classe réelles	Classe 1	f11	f10
	Classe 0	f01	f00

Tableau III.2 : Matrice de confusion

La table III.1 montre un exemple de matrice de confusion d'une classification binaire. Chaque entrée f_{ij} de la table dénote le nombre d'enregistrements de la classe i classé dans la classe j . Par exemple f_{01} est le nombre d'enregistrements de la classe 0 classés incorrectement dans la classe 1.

Le nombre total de prédictions correctes est $f_{11}+f_{00}$, et le nombre total des prédictions incorrectes est $f_{01}+f_{10}$. Bien que la matrice de confusion nous donne des informations pour déterminer les performances de la méthode de classification, la représentation de cette information par un seul nombre significatif est plus important, c'est pourquoi on extrait souvent des **métriques de performance** telles que l'exactitude et le taux d'erreurs.

L'exactitude est le nombre de prédictions correctes divisé par le nombre total de prédictions. Alors que le taux d'erreur est le nombre de prédictions incorrectes divisé par le nombre total de prédictions. Ainsi tous les algorithmes de classification visent à construire des modèles qui atteignent le niveau le plus élevé d'exactitude (un taux d'erreur plus faible). Par ailleurs, il existe plusieurs méthodes d'évaluation d'une méthode de classification (validation croisée, Bootstrapping,...etc.)

III.6. Classification des nuages

La cartographie des nuages est l'une des applications directes de la télédétection à la climatologie des nuages, car celle-ci en permet une bonne représentation dans les modèles de simulation du climat ainsi que dans les modèles de prévision numérique de précipitations. Cette cartographie est faite depuis un bon nombre d'années, par des moyens conventionnels, par des mesures au sol, qui restent qualitatives et de représentation spatio-temporelle insuffisante [FAR 92]

III.6.1. Type du nuage

Une classification générale et précise de chaque type de nuage permet à l'observateur d'identifier les nuages dans le ciel. Les nuages peuvent être classifiés en fonction de plusieurs facteurs tels que l'altitude, la température, la forme ...etc. La première classification aurait été tentée par le naturaliste Lamarck, mais elle fût rapidement remplacée par celle de Luke Howard en 1803. Les nuages sont nommés en utilisant des mots latins, qui décrivent leur aspect et la hauteur de leur base. Parmi ces mots on trouve : cirrus, qui signifie "boucle de cheveux"; stratus, qui veut dire "la couche"; cumulus, qui signifie "en tas" et nimbus: "la pluie". L'altitude d'un nuage est fortement influencée par la structure thermique de l'atmosphère. Elle varie donc avec la latitude, la saison, la situation météorologique et même l'heure de la journée, mais l'étagement relatif des différents genres de nuages est invariable [FAR 92]

Une classification des nuages selon leur élévation peut être vue comme suit :

III.6.1.1. Les nuages les plus élevés (préfixe: Cirr ou Cirro)

Occupent l'étage supérieur de la troposphère .Ils sont constitués de cristaux de glace et comprennent les genres Cirrus, Cirrocumulus et Cirrostratus, ils sont caractérisés d'une température basse et une forte altitude.

III.6.1.2. Les nuages de l'étage moyen (préfixe: Alto)

Généralement constitués de gouttelettes d'eau, parfois de cristaux de glace, comprennent les Altocumulus et Altostratus, et le Nimbostratus. L'Altostratus peut pénétrer dans l'étage supérieur, ils ont une altitude plus élevée par rapport aux stratocumulus et apparaissent donc plus froids; le Nimbostratus déborde généralement dans les étages supérieur et inférieur.

III.6.1.3. Les nuages de l'étage inférieur

Genres Stratocumulus et Stratus, des nuages bas qui représentent une température moins élevée et une altitude faible.

III.6.1.4. Les Cumulus et Cumulonimbus

Nuages d'instabilité qui ont généralement leur base dans l'étage inférieur, peuvent monter à travers les deux autres étages. Ils sont en éléments séparés, ayant l'aspect de monceaux (pile), de montagnes ou de tours. La majeure partie de la masse de ces nuages est constituée de gouttelettes d'eau, mais la partie supérieure des Cumulonimbus et de certains Cumulus ; qui peut atteindre 8 à 13 km d'altitude et parfois bien plus (15 à 20 km dans les régions tropicales ; est formée de cristaux de glace, donc ce type de nuage est caractérisé par une température assez élevée et une altitude faible.

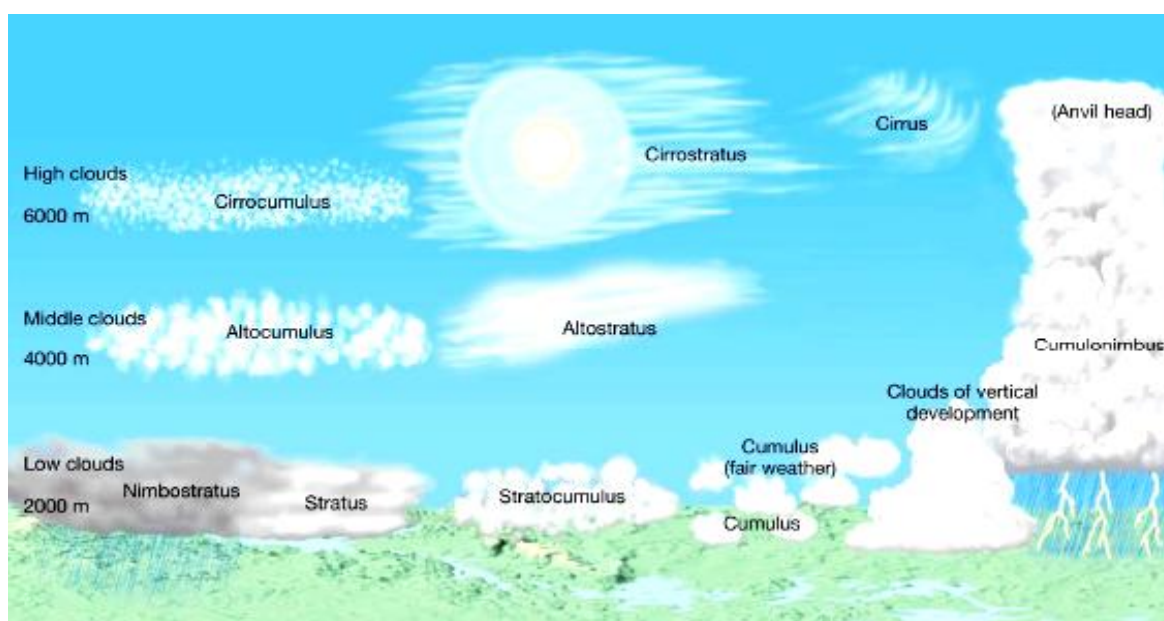


Figure III.6 : Les types du nuage

III.6.2. Méthodes de classification des nuages

Les satellites géostationnaires ou défilants permettent une analyse de la couverture nuageuse globale à des échelles plus importantes. Diverses méthodes de classification des nuages ont été développées à partir des données satellitaires. Ces méthodes peuvent être regroupées en trois types [FAR 92] :

III.6.2.1. Les méthodes visuelles

Comme la néphanalyse utilisent simultanément, à partir des photographies, les caractéristiques spectrales des radiances visible (Vis) et infrarouge (IR), quelques critères de reconnaissance de forme et des situations météorologiques.

Les résultats restent qualitatifs et ne sont pas utilisables sous forme numérique, ils seront néanmoins utilisés comme référence pour la validation des résultats.

III.6.2.2. Les méthodes statistiques

Elles sont basées sur l'examen d'un segment d'image, en utilisant en plus des propriétés statistiques des radiances VIS et IR.

III.6.2.3. Les méthodes à seuil

La télédétection des nuages et leur analyse sont basées sur un examen pixel par pixel, en utilisant la différence des radiances (VIS et IR) entre un pixel pris à l'instant quelconque et le même pixel vu par ciel clair, en utilisant un seuillage physique dépendant de la saison, du lieu...etc. [FAR 92].

III.6.3. Méthode proposée par Météo-France [FAR 92]

L'algorithme de classification que nous adoptons dans cette étude est une technique des nuées dynamiques, suivi d'une classification supervisée (minimum de distance).

Cette méthode utilise un segment d'image, une distribution statistique des radiances (VIS, IR) et leurs variances spatiales locales (Var_{VIS} et Var_{IR}), pour avoir une bonne représentation des différents types de nuage ou de surface dans le segment d'image pour la classification. Elle replace ensuite chaque pixel élémentaire dans une des classes.

Cette méthode a été validée; elle a été appliquée dans le contexte de la recherche et utilisée sur un mode opérationnel en pays de climat tempéré comme première étape de calcul des flux de surface incidents : flux ondes courtes (flux solaire) et flux ondes longues (flux infrarouge).

La donnée de base est une série temporelle des radiances visible et infrarouge de METEOSAT acquises chaque jour à la même heure. On utilise une combinaison

d'informations spectrales, spatiales et temporelles. Chaque pixel d'un segment d'image de jour est représenté par quatre paramètres : deux spectraux (Vis, IR) et deux spatiaux (VarVIS, VarIR) où VarVIS, VarIR sont respectivement les variances locales des canaux visible et infrarouge. La méthode a été développée en deux phases :

III.6.3.1. Identification des noyaux

Cette phase est consacrée pour l'identification des différents noyaux utilisés pour entamer la classification. La méthode des nuées dynamique est utilisée pour réaliser cette objectif .Le but de cette étape est d'obtenir une définition précise de tous les types de nuages en fonction des quatre paramètres précédemment cités (Vis, IR, VarVIS, VarIR) .

Dans notre cas nous allons juste montrer les résultats dégagés de cette étape puisque notre objectif n'est pas l'identification des noyaux, mais l'utilisation de ces derniers pour la classification.

Le tableau suivant montre les différentes classes ainsi que les noyaux associés.

N°	VIS	IR	VARVIS	VARIR	Classe du nuage
1	50	50	27	23	Su (surface)
2	167	140	50	20	AC
3	73	75	75	50	Cu1 (Cu faible)
4	105	85	51	43	Cu 2 (CU)
5	150	100	42	25	Stm (starti)
6	60	130	60	45	Ci 1(Cirrus)
7	80	150	62	67	Ci 2(Cirrus)
8	150	186	35	60	Ci 3(Cirrus)
9	174	186	65	53	Pe(Perturbation)
10	205	213	37	25	Cb(Cb)
11	15	80	15	15	Me (mer)
12	73	87	20	30	Sa (sable)
13	96	95	55	40	Sc1
14	159	123	62	30	Sc2

Tableau III. 3: valeurs en compte numérique des centres de gravité des classes du nuage

III.6.3.2. Classification des nuages

Après avoir obtenu les différentes classes des nuages ainsi que les différents noyaux ; la deuxième étape consiste à classer les nuages sur les images, c'est-à-dire d'attribuer à chaque

pixel la classe à qui il appartient, pour cette étape une méthode dite minimum de distance a été utilisé a fin de distingué les classes du nuage. L'algorithme utilise :

- ✓ Quatre images (visible, infrarouge, variance visible et variance infrarouge) en entrée
- ✓ Les noyaux des classes obtenus précédemment

Pour chaque pixel, l'algorithme calcule la distance euclidienne par rapport à tous les noyaux des différentes classes, et l'affecte à la classe de distance minimale (méthode K-NN).

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les détails relatifs à la classification : Les algorithmes, Les méthodes de classification .Nous avons mis l'accent sur la classification des nuages, on a montré les différents types des nuages, ainsi que les méthodes de classification des nuages. Notons que les phénomènes naturels sont les plus compliqués à analyser et à classer faute aux changements rapides de ceci ; La classification du nuage est l'une de ces phénomène .Dans le chapitre V on va proposer et implémenter une méthode de classification des nuages.

CHAPITRE IV :
DONNEES METEOROLOGIQUES
ET RADIOMETRIQUES

IV.1. Introduction

Il existe une vaste gamme d'activité socio-économique importante dont l'exercice peut se trouver amélioré par une utilisation judicieuse de l'information et des données climatologiques.

Le climat dans lequel nous vivons est le produit des interactions du soleil, des terres émergées, des océans et de l'atmosphère. Il ne tient qu'à nous de le mettre à notre service, de manière à profiter de ses bienfaits en soustrayant à ses aspects défavorables. Il nous faut pour cela des données, les analyser, puis, lorsque nous en venons à établir des plans et à prendre des décisions, utiliser comme il convient les renseignements ainsi obtenus.

Se doter du meilleur jeu de données dont on puisse disposer à cette fin est l'une des premières conditions à remplir pour la solution de tout problème lié au climat.

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur la météorologie débutant par une définition de la météorologie et nous présenterons par la suite les différentes données météorologiques ainsi que les sources de ces derniers.

IV.2. Définitions [LAM07]

IV.2.1. Définition de la climatologie

La climatologie est l'étude du climat, c'est-à-dire l'étude des phénomènes atmosphériques à l'échelle d'une région, d'un pays, ou de la planète entière. Pour cela, elle utilise des relevés de température, de précipitations, de vents, de pression sur une période d'au moins trente ans. Son échelle est différente de celle de la météorologie, qui s'intéresse à la prévision du temps à court terme et à l'échelle locale.

IV.2.2. Définition de la météorologie

La météorologie a pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les dépressions et les précipitations dans le but de comprendre comment ils se forment et évoluent. Le mot vient du grec antique où *météor* désigne les particules en suspension dans l'atmosphère et *logos* veut dire discours ou connaissances.

C'est une discipline qui traite principalement de la mécanique des fluides appliquée à l'air mais qui fait usage de différentes autres branches de la physique, de la chimie et des mathématiques. Purement descriptive à l'origine, la météorologie est devenue un lieu d'application de ces disciplines.

La météorologie moderne permet d'établir des prévisions de l'évolution du temps en s'appuyant sur des modèles mathématiques à court comme à long terme. Elle est également appliquée pour la prévision de la qualité de l'air, pour les changements climatiques et pour l'étude dans plusieurs domaines de l'activité humaine (risques naturels, construction, trafic aérien, navigation, etc.)

IV.2.3. Définition de l'atmosphère

L'atmosphère est un système où les variables changent de valeur en chaque point. Il n'est pas possible de la sonder avec une résolution qui nous permettrait de parfaitement définir son état initial. C'est pourquoi, les premiers météorologues ont d'abord développé des modèles conceptuels empiriques pour expliquer le comportement de l'atmosphère. Les fronts, creux barométriques et autres termes si bien connus dans le vocabulaire des présentateurs météo proviennent de ces premières explications du temps. Elles ont été rendues possibles par le développement des moyens de sondage de l'atmosphère par l'aérologie.

IV.3. Les branches de la météorologie [LAM07]

IV.3.1. La météorologie aéronautique

Est la branche de la météorologie s'occupant de tous les phénomènes concernant ou menaçant directement les pratiques aéronautiques. Une connaissance précise de l'atmosphère est en effet essentielle pour pratiquer l'aviation et l'aérostation. C'est dans l'atmosphère que se déplacent les avions : ils y rencontrent une majorité de phénomènes gênants voire dangereux.

IV.3.2. La météorologie agricole

Est une spécialité de la météorologie qui étudie l'action des facteurs météorologiques, climatologiques et hydrologiques en vue d'améliorer la gestion des exploitations agricoles et les conditions de développement du milieu rural. Cette spécialité vise en particulier l'exploitation de ces données en temps réel pour optimiser les décisions sur le traitement des cultures, sur l'anticipation de l'éclosion des insectes ravageurs et l'irrigation.

IV.3.3. La météorologie de l'espace (météorologie spatiale)

Est une discipline récente qui s'intéresse principalement à l'impact de l'activité solaire sur notre environnement terrestre. Plus exactement : «La météorologie de l'espace est la

discipline qui traite de l'état physique et phénoménologique des environnements spatiaux naturels. Au moyen de l'observation, la surveillance, l'analyse et la modélisation».

IV.3.4. La météorologie forestière

Est l'étude des interactions entre la forêt et l'atmosphère. Comme la météorologie agricole, elle est du domaine de la micrométéorologie et de la biométéorologie de par le fait qu'elle est locale et qu'elle prend en compte la végétation existante. Il s'agit de la prise de données et de la prévision météorologique qui influence le milieu forestier, surtout les dangers de feu de forêt.

IV.3.5. La météorologie maritime

La mission correspondant à ce secteur consiste à offrir aux usagers maritimes en mer et sur les côtes les informations météorologiques maritimes et océanographiques connexes dont ils ont besoin pour sécuriser au maximum les opérations maritimes et assurer l'efficacité et l'économie des activités maritimes, pour contribuer à l'exploration et à l'exploitation optimale des ressources côtières et océaniques (vivantes ou non) et pour protéger le milieu marin.

IV.3.6. La micrométéorologie

Est un domaine de la météorologie qui se consacre à l'étude, de très petite échelle, des états de l'atmosphère terrestre et de ses interactions avec l'environnement géochimique. Cette science étudie et modélise les transferts d'énergie et de matières entre l'atmosphère et le sol et les plantes, les turbulences dans la couche limite atmosphérique, etc.

IV.4. Les applications de la météorologie [LAM07]

De nombreuses activités humains sont soumises aux états de l'atmosphère et intéressés par des études climatiques : transports et l'agriculture, mais aussi habitat, construction...

IV.4.1. Les transports

Longtemps, les transports (navigation en particulier) ont été très dépendants du climat. Aujourd'hui, la situation est à la fois différente et sensible : dans le secteur de l'aviation, par exemple : l'invention du radar a permis de se protéger de phénomènes dangereux (cyclones, brouillards givrants).

IV.4.2. L'agroclimatologie

L'agriculture est extrêmement sensible aux éléments du climat conditionnant la vie végétale : pluie, ensoleillement et la température.

Un déficit pluviométrique peut être partiellement compensé par le pompage d'eau dans le sol ou par l'absorption de l'eau présente dans l'atmosphère, jusqu'à ce que l'absence de pluie se répercute sur ces deux paramètres. De plus en plus, l'agriculture développe les moyens de corriger le climat : les serres permettent d'élever la température ambiante ; les réseaux d'irrigation ou de drainage, de s'affranchir des irrégularités pluviométriques ; les haies de limiter la vitesse du vent.

La climatologie est alors sollicitée pour tenter d'évaluer la rentabilité de ces investissements coûteux.

IV.4.3. L'habitat

Le but des maisons étant de protéger des rigueurs du climat pour atteindre des conditions de confort pour l'homme, toutes les connaissances de la bioclimatologie sont mises en œuvre dans les techniques de l'habitat.

Actuellement, cette problématique est renouvelée par les questions énergétiques : les bâtiments doivent être confortables tout en étant peu énergivores.

IV.4.4. L'activité économique

De nombreuses activités sont très liées au climat, notamment celles du secteur énergétique qui doit adapter sa production à la consommation.

Par exemple : le tourisme, avec l'attente de la neige en hiver ou la demande de soleil et de chaleur en été, est également très dépendant du temps. Enfin, les assurances sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les aléas climatiques.

On retrouve plusieurs domaines d'application de la climatologie :

Hydrométéorologie	Météorologie aéronautique	Météorologie agricole	Météorologie côtière	Météorologie et route
Météorologie forestière	Météorologie maritime	Météorologie militaire	Météorologie des montagnes	Météorologie tropicale
Météorologie et pollution	Prévision et des orages violents	Prévision numérique des temps	Prévision des cyclones tropicaux	

IV.5. Les paramètres météorologiques

IV.5.1. La pression atmosphérique

La pression atmosphérique représente le poids d'une colonne d'air située au-dessus d'une surface donnée. Elle s'exprime en hectopascal. Une zone de pression supérieure à environ 1015 hectopascal correspond à un anticyclone, une zone de pression inférieure à environ 1015 hpa correspond à une dépression.

La valeur absolue de la pression indiquée n'a en soi qu'un intérêt limité, par contre les variations de pression (à la hausse ou à la baisse) sont un indice qui permet de déterminer une tendance dans l'évolution du temps.

L'inégalité des pressions commande le régime des vents.

IV.5.2. Le vent

Le vent est un mouvement de l'atmosphère. Il peut apparaître sur n'importe quelle planète disposant d'une atmosphère.

Le vent tend à rétablir l'équilibre de la pression en transportant de l'air des anticyclones (Ciel bleu, soleil, forte chaleur...) vers les dépressions. Dans un référentiel terrestre, on détermine sa direction à l'aide des points cardinaux et on exprime sa vitesse en nœuds, en

km/h ou en m/s. Parfois, on parle aussi de "force" du vent et on l'exprime alors par un nombre dans l'échelle de Beaufort, chaque nombre correspondant à un domaine de vitesse du vent.

IV.5.3. La température

Il faut distinguer entre la température de l'air et celle du sol. La température de l'air subit des variations journalières diurnes et nocturnes dont l'amplitude dépend de multiples critères: la saison, la nébulosité, la latitude, l'altitude, la proximité d'une étendue d'eau, la nature du sol, la présence de végétation....

La température de l'air s'exprime en degrés Celsius (°C). En effet, la température du sol (roc, neige, couverture végétale...) évolue en grande partie indépendamment de celle de l'air.

IV.5.4. Température mouillée

La température mouillée ou température humide est la température qu'une passerelle d'air, ayant une température O et en contenu de vapeur d'eau Y .

IV.5.5. Température rosée

La température rosée ou point de rosé est une donnée thermodynamique caractérisant l'humidité dans un gaz.

IV.5.6. Nébulosité [WEB3]

La fraction de la voûte céleste occultée en un lieu et à un instant donnés par tout ou partie des nuages est une grandeur mesurable, usuellement évaluée par l'observateur en octas (ou en dixièmes), et qui porte le nom de nébulosité. En l'absence de mention explicite, ce terme équivaut à la nébulosité totale, qui s'applique à l'ensemble des nuages présents dans le ciel au moment de l'évaluation. Il existe aussi des estimations de nébulosité partielle, qui ne prennent en compte que des catégories déterminées de nuages en fonction de telle ou telle caractéristique ou combinaison de caractéristiques : genre, espèce, variété, couche ou étage atmosphérique...

Des dénominations courantes de valeurs ou d'intervalles de valeurs de la nébulosité totale sont associées, non sans une certaine confusion d'ailleurs, à la description de l'état du ciel. Selon les critères les plus fréquemment adoptés, trois types de ciel peuvent de ce point de vue être distingués en priorité :

- ✓ le ciel clair est entièrement ou presque entièrement dégagé de nuages, l'estimation de sa nébulosité étant inférieure à 1 octa ;
- ✓ le ciel couvert est au contraire entièrement occulté par les nuages, l'estimation de sa nébulosité atteignant 8 octas ;
- ✓ le ciel nuageux est un ciel dont plus d'une moitié est occultée par les nuages, l'estimation de sa nébulosité dépassant 4 octas sans toutefois atteindre celle d'un ciel couvert.
- ✓ On peut en outre retenir :
- ✓ le ciel peu nuageux, que l'on juge largement dégagé malgré la présence effective de nuages, l'estimation de sa nébulosité se situant entre 1 et 3 octas ;
- ✓ le ciel assez nuageux, que les nuages recouvrent pour moitié, si ce n'est davantage, l'estimation de sa nébulosité allant de 4 à 5 octas ;
- ✓ le ciel très nuageux, qui est recouvert en grande majorité de nuages, l'estimation de sa nébulosité allant de 6 à 7 octas.

IV.5.7. Visibilité [WEB3]

La distance jusqu'à laquelle un observateur situé près du sol ou de la mer peut voir et identifier un objet dans une direction donnée de l'atmosphère, à un instant et en un lieu déterminés, est une grandeur que l'on peut mesurer en mètres ou kilomètres, en milles, en pieds, ou encore suivant une échelle, et que l'on appelle la visibilité en ce lieu et à cet instant dans la direction choisie.

IV.5.8. Pression de la mer

La pression de la mer c'est la pression atmosphérique au niveau de la mer

IV.5.9. Tension de vapeur

LA tension de la vapeur est la pression à laquelle la phase gazeuse de cette substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide.

IV.5.10. Les précipitations

Les précipitations constituent la principale *entrée des* principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.

Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) ou sous forme solide (neige, grêle) et des précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

Les précipitations s'expriment en mm. Une chute de pluie de 1 mm sur une surface de 1 m² correspond à un volume de 1 litre d'eau tombé sur cette surface.

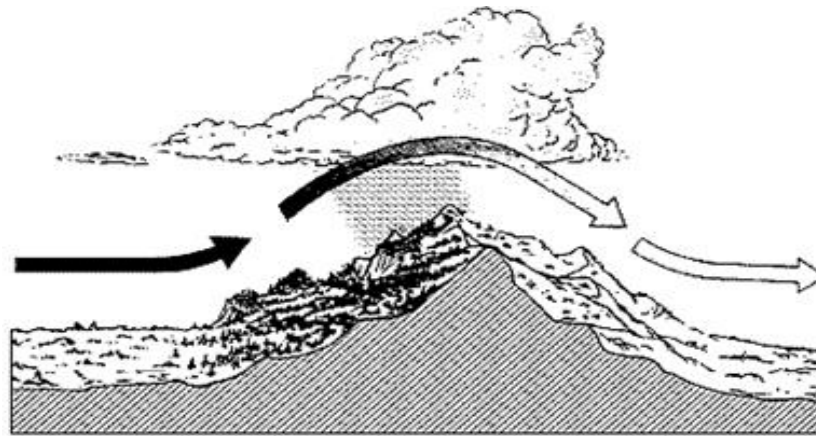


Figure IV.1 [DIO07]: Le relief fait obstacle au front chaud provoquant la pluie

IV.5.11. L'humidité de l'air

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau dans l'air, sans compte l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue. L'humidité relative joue un rôle sur la formation de brouillard, de la rosée et des nuages. On générale, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion à l'humidité relative exprimée en %.

L'humidité relative de l'eau correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression. Ce rapport changera si on change la température ou la pression, ce qui rend sa mesure complexe. Un air saturé en vapeur d'eau à une humidité relative de 100% et air très sec, possède une humidité de 10% à 20%.

On définit l'humidité absolue comme le rapport de la masse de vapeur d'eau sur le volume d'air humide à la pression et la température considérée.

Les principales sources de l'humidité sont :

- ✓ Principale source : la mer.
- ✓ Sources secondaires : la végétation et l'état de saturation du sol.

IV.6. Les instruments de mesures [DIO07]

La météorologie dépend de la prise de données des variables de l'atmosphère mentionnées précédemment, et pour s'aventurer à faire des prévisions avec quelque chance de succès, il faut d'abord procéder à un certain nombre d'observations. Pour cela, la météorologie a mis au point des instruments très compliqués, mais également quelques-uns bien plus simples.

IV.6.1. Le baromètre

Il mesure la pression atmosphérique en millimètres. L'aiguille du cadran indique une pression de mercure d'environ 760 mm. Sur le plan international, la hauteur barométrique est exprimée en millibars ou en hecto pascals :

$$1000 \text{ millibars} = 1000 \text{ hecto pascals} = 760 \text{ mm de mercure.}$$

IV.6.2. Le thermomètre

Il permet de mesurer la température, mais surtout les variations de température. Notre système est celui de Celsius, où l'eau gèle à 0°

(Point de congélation) et bout à 100° (point d'ébullition). Mais ce n'est pas partout pareil : dans les pays anglo-saxons, par exemple, on utilise l'échelle Fahrenheit, où le point de congélation se situe à + 32° et le point d'ébullition à 212°F.

IV.6.3. L'hygromètre

Il permet de mesurer l'humidité relative de l'air ambiant. Cette humidité relative donne, en pourcentage, le rapport entre la quantité de vapeur d'eau effectivement absorbée par l'air et la quantité maximale qui pourrait y être absorbée à la même température.

IV.6.4. L'anémomètre

Il permet de déterminer la force et la direction du vent. La direction du vent ne s'indique pas seulement par Nord, Nord-Ouest, Ouest, etc.... mais s'exprime également en degrés. Le Nord est alors aussi bien 0° que 360°.

La graduation tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, de sorte que l'Est est à 90° et le Sud à 180°. La force du vent est indiquée en kilomètres/heure (km/h), en mètres par seconde, en nœuds par heure, ou en chiffres allant de 1 à 12 selon l'échelle Beaufort.

IV6.5. Le pluviomètre

C'est un simple récipient d'une surface bien déterminée. On mesure la quantité d'eau tombée pendant un intervalle de temps donné avec une éprouvette graduée. Il doit être installé dans un lieu découvert, loin des arbres, des maisons ou des murs..., il doit être placé à 1m 50cm au-dessus du sol.

Le résultat de la mesure s'exprime en millimètres ou bien en litres par mètre carré. Ainsi, 1 mm d'eau récupérée dans le pluviomètre équivaut à 1 litre d'eau de pluie tombée sur 1 m², mais en agriculture il est préférable de dire que cela correspond à 10 m³ d'eau de pluie tombée sur 1 ha.

Enfin, La météorologie dépend de la prise de données des variables de l'atmosphère mentionnées précédemment. Les instruments comme le thermomètre et l'anémomètre ont d'abord été utilisé individuellement puis regroupés dans des stations météorologiques terrestres et maritimes. Ces données ont été d'abord très éparses et prises par des amateurs. Le développement des communications et des transports a forcé les gouvernements de tous les pays à mettre sur pied au sein de leurs services météorologiques des réseaux d'observation et à développer de nouveaux instruments (Station météorologique, Radar météorologique et Satellite météorologique).

IV.7. Horaire de prise de mesure

Les données régionales sont aussi hétérogènes de point de vue temporelle car les stations prélève des mesures chaque trois heures à partir de 00 H jusqu'au 21 H.

IV.8. Information manquante

Les données manquantes sont codées par « -9999 » c'est-à-dire ce code signifie que la station ne prélève pas de mesure à une date et heure précises.

IV.9. Ressources météorologiques

La mise en œuvre d'activités pédagogiques sur le thème de la météorologie nécessite l'utilisation de ressources qui peuvent être classées en trois catégories principales :

- ✓ **Les ressources documentaires** : prise par des ouvrages, cédérom ou sites web.
- ✓ **Les ressources satellitaires** : le satellitaires est un outil indispensable pour le suivi des prévisions météorologique.
- ✓ **Les ressources mesurables** : effectuées au niveau des stations ou calcul par des équipes de recherche dans des laboratoires.

IV.10. Les satellites météorologiques [MEN06]

Les satellites météorologiques jouent un grand rôle à la météorologie car ils sont considérés comme une source de l'information incontournable aussi bien pour la météorologie opérationnelle (analyse et prévision des situations météorologique).

Les premiers satellites d'observation appliqués à la météorologie ont été lancés par NOAA (National Océan and Atmosphère Administration). Ils furent suivis par le lancement de toute une série d'engins destinés à couvrir les applications météorologiques dans le monde entier.

Par souci de toujours améliorer la qualité de ses prestations, la direction de la météorologique nationale a renforcé ses moyens de réception satellitaire, par acquisition de station au nord et au sud de l'Algérie. Ainsi, parmi les applications de la météorologie satellitaire, on peut citer :

- ✓ Climatologie satellitaire.
- ✓ Estimation des précipitations par satellite.
- ✓ Elaboration des produits environnementaux.

IV.11. Les stations météorologiques [WEB1]

Une station météorologique enregistre et fournit des mesures liées aux variations du climat de la région. Une station météorologique peut être construite avec des matériaux très simples. Les données d'une station météorologique seront envoyées par circuits de communications sous une forme codées. La plus connu est celle appelé METAR qui a été développée pour les services à l'aviation mais des usagers particuliers peuvent utiliser d'autres formats.

Ces données sont utilisées pour la confection de cartes météorologiques actuelles et pour la prévision future des éléments météorologiques.

- **Exemple d'une prise de mesure d'une donnée météorologique**

Les mesures prises dans les stations météorologiques doivent être effectuées dans des conditions identiques pour que les résultats entre des lieux différents puissent être comparés.

Une seule station rattachée à une région précise, la station doit être située sur un terrain plat couvert d'un tapis végétal. La figure ci-dessous (figure IV.2) montre un exemple d'une prise de mesure d'une donnée météorologique



Figure IV.2: Mesure d'une donnée météorologique. [WEB2]

IV.12. La prévision météorologique [TAB05]

La prévision météorologique est une application des connaissances en **météorologie** et des techniques modernes de prises de données et d'informatique pour prédire l'état de l'atmosphère à un temps ultérieur.

La météorologie est encore handicapée par la très faible densité de données disponibles. Les stations de sondage sont éloignées de plusieurs centaines de kilomètres les unes des autres et même si des capteurs à distance tels les satellites et les radars augmentent la définition de l'analyse, toutes ces informations comportent des imprécisions assez grandes. C'est pourquoi, la prévision du temps est encore un mélange entre les calculs venant des équations et l'expérience du météorologiste.

IV.13. Les différentes sortes de la prévision météorologique

L'information météo est fournie sous une forme compréhensible par les usagers, et comporte plusieurs sortes de prévisions à savoir :

- ✓ les prévisions immédiates de quelques heures, de 1 ou 2 jours, comme les vents et orages violents, les pluies diluviennes, les cyclones, les tempêtes adaptées aux besoins des différents secteurs.
- ✓ Les prévisions sur 10 jours à un mois, sur l'imminence d'un phénomène météo susceptible de causer des dommages.
- ✓ Les prévisions sur 3 mois ou prévisions de saison des pluies pour les besoins de l'agriculture, du tourisme, des transports, de la santé.
- ✓ Les prédictions ou scénario de changement climatique ; les modèles du climat se basent sur le taux d'émission de gaz à effet de serre, pour dégager une tendance pour le futur, à l'horizon 2050 ou 2100 par exemple.

IV.14. Technologies de contrôle météorologique

Voici quelques exemples de technologies visant à obtenir un certain contrôle sur certaines conditions atmosphériques :

- ✓ **HAARP** : technologie d'étude et de modification localisée des propriétés radioélectriques de l'ionosphère.
- ✓ **Canon anti-grêle** : pour tenter de perturber la formation de grêle au moyen d'ondes de choc (anecdotique).
- ✓ **Ensemencement des nuages** : en lâchant une fumée d'iodure d'argent dans les nuages pour augmenter le nombre de noyaux de condensation disponibles et donc la pluie. Ceci aurait dans le cas des orages pour effet d'augmenter le nombre de grêlons aux dépens de leur taille individuelle.
- ✓ **Feux antibrouillard** : pour dissiper le brouillard par un réchauffement localisé.

IV.15. l'insolation

IV.15.1. Définitions [MAL05]

La température et l'insolation fait partie des paramètres qui déterminent d'une manière primordiale le climat en un lieu.

IV.15.1.1. Définition de l'insolation

L'insolation ou l'ensoleillement est la durée pendant laquelle un lieu subit la radiation directe du soleil.

L'insolation, manifestation tangible des apports énergétiques fournis par le soleil qui est le moteur principal de la circulation atmosphérique et de la circulation océanique. Il est aussi le moteur de l'évaporation, processus initiateur des précipitations.

Inversement, la disparité des apports solaires à la surface de la terre justifie les courants aériens et marins qui tendent à compenser ces inégalités.

L'insolation s'exprime en heure ou dixièmes d'heures.

IV.15.1.2. Définition de l'énergie solaire

L'énergie solaire est produite par le rayonnement du soleil direct ou diffus à travers l'atmosphère.

Le soleil produit ainsi une énergie inépuisable et naturellement disponible en quantité. L'énergie solaire reçue chaque année sur la terre équivaut à plus de 20 fois nos besoins énergétiques.

L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie alimentaire, énergie cinétique, énergie thermique, électricité ou biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière.

Le soleil apporte à la terre presque toute son énergie.

Cette énergie actionne la machine atmosphérique.

IV.15.1.3. La ressource solaire

L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au milieu du Soleil. Elle se propage dans le système solaire et dans l'Univers sous la forme d'un rayonnement électromagnétique de photons. L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de :

- ✓ l'énergie solaire envoyée par le Soleil (fluctuations décennales, saisonnières, et ponctuelles).
- ✓ la nébulosité (nuages, brouillards, etc.).
- ✓ la latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du soleil et donc l'énergie par unité de surface au sol, ainsi que sur la nébulosité en fonction du climat local.

IV.15.2. La mesure de l'insolation [MAL05]

Les héliographes sont des appareils destinés à mesurer l'insolation. Ils donnent des indications lisibles en heures et dixièmes d'heure. L'héliographe *CAMBELL-STOCKES* utilisé en Algérie est constitué d'une sphère de verre qui concentre le rayonnement solaire sur une bande de carton étalonnée et brûle celle-ci. La longueur de la trace obtenue sur cette bande correspond à la durée d'insolation.

Cet instrument comprend : la monture mécanique, la sphère focalisante et les cartons d'enregistrements. La sphère focalisante dont l'homogénéité est absolument nécessaire à un indice de verre de 1,51 et un diamètre de 10 cm. Note que l'héliographe *CAMBELL-STOCKES* dont la précision est de l'ordre du dixième d'heure, ne commence à brûler le diagramme d'insolation que lorsque le soleil ait atteint une hauteur apparente de 3 à 5 degrés de l'horizon astronomique.

L'instrumentation utilisée pour enregistrer l'insolation est robuste et la mesure est plus simple à réaliser.

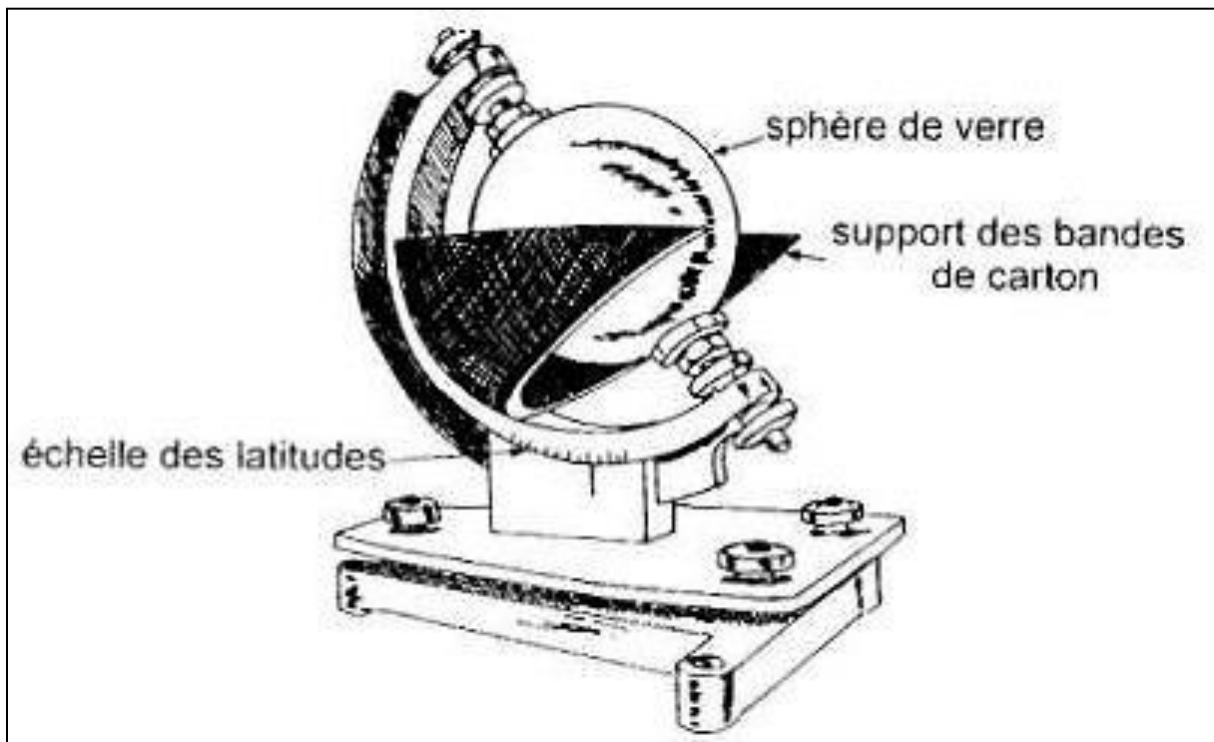


Figure IV.3: Héliographe de type CAMBELL-STOCKES

IV.15.3. Le capture et l'exploitation du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est captée par des capteurs (panneaux) installés en général sur le toit, qui la transforme soit en chaleur (solaire thermique) soit en électricité (solaire photovoltaïque).

IV.15.3.1. Le solaire thermique

La chaleur produite par le soleil est captée puis stockée afin d'être réutilisée à l'intérieur des logements pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire. Une installation solaire thermique permet de couvrir jusqu'à 70% des besoins d'un foyer en eau chaude sanitaire et 40% de ses besoins en chauffage. C'est une solution performante qui permet de gagner en autonomie face aux énergies fossiles tout en agissant concrètement pour préserver l'environnement.

IV.15.3.2. Le solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque. L'installation solaire peut alimenter un besoin sur place (en association avec un moyen de stockage) ou être injectée, après transformation en courant alternatif, dans un réseau de distribution électrique (le stockage n'étant alors pas nécessaire).

IV.16. Modélisation des données météorologique

Les données mesurées, calculer ou collecter à partir des stations météorologique sont de types : des données météorologiques journalières et des données météorologiques mesurées chaque trois heures c'est-à-dire dans les heures (00H, 03H, 06H, 09H, 12H, 15H, 18H, 21H).

IV.16.1. Les données météorologiques quotidiennes

Les données météorologiques quotidiennes sont :

- ✓ **Ptot:** Pluviométrie totale (en 0.1mm avec -9999 avec 2 représente une donnée manquante et 5555 = RR < 0.1 mm)
- ✓ **Evap:** Evaporation piche (0.1mm avec -9999 représente une donnée manquante).

- ✓ **Inso**: Durée Insolation Total (en 0.1 heure avec -9999 représente une donnée manquante).
 - ✓ **Bro** : Occurrence de Brouillard peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 2 représente une donnée manquante.
 - ✓ **Ora** : Occurrence d Orage peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 2 représente une donnée manquante.
 - ✓ **Gre** : Occurrence de Grêle peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 2 représente une donnée manquante.
 - ✓ **Bru** : Occurrence de Brume Grêle peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 9 représente une donnée manquante.
 - ✓ **Ros** : Occurrence de la rosée peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 9 représente une donnée manquante.
 - ✓ **Gel** : Occurrence de la Gelée peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 9 représente une donnée manquante.
 - ✓ **Sir** : Occurrence de Sirocco peut prendre les deux valeurs 0 ou 1 avec 9 représente une donnée manquante.
- **Exemple** : données quotidiennes collectées au niveau de la station d'ORAN.

Date	Rtot	Evap	Inso	Bro	Ora	Gre	Bru	Ros	Gel	Sir
20081218	0	8	71	0	0	0	0	0	0	1
20081219	0	10	91	0	0	1	0	0	0	1
20081220	0	6	94	0	0	1	1	0	0	0
20081221	285	7	-9999	0	0	0	0	0	0	0

IV.16.2. Les données météorologiques horaires

- ✓ **Nebul** : la nébulosité,
- ✓ **Temp** : la température,
- ✓ **Hum** : l'humidité,
- ✓ **PAAtMer** : la pression atmosphérique au niveau de la mer,
- ✓ **PAAtSta**: lapression atmosphérique au niveau de la station,
- ✓ **VVent** : la vitesse du vent,
- ✓ **TVEau**: tension du vapeur d'eau,
- ✓ **Visib** :visibilité.

- **Exemple** : les valeurs de la nébulosité totale collectes au niveau de la station d'ALGER DAR-EL-BEIDA.

Date	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	Nmoy
2004/12/29	6	7	6	6	6	6	6	5	6.0
2004/12/30	6	7	7	7	7	7	7	6	6.8
2004/12/31	5	5	6	8	7	7	7	8	6.6
2005/01/01	8	8	6	6	5	6	4	2	5.6
2005/01/02	2	2	2	2	3	2	2	1	2.0
2005/01/03	1	1	2	5	2	7	7	6	3.9
2005/01/04	4	7	3	0	1	0	1	1	2.1
2005/01/05	1	1	1	0	0	0	1	2	8.0

IV.13.3. Conception de la base de données météorologiques

Comme nous avons vus dans les paragraphes précédents, nous avons de types de données météorologiques : les données météorologiques quotidiennes dont leurs valeurs acquises une seule fois chaque jour et des données météorologiques horaires dont leurs valeurs acquises chaque trois heures. Le schéma suivant montre le modèle conceptuel de données(MCD), des données météorologiques.

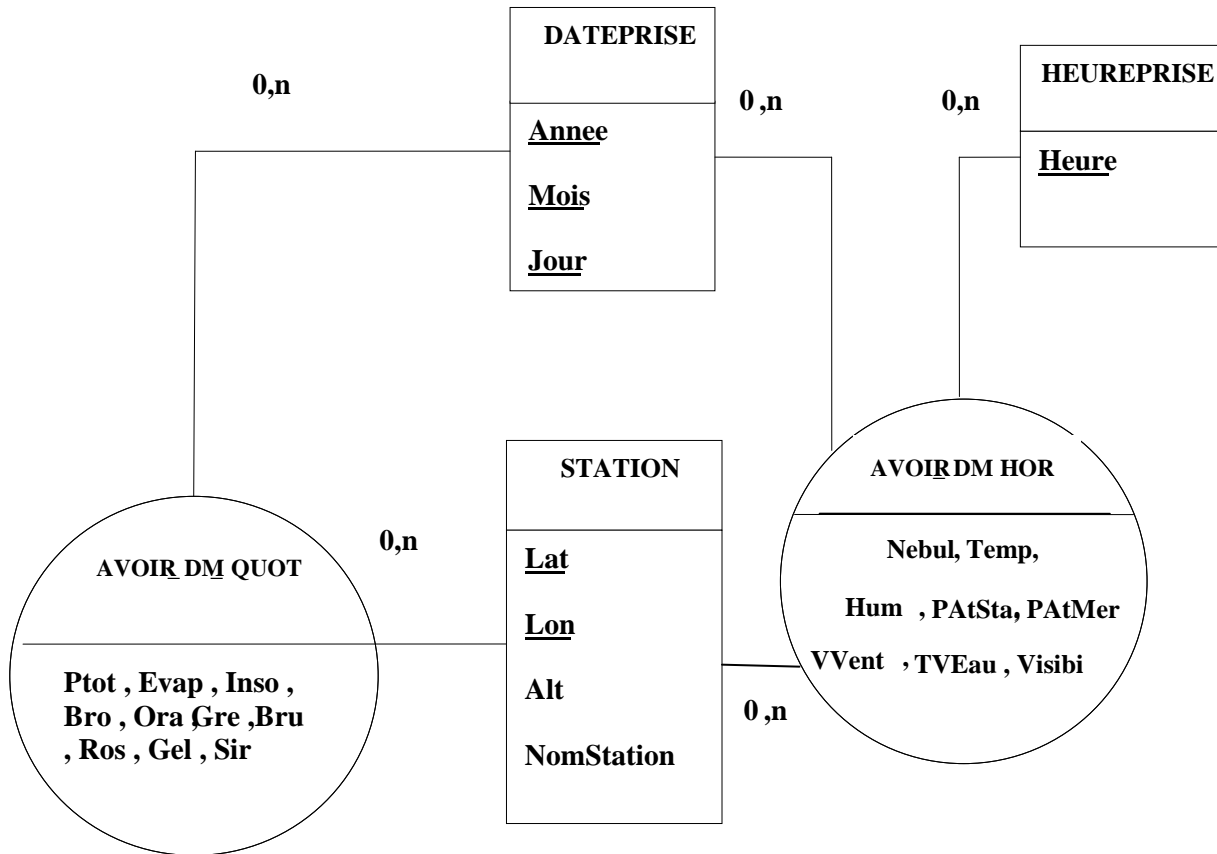


Figure IV.4: Model conceptuel de données des données météorologiques(MCD).

Le model logique des données(MLD) correspond au MCD précédent est le suivant :

- la table des station : **Station (Lat , Lon , Alt , NomStation)**.
- La table des données météorologiques horaires : **TableDMHor (Année , Mois , Jour , Heure , Nebul , Temp , Hum , PAtSta , PAtMer , VVent , TVEau , Visib , Lat* , Lon*)**.
- La table des données météorologiques quotidiennes : **TableDMQuot (Année , Mois , Jour , Ptot , Evap , Inso , Bro , Ora , Gre , Bru , Ros , Gel , Sir , Lat * , Lon*)**.

Dans le prochain chapitre en va implémenter ces tables en utilisant le système de gestion de base de données Access

IV.17. Les rayonnements

IV.17.1. Radiation directe

La radiation directe horaire qui atteint le sol est fonction de la radiation directe à ciel clair(I) et l'enuagement(N). Dans le cas du ciel totalement couvert, la radiation directe est nulle [IMA76] :

$$I_n = I [K (1-N)]$$

Tels que :

$$K = \sin(\text{latitude}) / [(C + \sin(\text{latitude})) + (P - 1) (1 - Y)]$$

Ou :

C : est la ration de la radiation diffuse sur la radiation directe à ciel clair.

P : le coefficient de clarté du ciel

$$Y = 0.309 - 0.137 \sin(\text{latitude}) + 0.394 \sin^2(\text{latitude}).$$

IV.17.2. Radiation diffusée

Dans le cas du ciel clair, nous considérons que la relation diffusée horaire au sol est D, pour un ciel semi-couvert, la radiation diffusée au s'il dépend avec le taux de couverture de nuage pour un pixel donnée, nous utilisons dans ce cas la relation suivante :

$$D_n = D [1.028 + 0.0195 N - 0.0095 - 0.0095 N^2 - K (1 - N/10)] \quad [IMA76]$$

Ou :

K : définit plus haut,

N : ennuagement.

IV.17.3. Radiation globale

Pour un ciel couvert par les nuages est la somme de la radiation directe et la radiation diffusée :

$$G_n = I_n + D_n$$

IV.18. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des notions générales très utilisées dans le domaine météorologique ainsi que les ressources exploitent pour recueillir les données météorologiques

Nous avons modélisé ces données afin de créer une base de données météorologiques. Nous avons présenté aussi les définitions des équations concernant les rayonnements à savoir le rayonnement diffus, direct et global.

Ce chapitre est considéré comme une introduction de prochain chapitre qui doit créer la base de données pour les données météorologiques entrant dans le développement du système.

CHAPITRE V :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Introduction

Ce chapitre est constitué de trois parties:

La première partie est consacré à l'implémentation des deux bases de données : base de données images Météosat et la base de données des données météorologique, la deuxième partie est destinée à implémenter la méthode étudié dans le chapitre III qui à été consacré à la classification de la masse nuageuses et la troisième partie est consacrée a l'intégration des deux bases de données par l'enrichissement de la base de données météorologiques par les variables radiométriques.

V.2. La base de données des images

V.2.1. Création de la table des images Météosat

Comme nous avons vus dans le chapitre I, la table des images Météosat est définie comme suit :

TableImageMS (num_image , Image ,Annee , Mois , Jour , Heure , Type) ;

La propriété Type peut prendre les deux valeurs suivante: ir (pour image infrarouge) et vis (pour image visible).

La propriété peut prendre les trois valeurs suivantes : 09, 12, 15 qui représentent les heures de prise de l'image par le satellite Météosat.

Pour implémenter notre table des images, on utilise le système de gestion de base de données Access.

Dans le SGBD Access, on ne trouve pas les tables seules mais dans une base de données, donc il faut au préalable créer la base de données qui doit recevoir notre table des images.

Access offre plusieurs manières de créer une table de données : le mode feuille de données, le mode création et le mode assistant table. On peut aussi importer une table à partir d'une autre base de données d'Access ou même d'une feuille de travail d'Excel. On s'intéresse dans notre cas par le mode création qui présente une souplesse dans la manipulation de la structure de la table de données.

Avant de créer la table « TableImageMS », il faut donner une structure à cette table. Il faut déterminer la liste de champs ainsi que les caractéristiques de ces champs c'est-à-dire les noms des champs, les types et les tailles des champs.

La table « TableImageMS » se présente comme suit :

Num champ	Nom du champ	Type de champ	Taille du champ
01	NumImage	NuméroAuto	Entier long
02	Imagesat	Objet OLE	/
03	TypeImage	Texte	03
04	Annee	Texte	04
05	Mois	Texte	02
06	Jour	Texte	02
07	Heure	Texte	02

Tableau V.1: Structure de la table des images Météosat.

V.2.2 Manipulation de la table des images Météosat

Pour l'introduction des images dans la table, on a utilisé le langage de programmation CSharp(c#). La manipulation de ces images se fait suivant les algorithmes suivants :

a) Insertion une image dans la table

- **Algorithme**

Données entrées : images METEOSAT (**M**) à introduire avec la date (Année, mois, jour), l'heure de prise de l'image et le type (ir, vis).

Résultats : la table est dote de la nouvelle image (**M**).

Début

- Vérifier si l'image (**M**) n'est pas dans la table.
- **Si** vrai **alors** ajouter l'image dans la table et leurs propriétés

Fsi.

Fin.

b) Modifier les propriétés d'une image

- **Algorithme**

Données entrées : les nouvelles propriétés de l'image (**M**) à modifier.

Résultats : l'image (**M**) modifié.

Début

- Vérifier si l'image (**M**) dans la table.
- **Si** vrai **alors** ajouter les nouvelles propriétés pour l'image (**M**)

Fsi.

Fin.

c) **Rechercher une image dans la table**

• **Algorithme**

Données entrées : les propriétés identifiant l'image à chercher (Année, Mois, Jour, Heure, Type).

Résultats : l'image (**M**) correspond aux paramètres entrés.

Début

- Vérifier si les paramètres existent dans la table.
- **Si** oui **alors** afficher l'image (**M**) correspond à ces paramètres

Fsi.

Fin.

d) **Supprimer une image de la table**

• **Algorithme**

Données entrées : les propriétés identifiant l'image à supprimer (Année, Mois, Jour, Heure, Type).

Résultats : l'image (**M**) correspond aux paramètres entrés est retiré de la table.

Début

- Vérifier si l'image correspond paramètres entrés existent dans la table.
- **Si** oui **alors** supprimer l'enregistrement de l'image (**M**) correspond à ces paramètres

Fsi.

Fin.

V.3. La base de données des données météorologiques

La description des données météorologiques dans le chapitre IV a donné comme résultat les trois relations suivantes :

- ✓ **Station (Lat , Lon , Alt , NomStation).**
- ✓ **TableDMHor (Année , Mois , Jour , Heure , Nebul , Temp , Hum , Atm , VVent , TVEau , Lat* , Lon*).**
- ✓ **TableDMQuot (Année , Mois , Jour , Ptot , Evap , Inso , Bro , Ora , Gre , Bru , Ros , Gel , Sir , Lat * , Lon*).**

Avant de créer les tables avec le SGBD ACCESS, il faut définir la structure de chaque table.

- La structure de la table station:

Num champ	Nom du champ	Type de champ	Taille du champ
01	Lat	Numérique	Réel double
02	Lon	Numérique	Réel double
03	Alt	Texte	05
04	NomStation	Texte	15

Tableau V.2 : Structure de la table des stations météorologiques.

➤ La table des données météorologiques horaires « **TableDMHor** » :

Num champ	Nom du champ	Type de champ	Taille du champ
01	Annee	Texte	04
02	Mois	Texte	02
03	Jour	Texte	02
04	Heure	Texte	02
05	Nebul	Numérique	04
06	Temp	Numérique	04
07	Hum	Numérique	04
08	PAtMer	Numérique	04
09	PAtSta	Numérique	04
10	VVent	Numérique	04
11	TVEau	Numérique	04
12	Visibi	Numérique	04
13	Lat	Numérique	Réel double
14	Lon	Numérique	Réel double

Tableau V.3 : Structure de la table des météorologiques horaires.

➤ La table des données météorologiques quotidiennes « **TableDMQuot** » :

Num champ	Nom du champ	Type de champ	Taille du champ
01	Annee	Texte	04
02	Mois	Texte	02
03	Jour	Texte	02
04	Ptot	Numérique	Réel simple
05	Evap	Numérique	Réel simple
06	Inso	Numérique	Réel simple
07	Bro	Numérique	Réel simple
08	Ora	Numérique	Réel simple
09	Gre	Numérique	Réel simple
10	Bru	Numérique	Réel simple
11	Ros	Numérique	Réel simple
12	Gel	Numérique	Réel simple
13	Sir	Numérique	Réel simple
14	Lat	Numérique	Réel double
15	Lon	Numérique	Réel double

Tableau V.4 : Structure de la table des météorologiques quotidiennes.

Maintenant il nous reste qu'à utilisé le logiciel Access pour créer ces tables. La manipulation de ces données se fait à travers des procédures réalisées avec le langage de programmation Csharp(C#).

V.4. Classification des nuages

V.4.1. Architecture proposée

Nous avons proposé une architecture pour implémenter la Méthode décrite précédemment (classification par la méthode minimum de distance) comme suit :

V.4.1.1. Structures de données utilisées

La structure de données proposée pour développer cette méthode est une simple base de données qui contient une seule table noyaux. Cette dernière contient les noyaux des classes utilisées dans la classification. Sa structure est :

VIS	IR	VarVIS	VarIR	Classe	Couleur
-----	----	--------	-------	--------	---------

Table V. 5: Structure de la table noyaux

La table noyaux est initialisée par les noyaux déduits par des experts. Cela n'empêche pas de prévoir des modifications sur cette table ; c'est pour ça que notre système supporte les opérations classiques, de modification, ajout et suppression des données. La description de la table est illustrée ci-dessous :

Attribut	Type	Description
Classe	Chaîne de caractères	Le nom de la classe (clé primaire)
VIS	numérique	Radiométrie du noyau pour l'image visible
IR	numérique	Radiométrie du noyau pour l'image infrarouge
VarVIS	numérique	Radiométrie du noyau pour l'image variance visible
VarIR	numérique	Radiométrie du noyau pour l'image variance infrarouge
Couleur	Couleur	La couleur affectée à la classe (clé secondaire)

Table V. 6: Description de la table noyaux

Une fois les structures de données sont définies, l'algorithme détaillé se présente ainsi :

V.4.1.2. Algorithme

- Données entrées : image brute visible, image brute infrarouge, image variance visible, image variance infrarouge, le tableau T de noyaux.

- Résultats : image classe.

- La fonction Calcul_distance: permet de calculer la distance euclidienne entre le vecteur de pixels de position (i, j) et le noyau de la classe C_k comme suit par la formule suivante :

$$\text{Distance} = \sqrt{d}$$

Ou :

$$d = (\text{VIS}(i,j) - C_k \cdot \text{VIS})^2 + (\text{IR}(i,j) - C_k \cdot \text{IR})^2 + (\text{VarVIS}(i,j) - C_k \cdot \text{VarVIS})^2 + (\text{VarIR}(i,j) - C_k \cdot \text{VarIR})^2$$

- La fonction affecter (P(i,j),classe): permet d'affecter le pixel P(i,j) a une classe.

Début

Pour chaque pixel p(i,j) de l'image (G) **faire**

Distance=255

Pour chaque classe C_k de T **faire**

Si (Calcul_distance (p (i,j) , C_k) < Distance) **alors**

Distance = Calcul_distance (p (i,j) , C_k)

Classe = C_k

Fsi

Fait

Affecter (p(i,j) , Classe

Fait

Fin.

Le schéma suivant illustre cet algorithme :

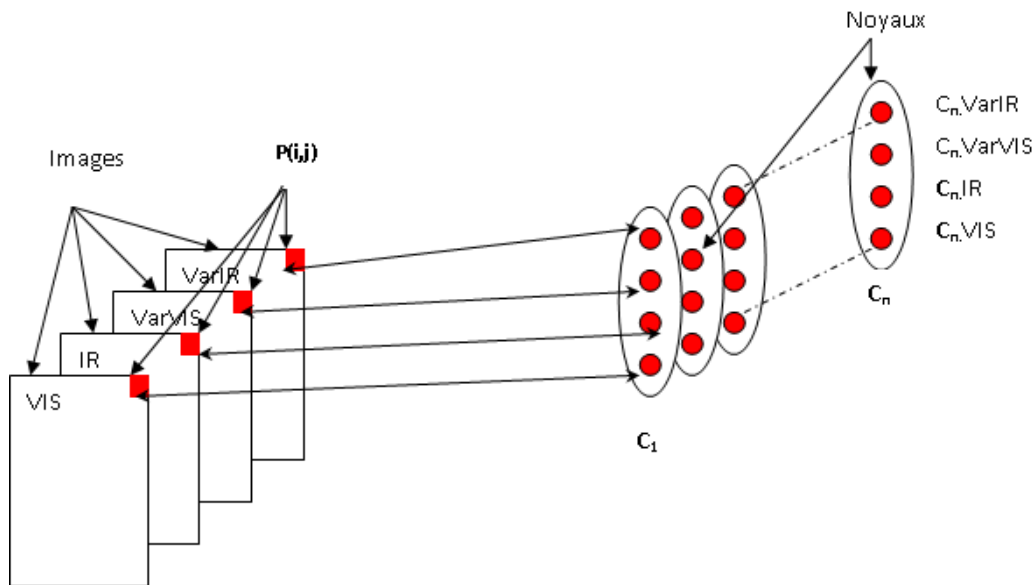


Figure V. 1 : Illustration de l'algorithme

V.4.1.3. Architecture globale

Après avoir défini toutes les données, structures, algorithmes nécessaires pour implémenter la méthode de classification proposée par Météo-France, on se retrouve finalement avec l'architecture suivante :

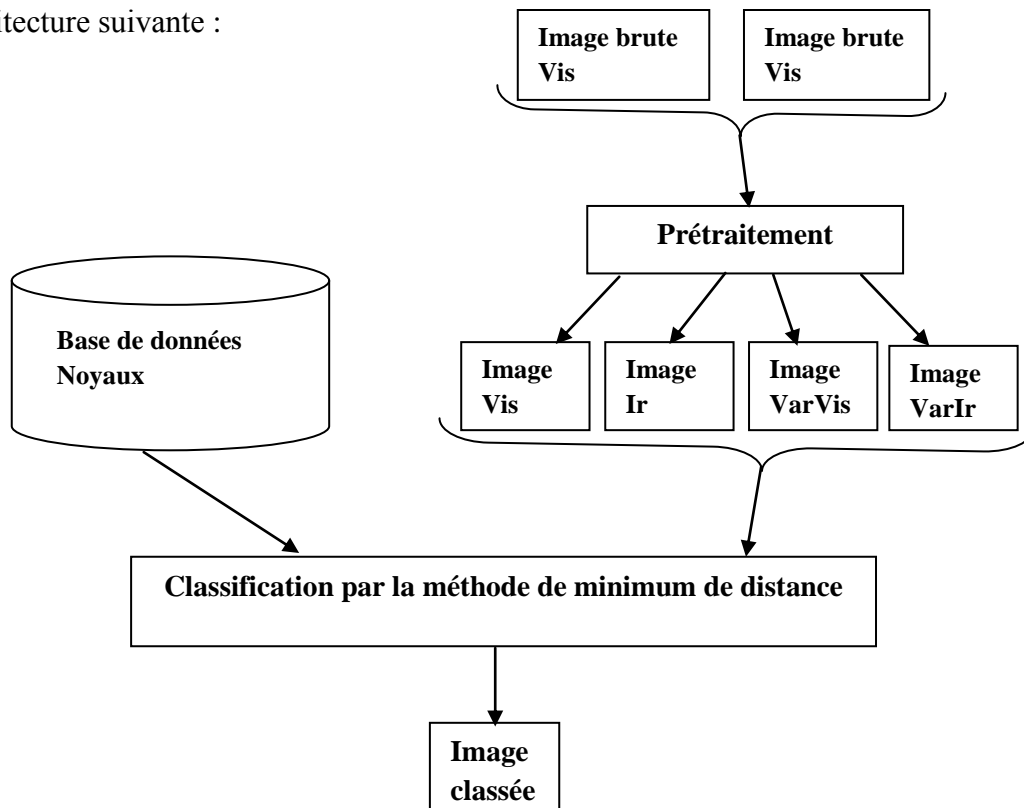


Figure V. 2 : Illustration de l'algorithme

Cette architecture prévoit trois modules :

- a) La gestion des noyaux (gestion de la base de données),

- b) Des prétraitements nécessaires sur les images brutes, visibles et infrarouges à savoir :
- Redimensionnement de l'image infrarouge pour avoir la même taille que l'image visible.
 - Implémentation des images : image variance locale infrarouge(VarIR), images variance locale visible(VarVIS).
- c) Application de l'algorithme de classification (minimum de distance).

V.4.2. Critiques

Cette méthode prend un temps considérable à cause des traitements inutile en cas de non présence du nuage dans les pixels traités.

V.4.3. Améliorations proposées

V.4.3.1. Principe

Le problème de la méthode précédente réside dans l'absence des informations supplémentaires pour éviter les traitements inutiles c'est-à-dire nous ne nous savons pas les pixels nuageux et les pixels non nuageux. Ce problème sera résolu par l'introduction des images ennuagement.

L'ennuagement nous donne l'information sur la présence ou l'absence du nuage sur les pixels de l'image traitée. Dans le cas de présence du nuage, nous appliquons la méthode de minimum de distance et en cas de l'absence du nuage, il n'est pas nécessaire d'appliquer la méthode de minimum de distance, mais nous introduisons une image à ciel clair pour savoir si le pixel appartient à la classe mer ou à la classe sol (figure V.3 et figure V.4).

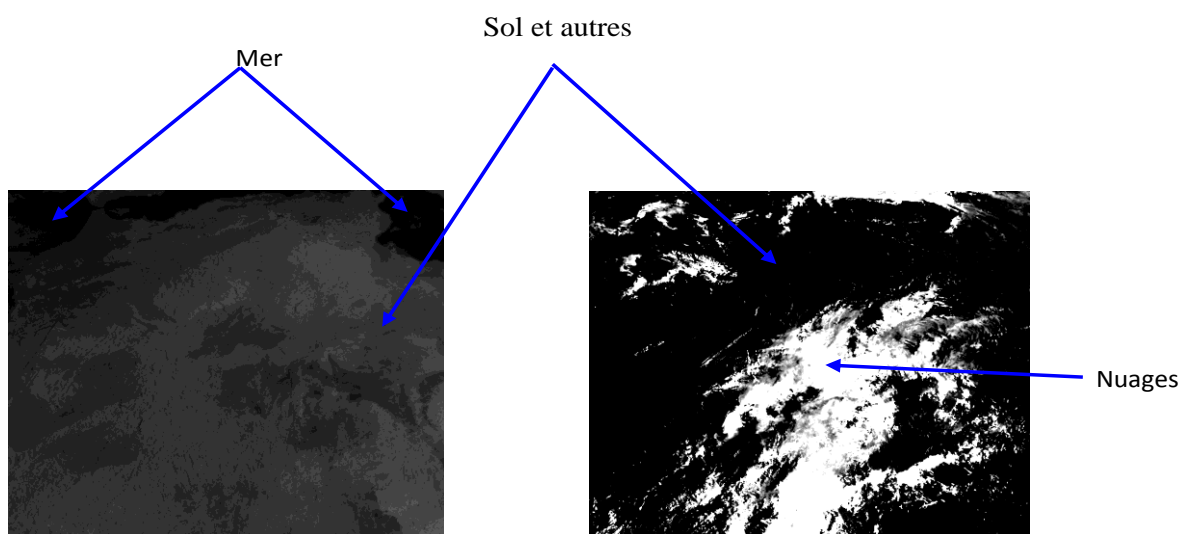


Figure V. 3: Image à ciel clair visible

Figure V. 4: Image Ennuagement

✓ Si on constate absence du nuage sur l'image Ennuagement, on introduit l'image à ciel clair pour classer le sol et la mer.

✓ Si on constate présence du nuage sur l'image Ennuagement, on applique l'algorithme de minimum de distance.

L'introduction de ces deux images dans la classification donne naissance à un arbre de décision comme le montre le schéma suivant :

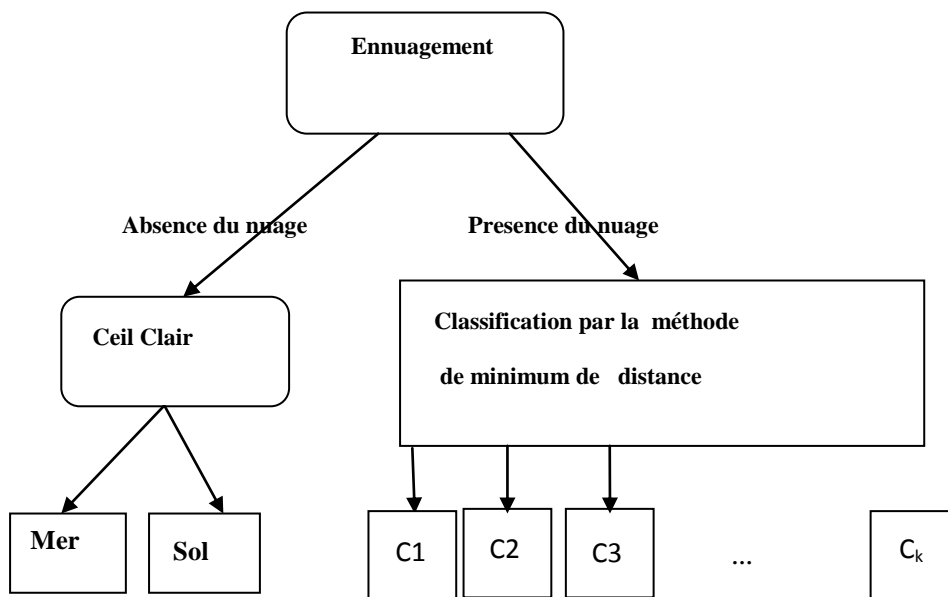


Figure V. 5: Arborescence du nouveau de la méthode de classification proposée

Ainsi L'architecture sera améliorée comme la montre **la figure V.6:**

V.4.3.2. Architecture Améliorée

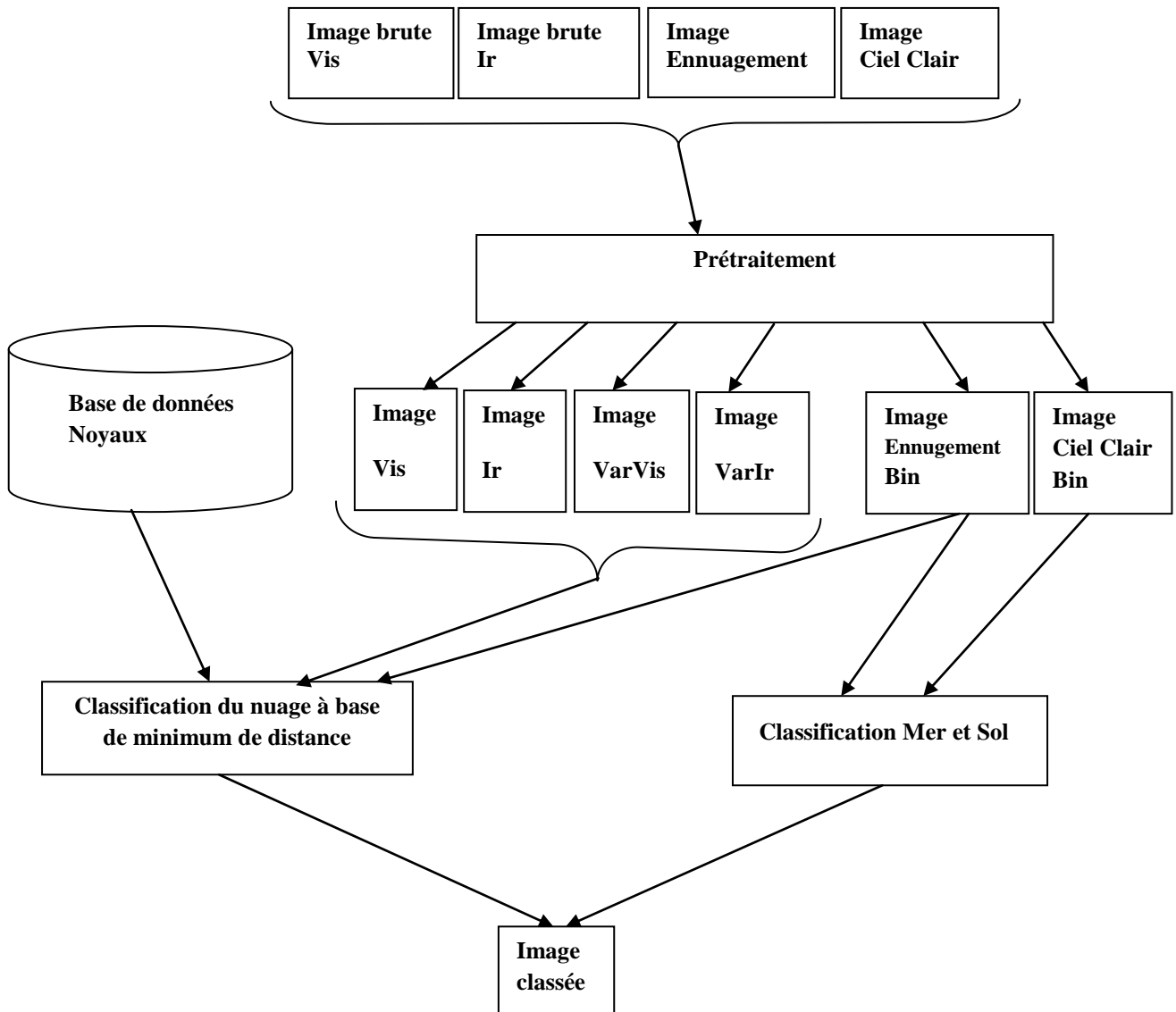


Figure V. 6: Architecture générale du nouvel système

Cette architecture utilise deux autres images à savoir : image ennuagement et image a ciel clair.

Des prétraitements sont nécessaires avant d'exploiter ces deux images :

a. Binarisation de l'image à ciel clair

L'image à ciel clair est exploitée pour distinguer le sol de la mer car elle représente une référence du ciel clair (sans nuages) et donc l'observation du sol et de la mer est meilleure.

Pour pouvoir l'exploiter nous procédons à une binarisation. Le seuil à appliquer représente les limites (en termes de radiométrie) entre la classe SOL et la classe Mer. Ce seuil est déduit

facilement à partir de l'histogramme associé à l'image (point de pic) ou encore en analysant la radiométrie de l'image elle-même (méthode visuelle). Sa valeur est alors 21.

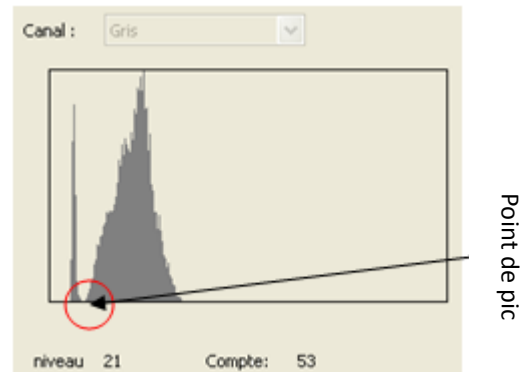
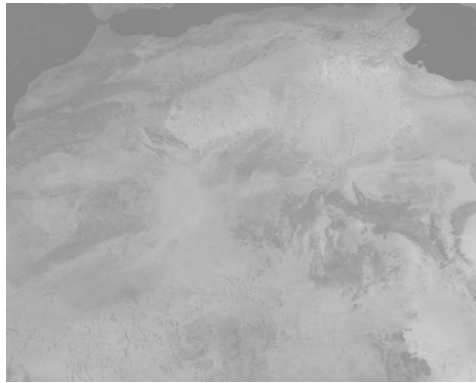


Figure V. 7: Image à ciel clair

Figure V. 8: L'histogramme de l'image à ciel clair

Après binarisation, nous obtenons une séparation des classes Sol et Mer illustrée ci-dessous :

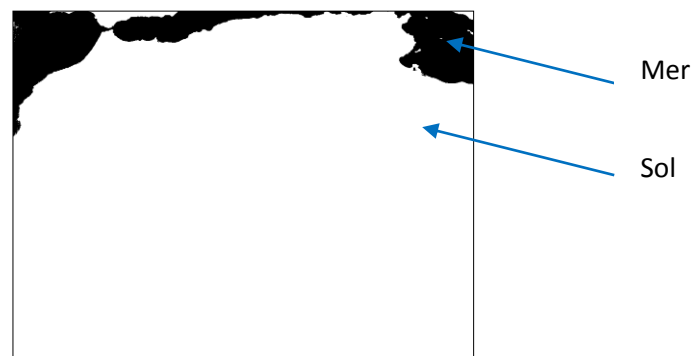


Figure V. 9: image à ciel clair binaire

b. Binarisation de l'image ennuagement

L'image Ennuagement est par contre exploitée pour distinguer les nuages de toute autre objet puisque elle représente le taux de présence des nuages. Si le taux d'Ennuagement est supérieur à 10% on dit qu'il y a présence de nuage et dans ce cas on procède à la classification. Un faible taux d'ennuagement est négligé. Ce qui se traduit par une binarisation de l'image. Le seuil à appliquer correspond à 10% c'est-à-dire $255 \times 10 / 100$ ce qui donne un seuil de 22.5.

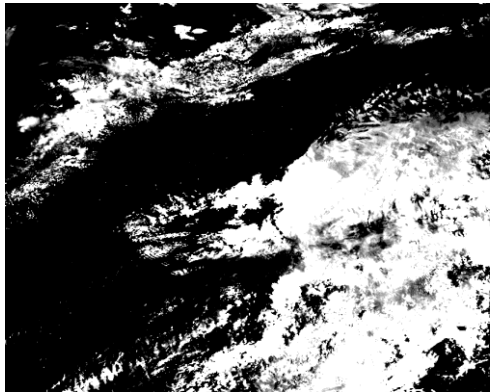


Figure V. 10: Image Ennuagement

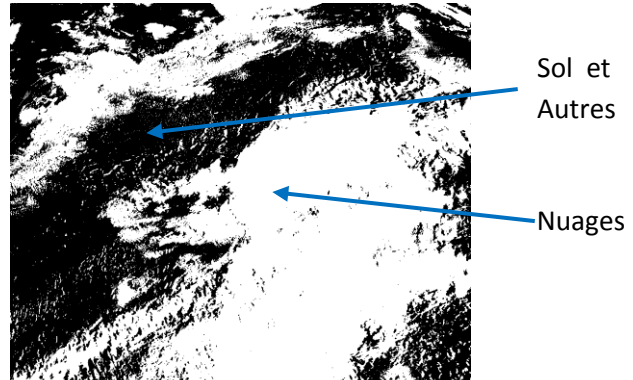


Figure V. 11: Image Ennuagement binaire

V.4.3.3. Algorithme

- **EnnuB** : image ennuagement binaire.
- **CClaiB** : image a ciel clair binaire.

Début

Si EnnuB(i,j)=0 alors

Si CClaiB(i,j)=1 alors

Affecter(P(i,j), MER)

Sinon

Affecter(P(i,j), SOL)

Fsi

Sinon

Distance=255

Pour chaque classe C_k de T faire

Si (calcul_distance(P(i,j), C_k) < distance) alors

Distance=calcul_distance(P(i,j), C_k)

Classe= C_k

Fsi

Fait

Affecter(P(i,j), Classe)

Fsi

Fin.

Le résultat de la classification est une image classée, pour la visualisation des résultats, nous proposons d'attribuer à chaque classe une couleur unique. La couleur représente une sorte de codification. Deux pixels de même couleur appartiennent à une même classe. Le tableau suivant montre l'attribution de couleur aux différentes classes.

Classe du nuage	couleur
Ci 1 (Cirrus)	
Ci 2 (Cirrus)	
Ci 3 (Cirrus)	
Su (surface)	
Me (mer)	
AC	
Sa (sable)	
Sc1	
Sc2	
Cu 1 (Cu faible)	
Cu 2 (CU)	
Cb(Cb)	
Stm (starti)	
Pe(Perturbation)	

Table V. 7 : Attribution de couleurs

La dégradation de couleurs est choisie selon les classes de nuages ; les nuages les plus faibles ont une couleur plus claire. D'où la palette des couleurs :

- **Evaluation Visuelle**

Après avoir implémenté les deux algorithmes (météo France et météo France corrigé), nous avons appliqué les deux algorithmes sur un échantillon d'images pour visualiser les résultats obtenus et les discuter. Dans ce qui suit nous illustrons les résultats des tests sur un ensemble d'images :

• Exemple 1 : Image 95050430

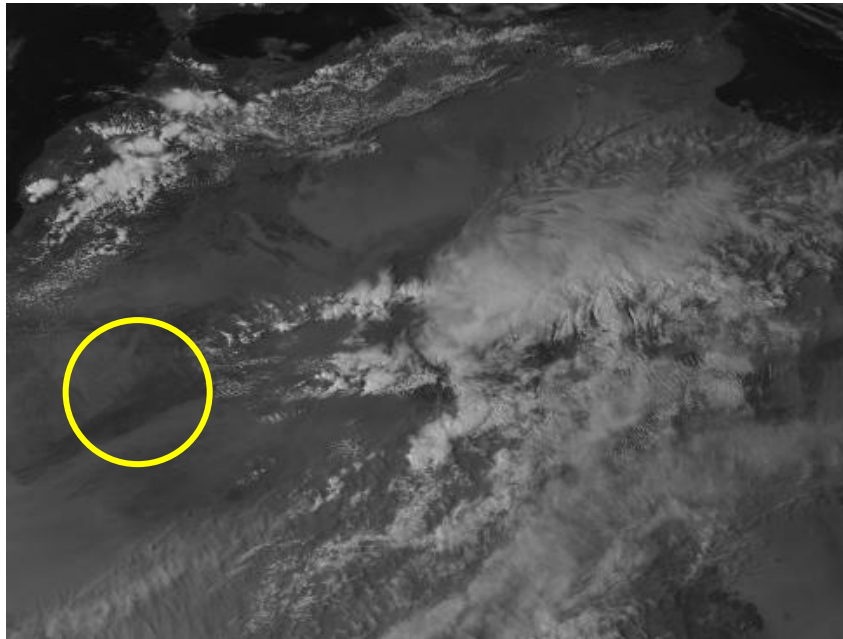


Figure V. 13: image 95050430 .vis

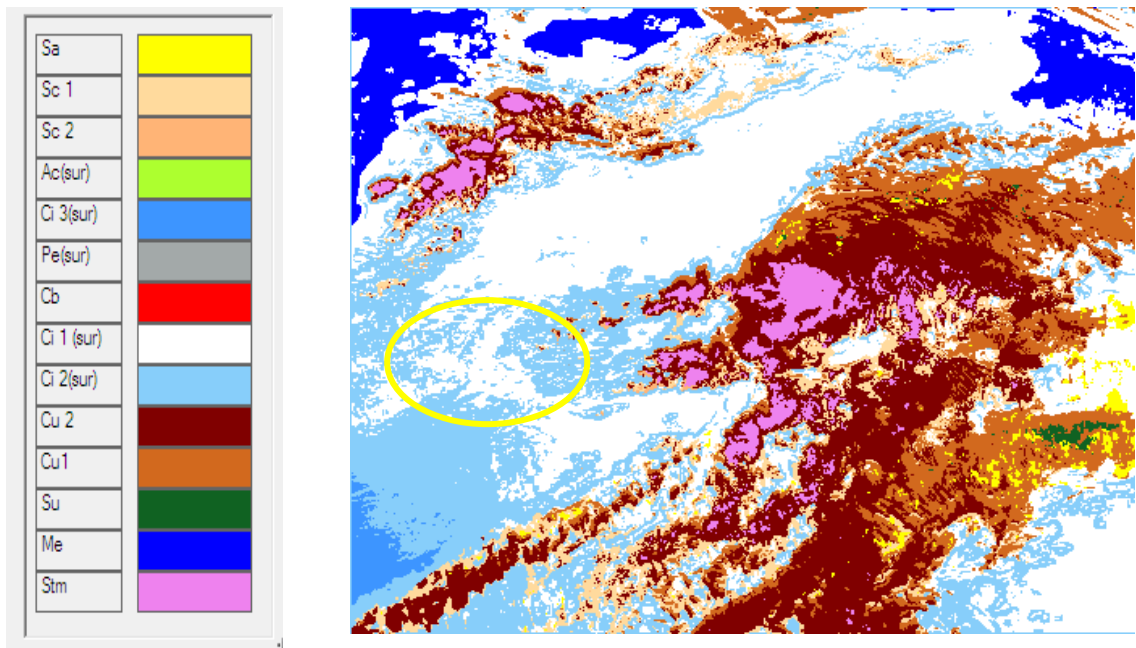


Figure V. 14 : Image 95050430 Classée par le premier algorithme

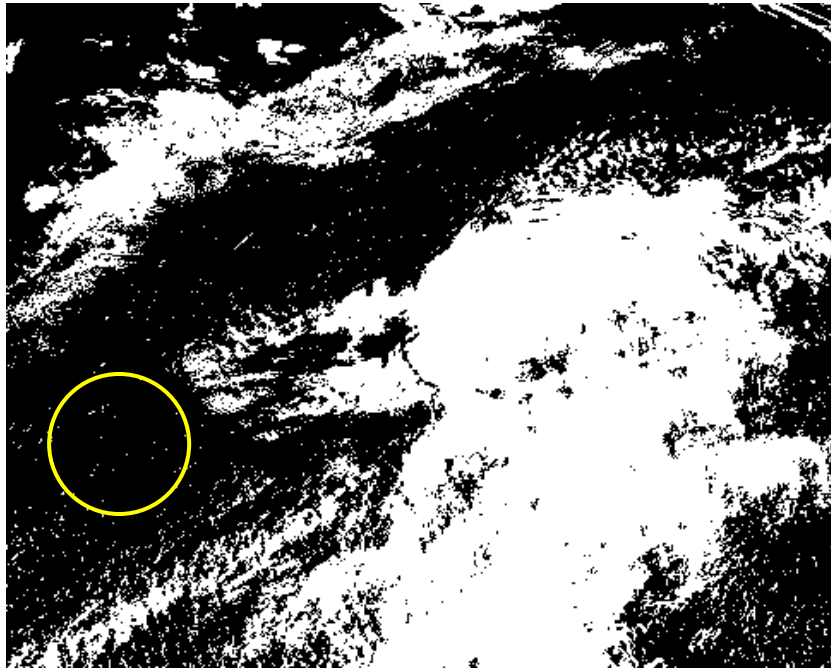


Figure V. 15 : Image ennuagement 95050430 binaire

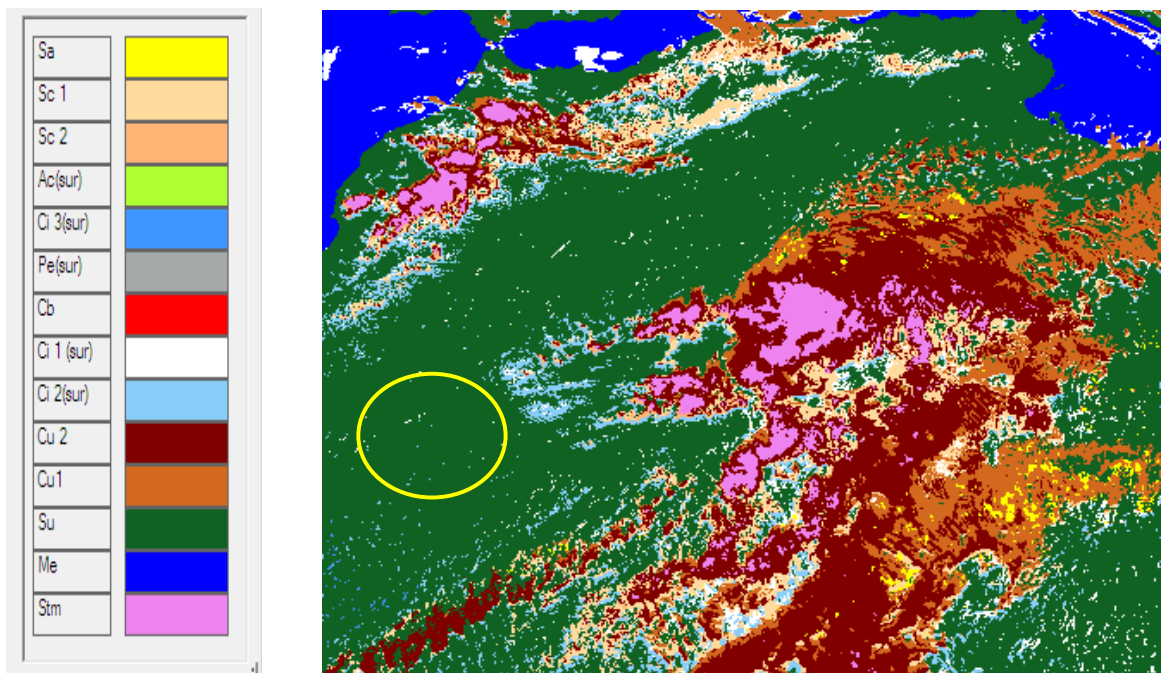


Figure V. 16 : Image 95050430 classée après amélioration

• **Discussion :**

L'image brute de la figure **V.13** comporte une grande masse nuageuse à classer. La figure **V.14** représente le résultat de classification en appliquant le premier algorithme. Nous remarquons que cette méthode a bien identifié les types des nuages dans les zones nuageuses, mais elle a classé le sol comme étant un nuage (voir le cercle rouge).

L'image ennuagement associée (Figure V.15) à l'image brute distingue bien les zones nuageuses des autres zones.

La figure V.16 démontre le résultat obtenu après l'introduction de l'image ennuagement. Nous constatons une amélioration considérable par rapport au premier résultat. Les classes du nuage ont été bien identifiées. Le sol et la mer sont bien classés. C'est un résultat acceptable bien qu'il y a quelques perturbations.

• **Exemple 2 :** Image 95042224

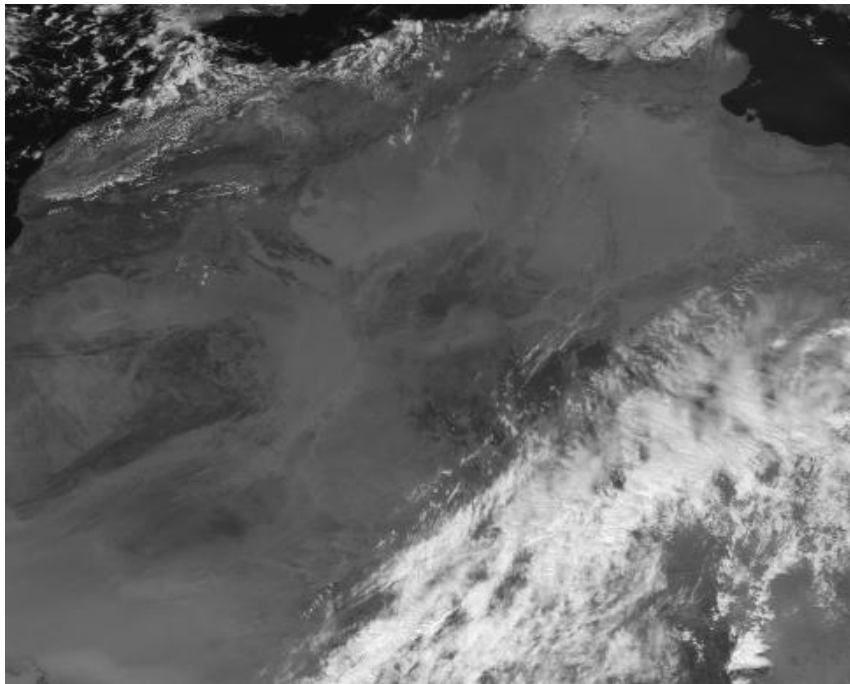


Figure V. 17 : Image 95042224 .Vis

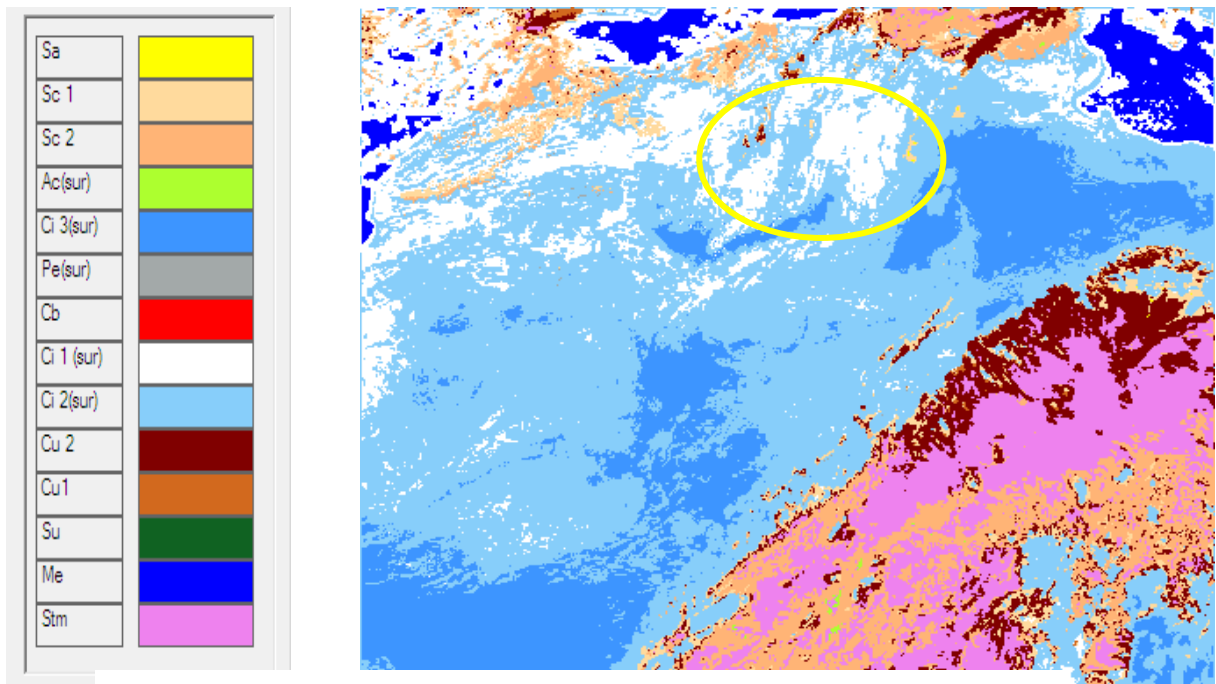


Figure V. 18 : Image 95042224 classée par le premier algorithme

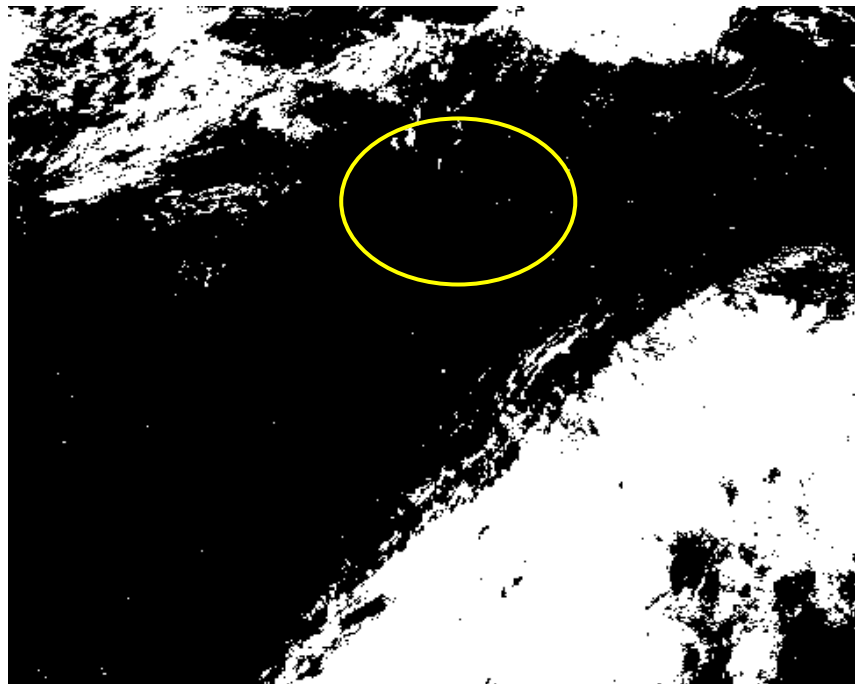


Figure V. 19 : Image ennuagement 95042224 binaire

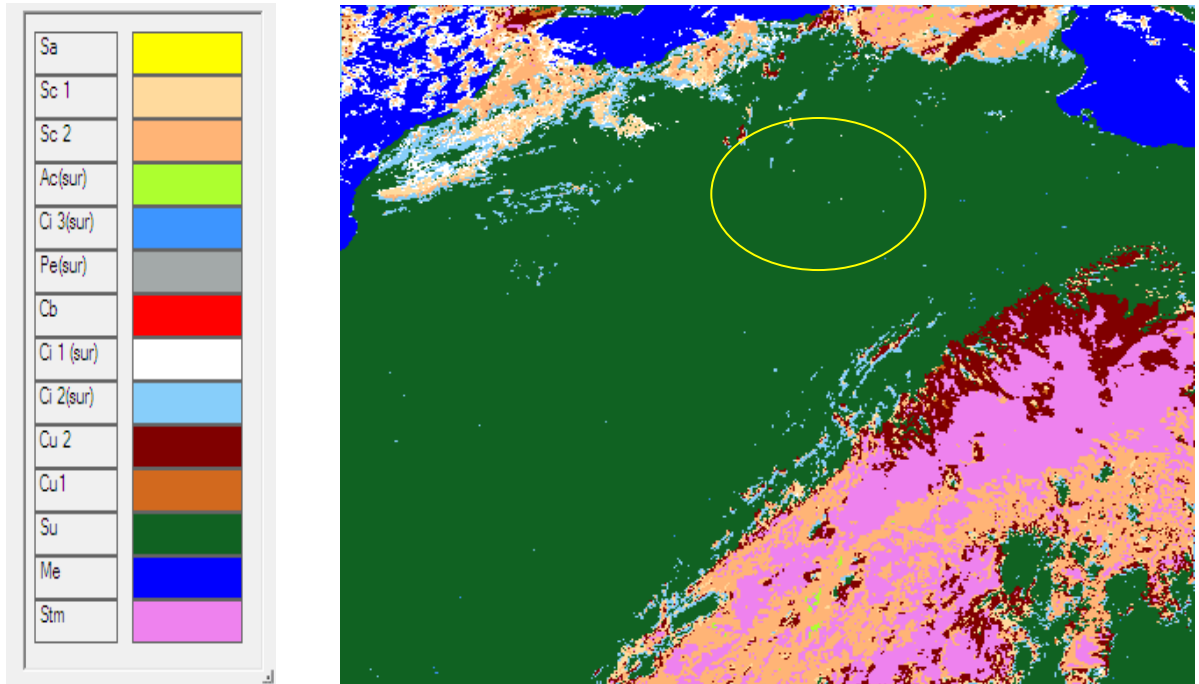


Figure V. 20 : Image 95042224 classée après amélioration

• Discussion

L'image 95042224 marque la présence d'une masse nuageuse en bas à gauche et quelques nuages tout à fait en haut près de la mer. Le reste de l'image représente un état à ciel clair. L'application du premier algorithme sur cette image montre bien le problème confronté précédemment. On note toujours que le sol et une partie de la mer sont classés comme étant un nuage faible (cirrus)(voir le cercle jaune) par contre la partie nuageuse est bien classée.

L'image ennuagement marque bien les zones nuageuses.

L'image obtenue après amélioration (Figure V.20) donne de bons résultats. Les nuages sont bien classés comme dans le premier algorithme, Nous voyons clairement le sol et la mer.

• Exemple 3 : Image 95040118

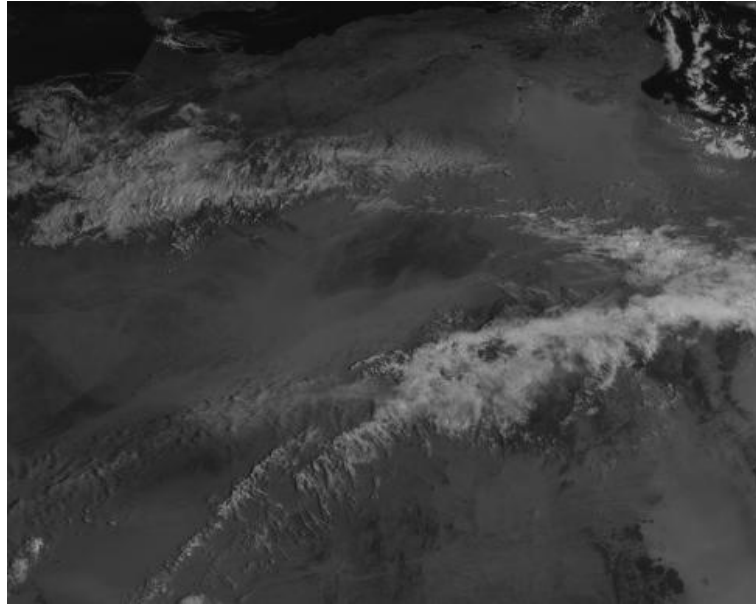


Figure V. 21 : Image 95040118 .Vis

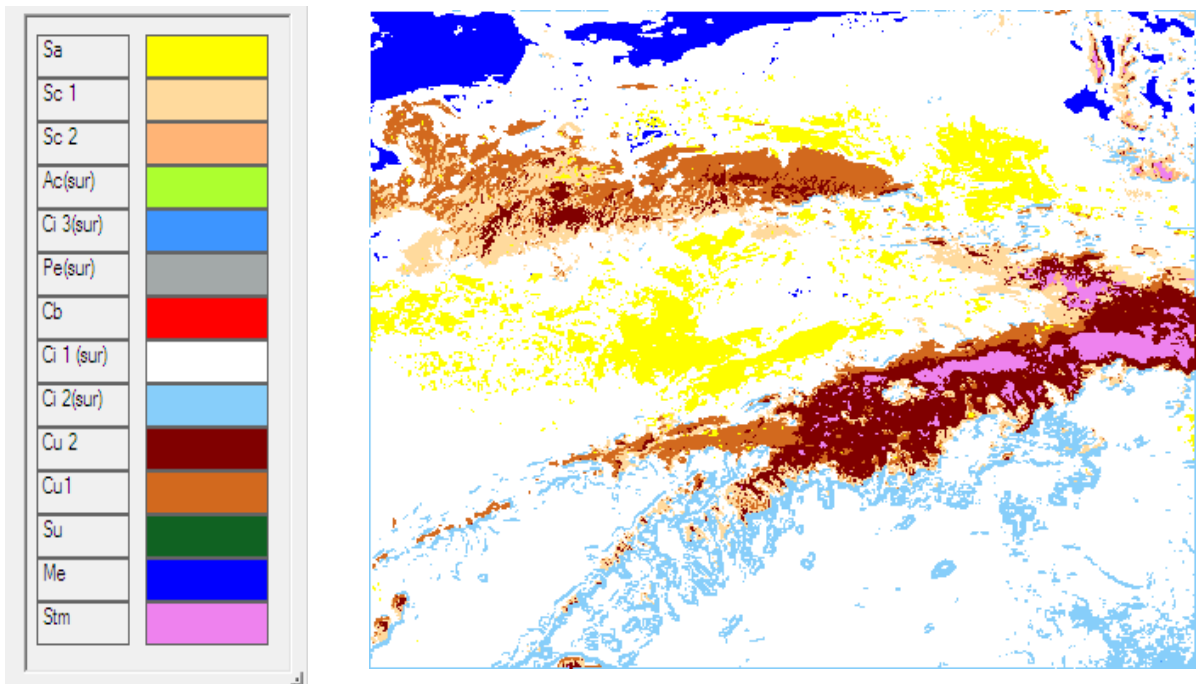


Figure V. 22 : Image 95042224 classé par le premier

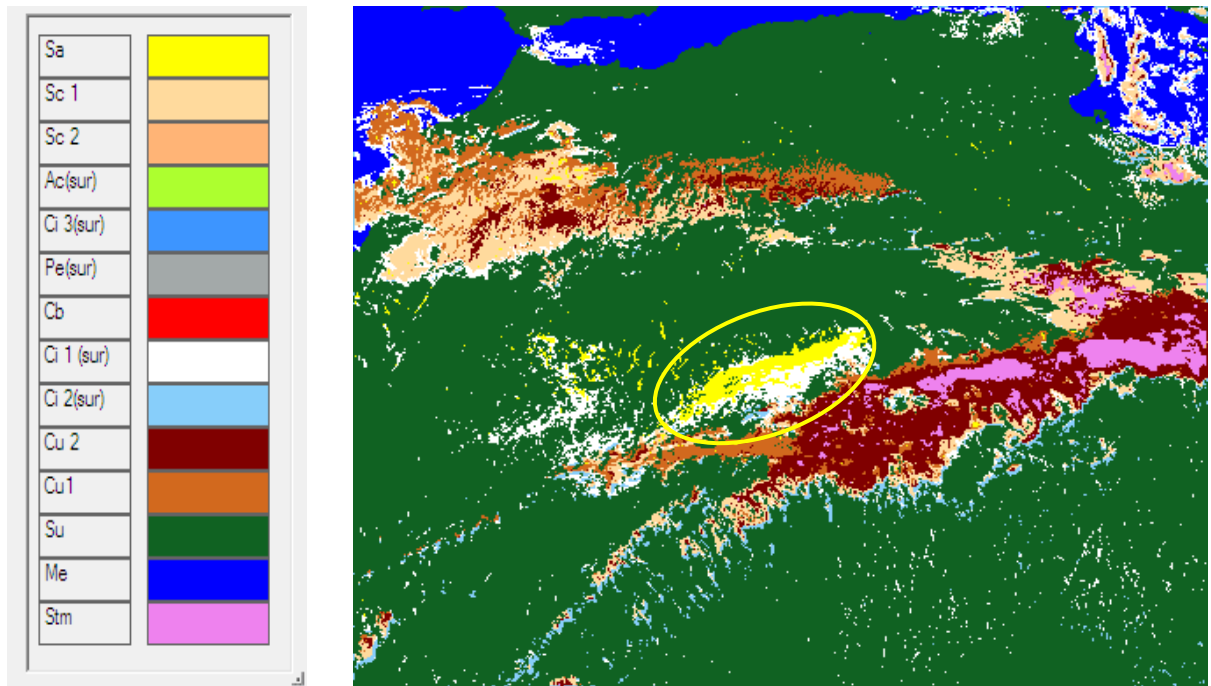


Figure V. 23 : Image 95040118.Vis classée après amélioration

• **Discussion**

Cette exemple comme ; tous les autres ; a donné les mêmes résultats que les précédents. Seulement on note la présence d'une classe très importante (voir le cercle jaune) : Il S'agit du vent de sable qui est une classe très délicate à classer.

• **Exemple 4: 95043018**

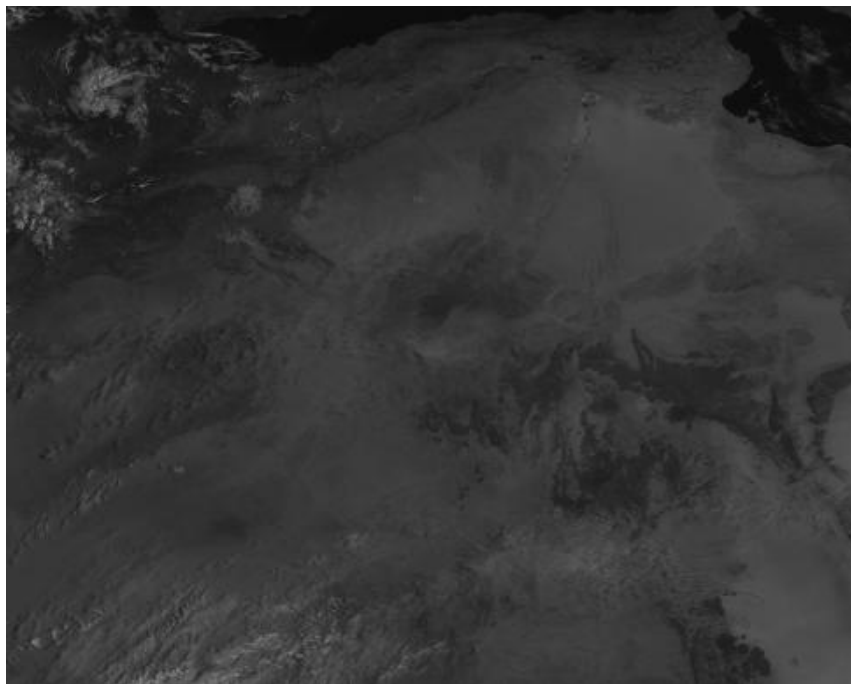


Figure V. 24 : Image 95040318.Vis

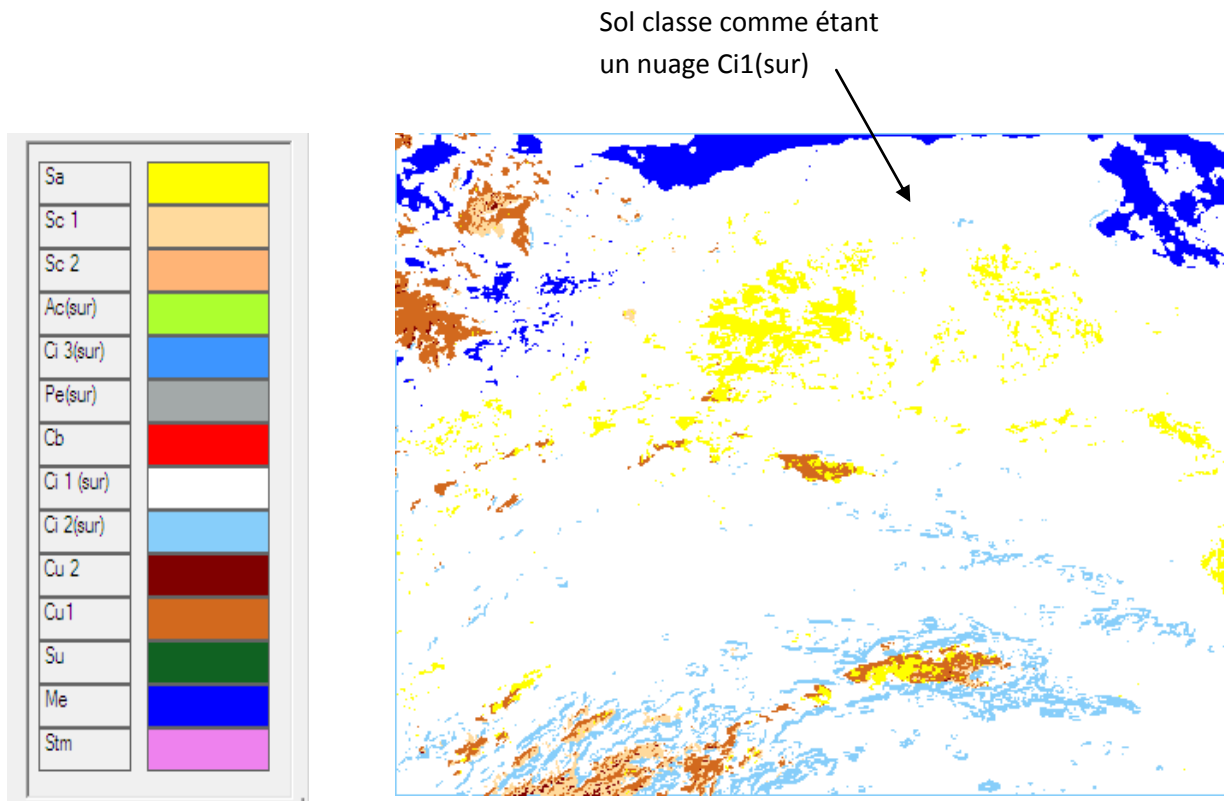


Figure V. 25 : Image 95040318 classée par le premier algorithme

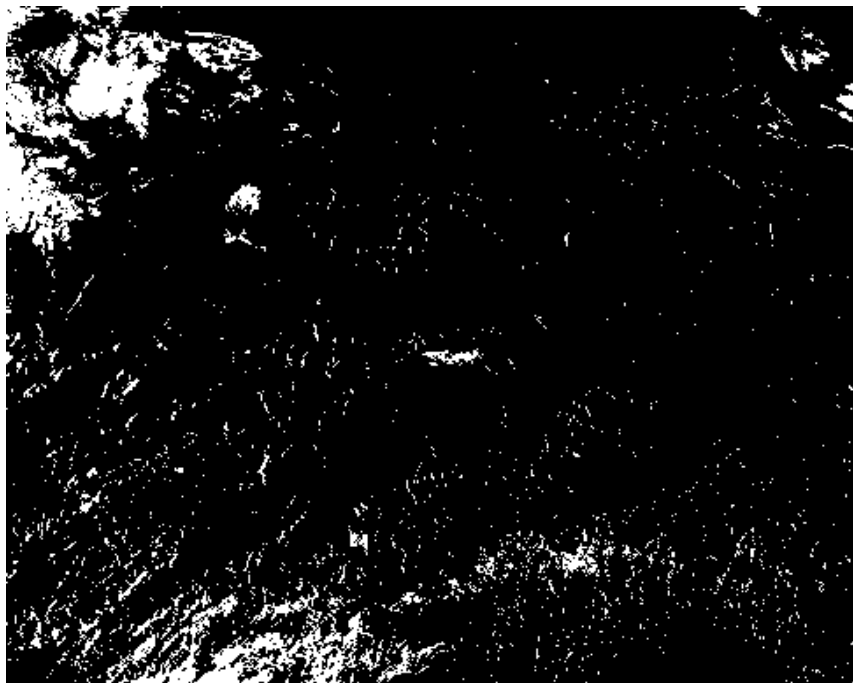


Figure V. 26 : Image ennuagement 95040318

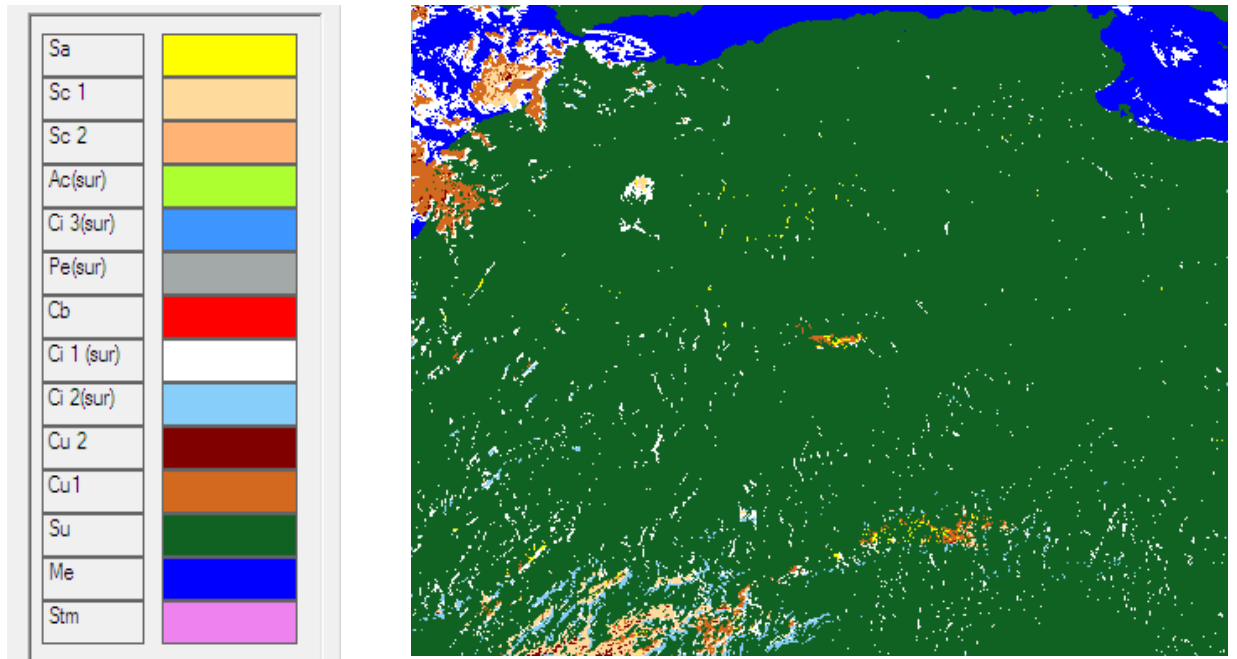


Figure V.27 : Image 95040318. Classée après amélioration

• **Discussion**

L'image 95040318 .Vis représente globalement un état à ciel clair .On note Absence du nuage .Nous remarquons toujours le sol classé comme étant nuage par le premier algorithme (voir Figure V.25). Par contre la deuxième méthode à bien classe le sol et les nuages.

• **Exemple 5 : Image 95090318**

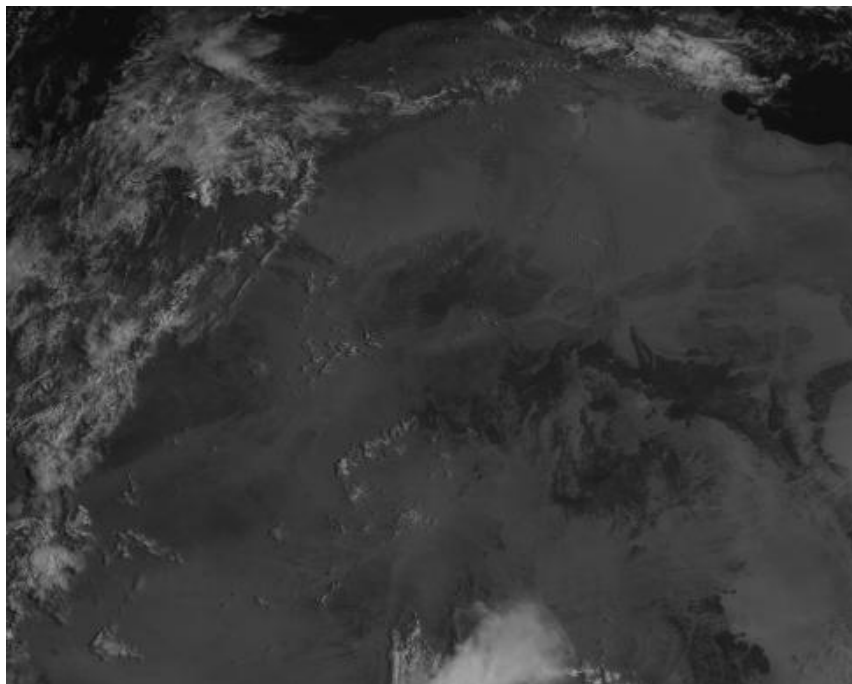


Figure V. 28 : Image 95090318 .Vis

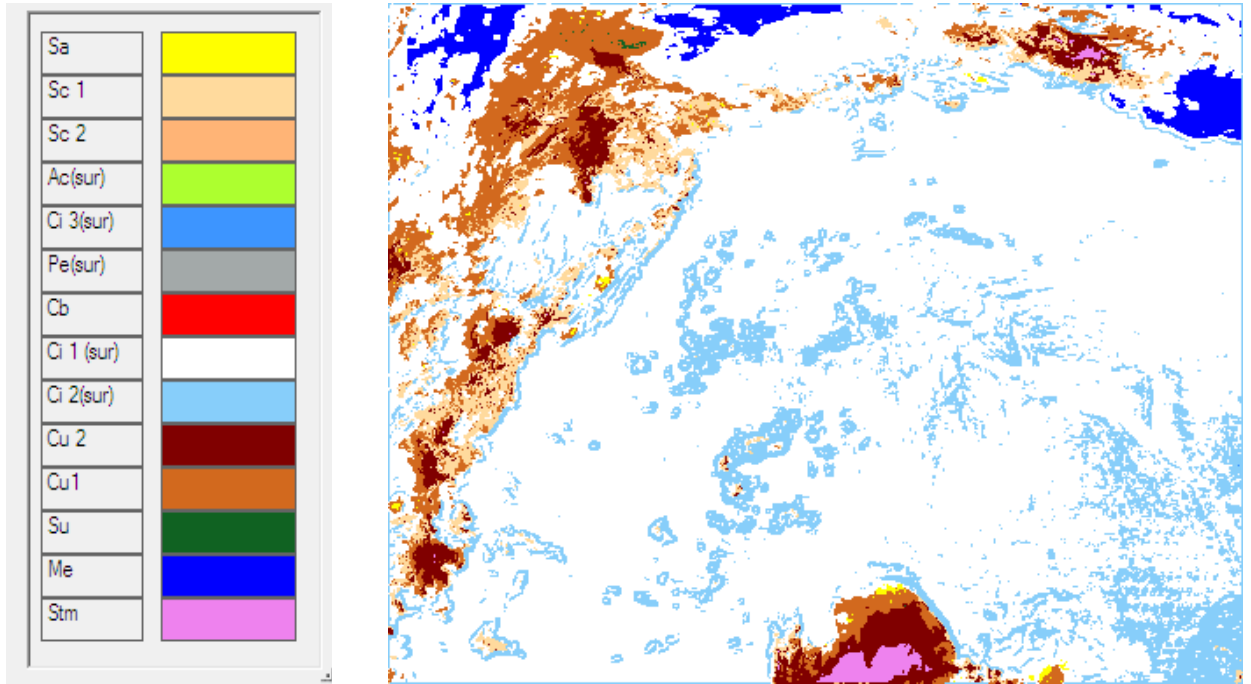


Figure V. 29 : Image 95090318 classée par le premier algorithme

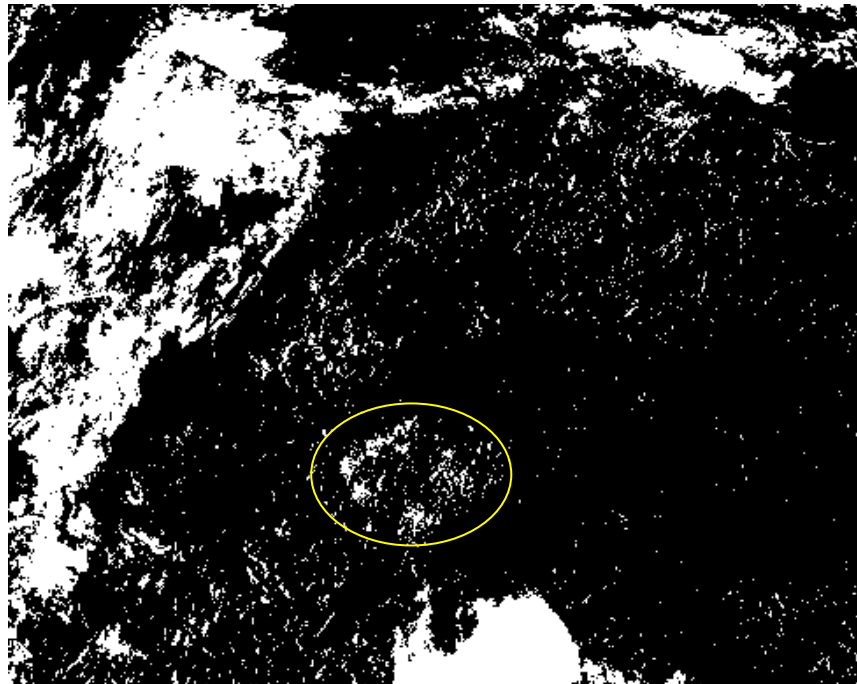


Figure V. 30 : Image ennuagement binaire 95090318

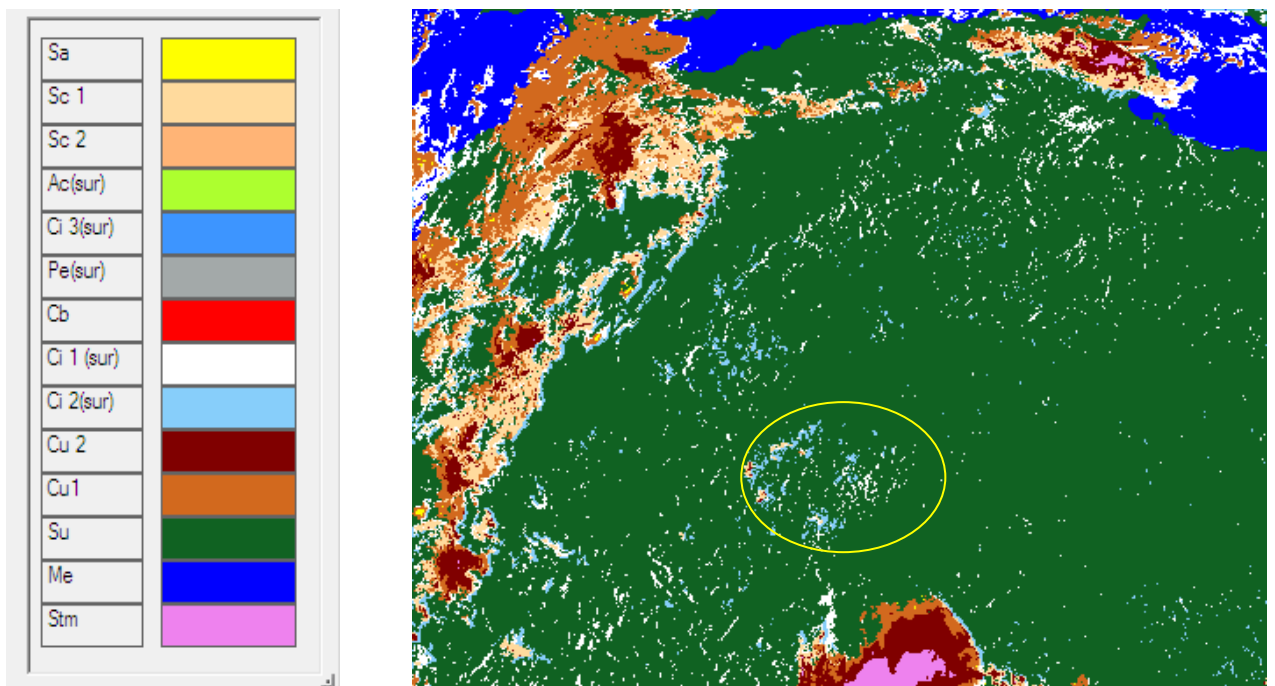


Figure V. 31 : Image 95090318 classée après amélioration

• Discussion

Les résultats obtenus sont semblables aux résultats précédents. Nous constatons que la deuxième méthode classe même les masses légères (voir cercle jaune).

• Interprétation

Nous avons marqué dans les exemples précédents que le premier algorithme présente un inconvénient majeur : La confusion de classes. Le sol est considéré comme étant un nuage. Ceci est dû au fait que l'étape d'affectation est prédéfinie par la fonction distance minimale. Cette fonction a favorisé les classes du nuage par rapport au sol car la distance entre les points du sol et les noyaux de ces classes est minimale. L'interprétation de ce résultat est évidente : l'algorithme est appliqué automatiquement sur toute l'image, c'est-à-dire qu'il n'utilise aucune information préalable pour savoir où les nuages sont situés. La présence de cette information s'avère donc nécessaire.

Dans le deuxième algorithme, ce problème est réglé par l'utilisation des images ennuagement.

On conclut, L'enuagement a donné un résultat important dans la classification des nuages.

• **Temps d'exécution**

Nous avons noté aussi une amélioration considérable dans le temps d'exécution. Le tableau V.8 montre le temps d'exécution marqué pour les deux méthodes, pour L'échantillon précédent :

Image(en index)	Temps d'exécution pour la 1ere méthode en(s: ms)	Temps d'exécution pour 2eme méthode en(s : ms)	Temps gagné en(s : ms)
95050430	42:481	19:598	22 : 883
95042224	42:300	14:220	28 : 80
95040118	40:888	10:344	30 : 544
95040318	39:106	03:835	35 : 270
95090318	45:144	09:313	35 : 831

Table V. 8 : Temps d'exécution

Nous remarquons que le temps d'exécution pour la première méthode est presque le même pour les 5 images contrairement à la deuxième méthode ou le temps d'exécution varie d'une image à une autre.

Nous remarquons aussi que le temps d'exécution pour la deuxième méthode est plus réduit par rapport à la première méthode.

• **Interprétation**

Le premier algorithme traite tous les pixels de l'image de la même façon. Ce qui prend beaucoup de temps dans les calculs des distances de tous les pixels de l'image traitée, par cotre la deuxième méthode ne procède pas directement a la classification des pixels, mais il test d'abord si le pixel est nuageux (utilisation des images ennuagement), si oui il calcule les distances par rapport aux noyaux pour l'affecter a un des types du nuage. Autrement le pixel est affecte directement a sa classe : sol ou mer (utilisation de l'image ciel clair). Il ya donc optimisation du calcul qui implique la réduction de temps d'exécution.

En conséquence, le temps d'exécution varie en fonction de l'image ou plus exactement en fonction de la quantité du nuage présente sur l'image. Plus ce volume est grand, plus le

nombre de pixel à traiter par l'algorithme de minimum de distance est grand et plus le temps augmente et vis versa.

- **Exemple** : soient les deux images suivantes : 95040318.vis et 95050430.vis

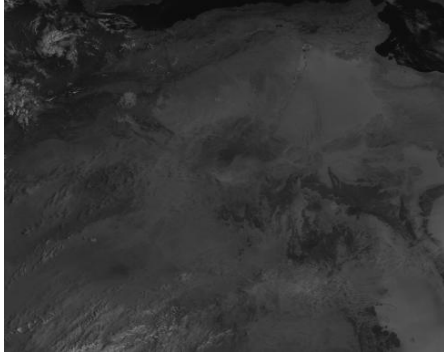


Figure V. 32 : Image 95040318.vis

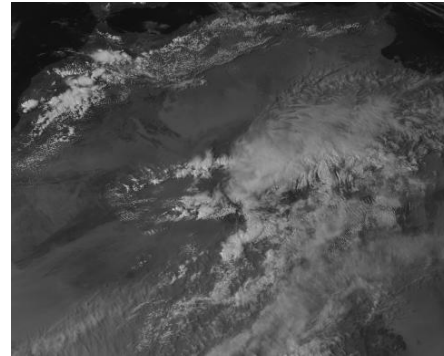


Figure V. 33 : Image 95050430.vis

L'image **95050430** présente une masse nuageuse importante par rapport à l'image 95040318, ceci influe Le temps d'exécution qui diffère grandement après application du deuxième algorithme (3:835 ms pour l'image 95040318 ,19 :598 ms pour l'image 95050430).

L'introduction de l'image ennuagement nous a permis de forcer la classification. Les résultats étaient bons puisque les problèmes du premier algorithme ont disparu. L'ennuagement joue donc un rôle essentiel dans la classification du nuage.

V.5. Intégration des données images dans la base des données météorologiques

Nous avons deux types de données, les données météorologiques qui nous avons modélisées dans la section précédente et les données images qui sont :

- Le compte numérique du pixel(Compt_Num),
- La valeur de l'ennuagement (Enu),
- le type de nuage obtenu par la méthode de classification,
- le rayonnement (direct, diffus, global) calculer pour un pixel de l'image définit par ces coordonnées géographiques (latitude, longitude) et coordonnées images (x, y),

Nous remarquons que ces données dépendent avec les images météo, comme les images sont identifiées par la date et l'heure, donc ce sont des données horaires (plusieurs images par jour),

ainsi qu'avec les coordonnées géographiques du pixel traité. D'après ces propriétés une nouvelle entité doit être introduite dans le MCD des données météorologiques (chapitre IV). Il faut donc rectifier le MCD afin d'introduire ces paramètres. Donc notre MCD devient comme suit :

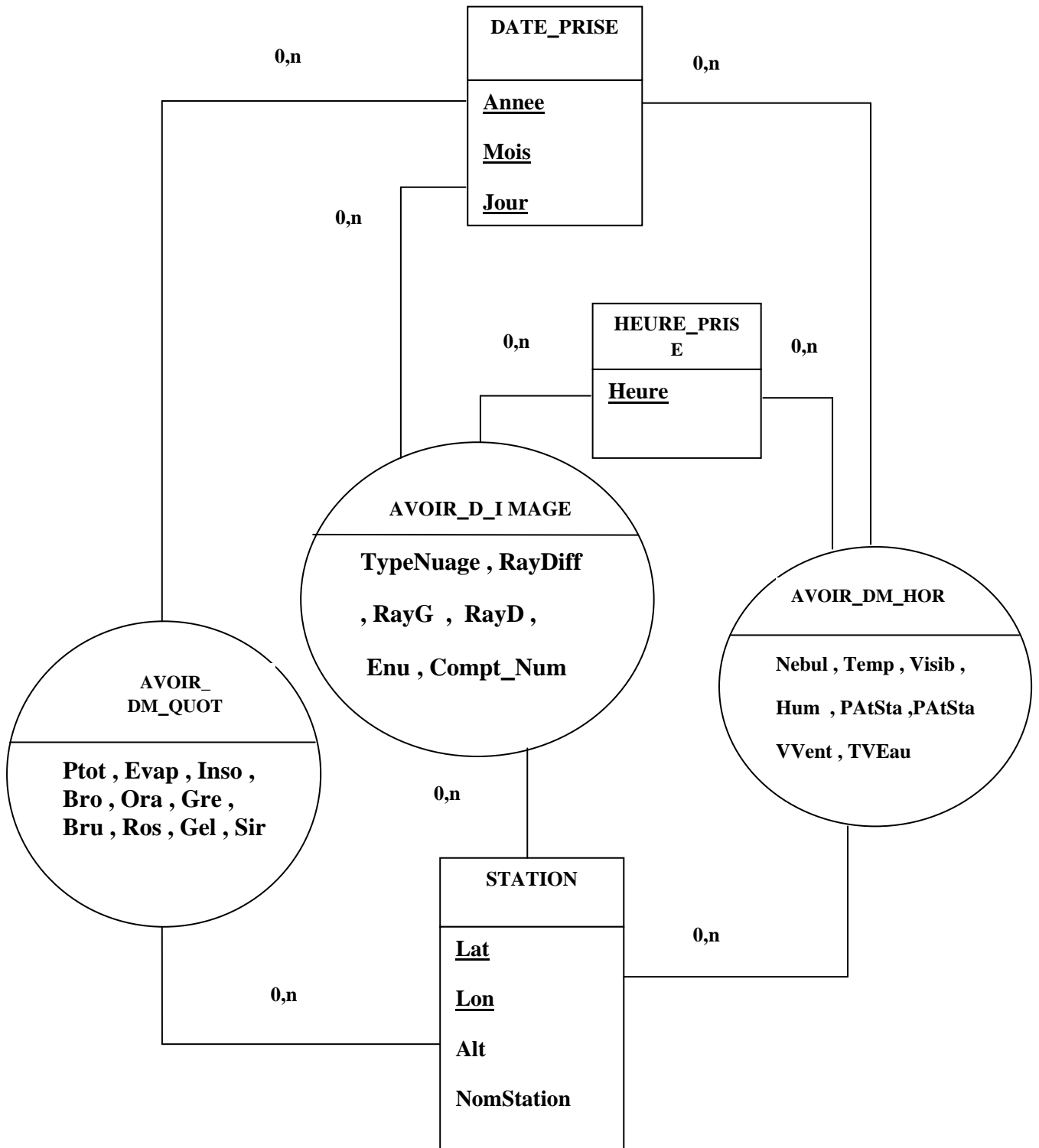


Figure V.34 : le nouveau MCD des données météo.

Les model logique de données(MLD) maintenant devient comme suit :

- la table des station : **Station (Lat , Lon , Alt , NomStation).**
- La table des données météorologiques horaires : **AVOIR_DM_HOR (Lat , Lon , Année , Mois , Jour , Heure, Nebul , Temp , Hum , PAatMer , PAatSta , Visib , VVent , TVEau).**
- La table des données météorologiques quotidiennes : **AVOIR_DM_QUOT (Lat , Lon, Année , Mois , Jour , Ptot , Evap , Inso , Bro , Ora , Gre , Bru , Ros , Gel , Sir).**
- La table des données images : **AVOIR_D_IMAGE (Lat , Lon ,Annee , Mois , Jour , Heure , TypeNuage , Enu , Compt_Num , RayDiff , RayG , RayD).**

La structure de la nouvelle table « TableDImage » est la suivante :

Num champ	Nom du champ	Type de champ	Taille du champ
01	Annee	Texte	04
02	Mois	Texte	02
03	Jour	Texte	02
04	Heure	Numérique	04
05	TypeNuage	Texte	10
06	Compt_Num	Numérique	03
07	Enu	Numérique	03
08	RayDiff	Numérique	Réel double
09	RayG	Numérique	Réel double
10	RayD	Numérique	Réel double
11	Lat	Numérique	Réel double
12	Lon	Numérique	Réel double

Tableau V.9 : Description de la table des données images « TableDImage ».

V.6.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la spécification des différents éléments constituant notre système c'est-à-dire la spécification des deux bases de données utilisées ainsi que les différents traitements concernant les images traitées et les données météorologiques et en fin nous avons intégrés les deux types de données et images et météorologiques dans une seule base de données. Nous avons introduit un nouveau paramètre pour augmenter l'efficacité de la méthode utilisée pour identifier les types de nuages.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est le développement d'un outil de gestion de base de données des images satellitaires METEOSAT et les données Météo. Pour atteindre cet objectif on a créé les deux bases de données, images et données météorologiques. On suite on a commencé par le traitement des images Météo, on a calculé les rayonnements et les types de nuages (classification) qui sont des données importantes qui doivent être intégrées dans la base de données météo. Pour intégrer les données météorologiques sur les images Météo, on a géoréférencé ces images c'est-à-dire à chaque pixel de l'image on a associé ces coordonnées géographiques (latitude et longitude).

Pour le calcul de la structure nuageuse présente sur les images Météo(ou classification), on a utilisé la méthode proposée par Météo-France qui utilise les quatre images suivantes : image vis, images ir, image variance vis et image variance ir. Une analyse et discussion des résultats pose des problèmes tels que la classification du sol nu comme étant un nuage.

On a proposé une amélioration de la méthode précédente par l'introduction de l'image ennuagement avec les quatre images précédente ce qui a donné un résultat acceptable.

Ce travail mérite d'être continué avec les images MSG.

ANNEXE

1. Présentation du logiciel ShamSat

ShamSat est un logiciel de traitement des images satellitaires Météosat de format TIFF codées sur 8bits. L'environnement de développement de ShamSat est Microsoft visual studio 2008 a l'aide du langage de programmation CSharp (C#).

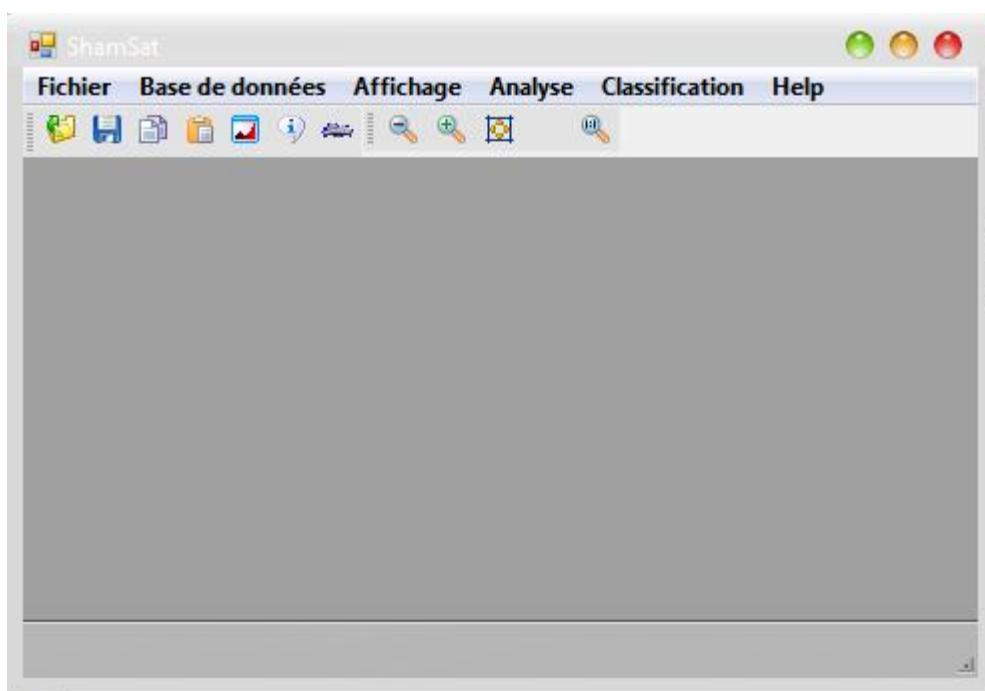
Il fonctionne sous le système d'exploitation Windows.

ShamSat utilise une base de données Access qui contient plusieurs tables de données (table images Météosat, de la table des données météorologiques,..). Il fait plusieurs traitements simples sur les images Météosat (affichage, binarisation, histogramme, modification de la taille,...) et des traitements sur les paquets des images (ennuageant, calcul l'image a ciel clair et l'image a ciel nuageux, classification,...).

ShamSat intègre les deux bases de données images et données météorologiques (géo-référencé).

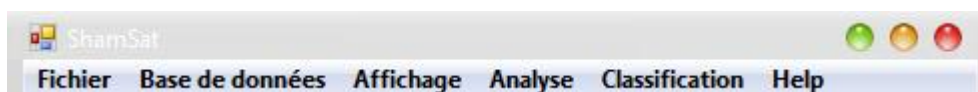
2. Fenêtre principale

La fenêtre principale contient une barre de menu, deux barres d'outils et une barre d'état.



3. Barre de menu

Elle contient avant le chargement d'une image la barre suivante :



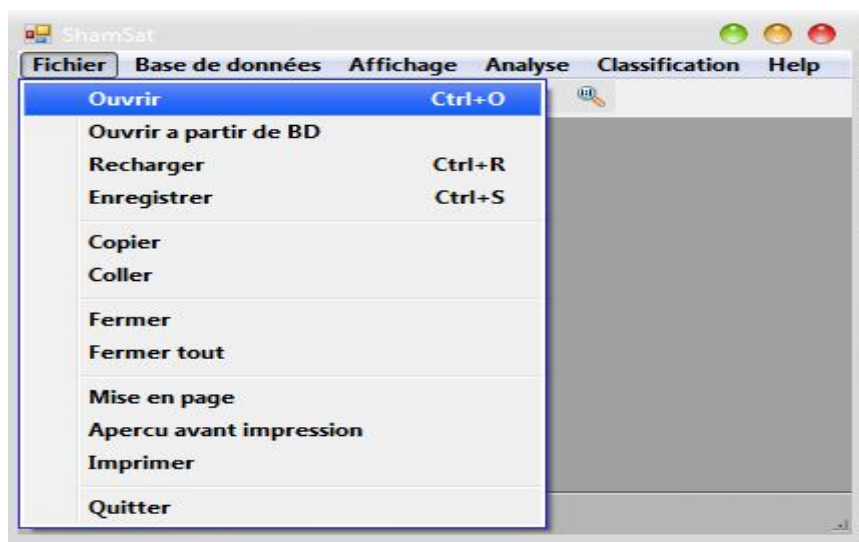
Mais après le chargement d'une image, il devient comme suit :



4. Menu Fichier

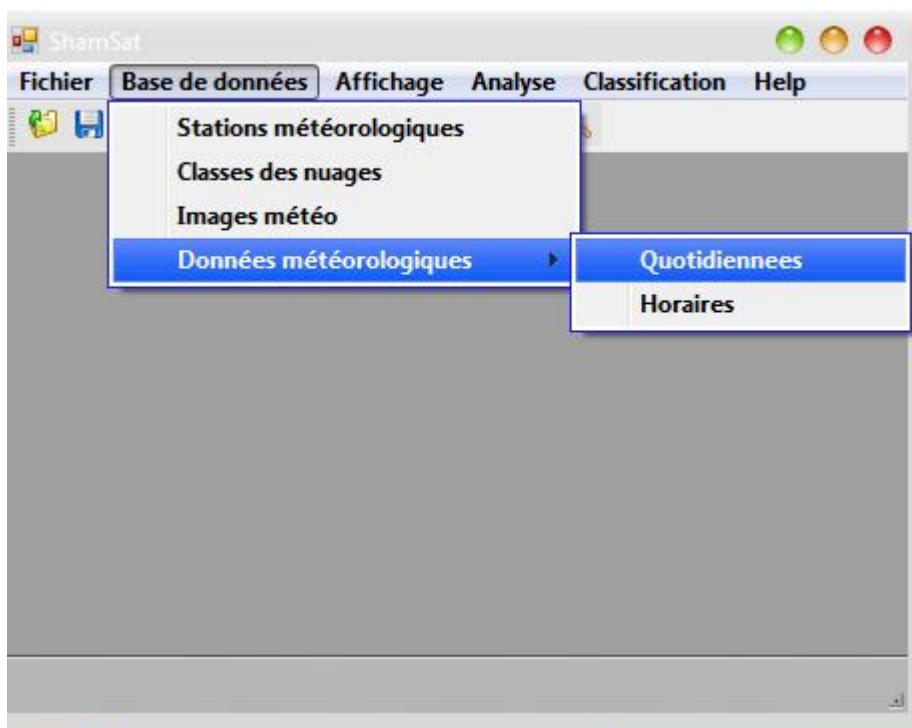
Contient les commandes usuels (ouvrir, enregistre, copier,...) et deux autres commandes qui sont:

- Ouvrir a partir de BD : permet de charger une image a partir de la base de données.
- Recharger : permet de charger l'image courante à nouveau.



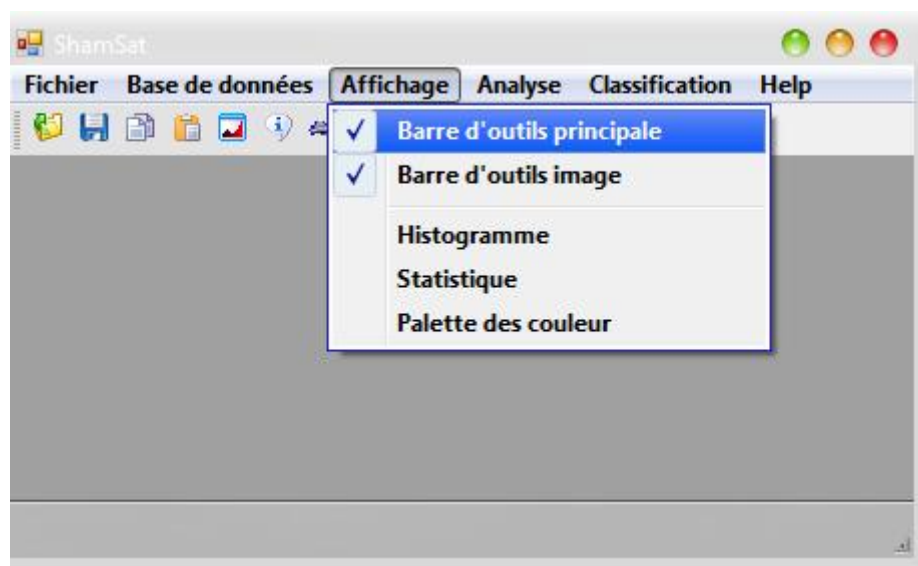
5. Menu Base de données

Ce menu contenant les différentes commandes de gestions des bases de données : Stations météorologiques, Classes des nuages, Images météo, Données météorologiques quotidiennes, Données météorologiques horaires.



6. Menu Affichage

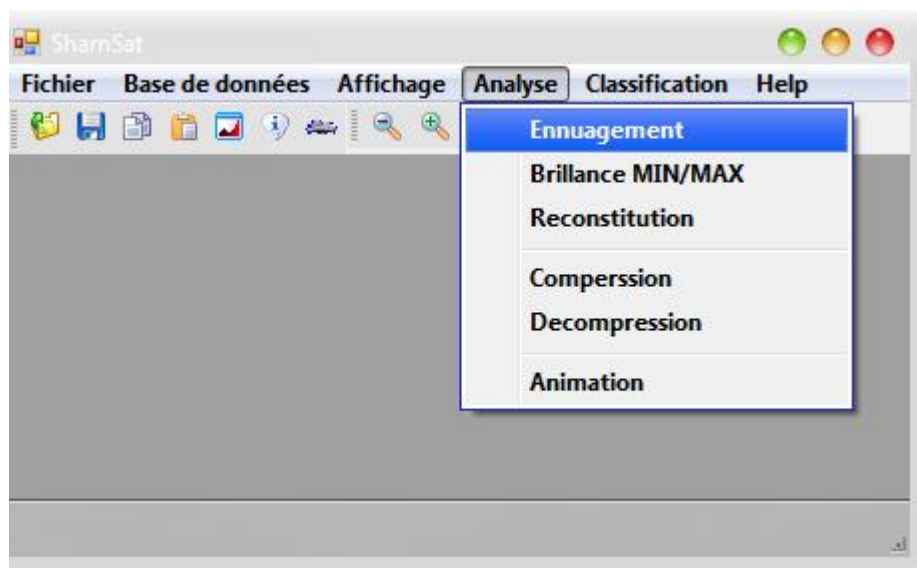
Permet la visualisation des barres d'outils, l'histogramme, Statistique et la palette de couleurs des classes du nuage.



7. Menu Analyse

Contenant les commandes suivantes :

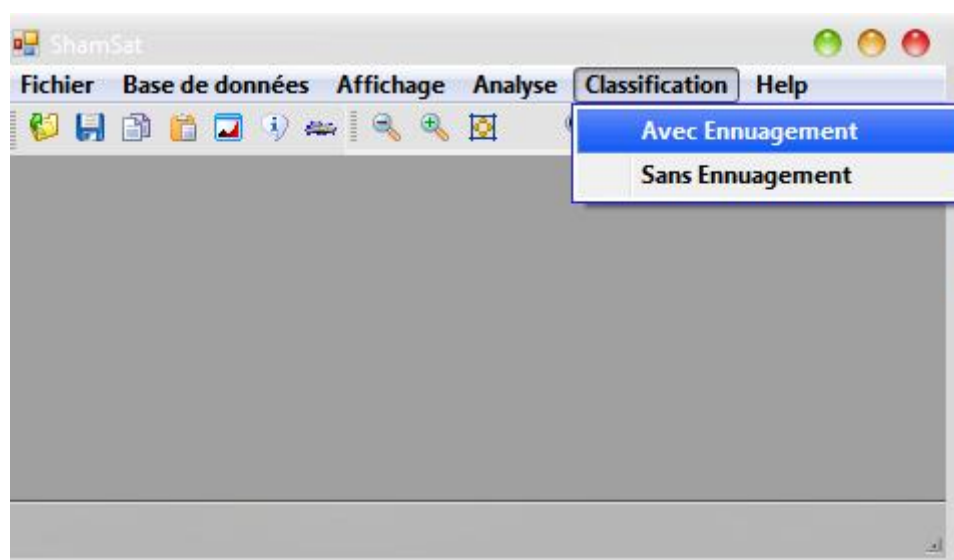
- Ennuagement : Produit les images annuagement ainsi que les brillances pour chaque canal et heure à partir d'un paquet des images brutes.
- Brillance MIN/MAX : Produit les brillances maximales et minimales d'une période fixée pour chaque heure.
- Reconstitution : reconstitue les images brutes à partir des images annuagement et images des brillances minimales/maximales.
- Compression : la compression d'un dossier des images pour réduire l'espace du stockage.
- Décompression : fait l'opération inverse de la commande Compression.
- Animation : il fait l'animation des images brutes d'une période et d'un canal donne.



8. Menu Classification

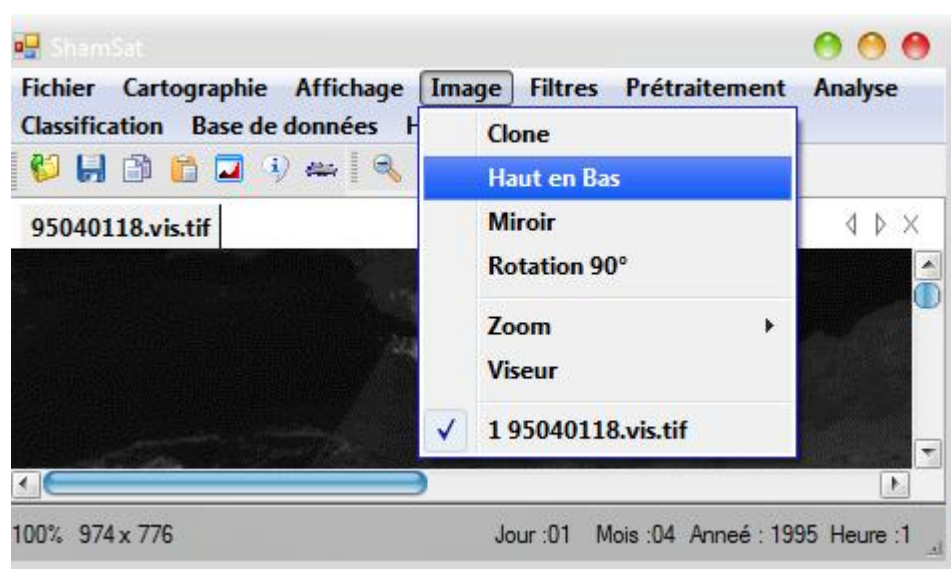
Contenant deux commandes :

- Avec Ennuagement : permet de classer les images par l'utilisation des images annuagement.
- Sans Ennuagement : permet de classer les images sans l'utilisation des images annuagement.



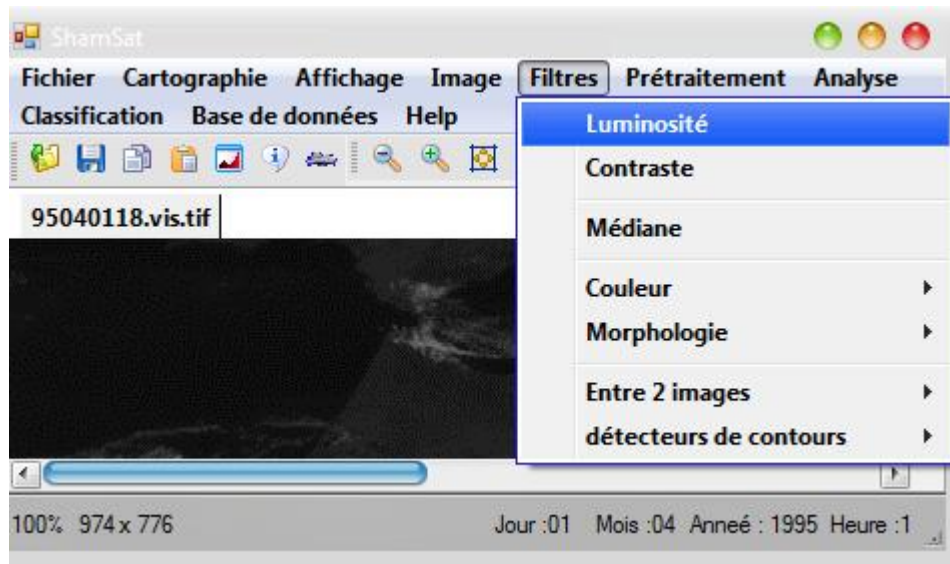
9. Menu Image

Ce menu affiche les informations concernant l'image courante et permet d'améliorer l'apparence de l'image.



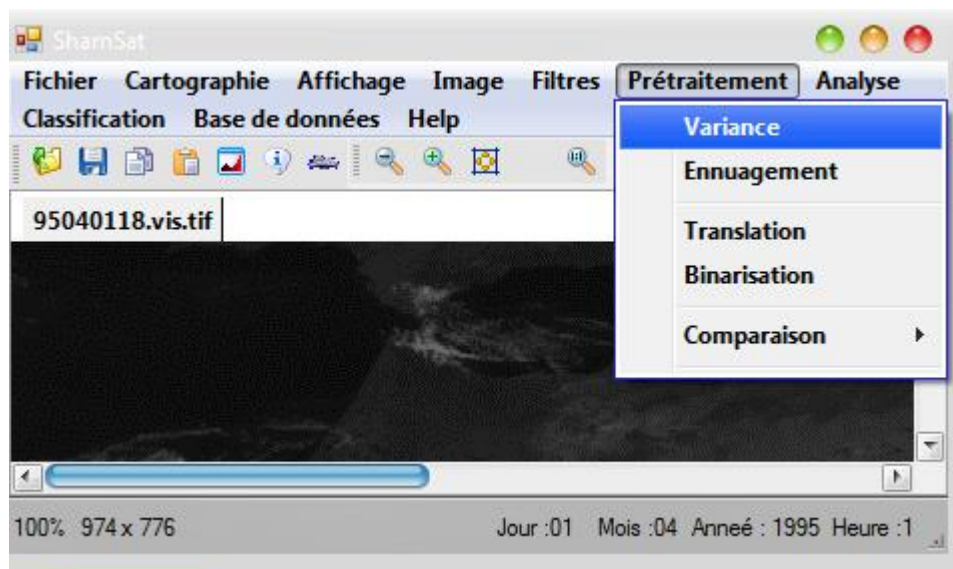
10. Menu Filtres

Ce menu contenant les différentes commandes permettant d'améliorer la visualisation d'une image, ainsi que la morphologie mathématique.



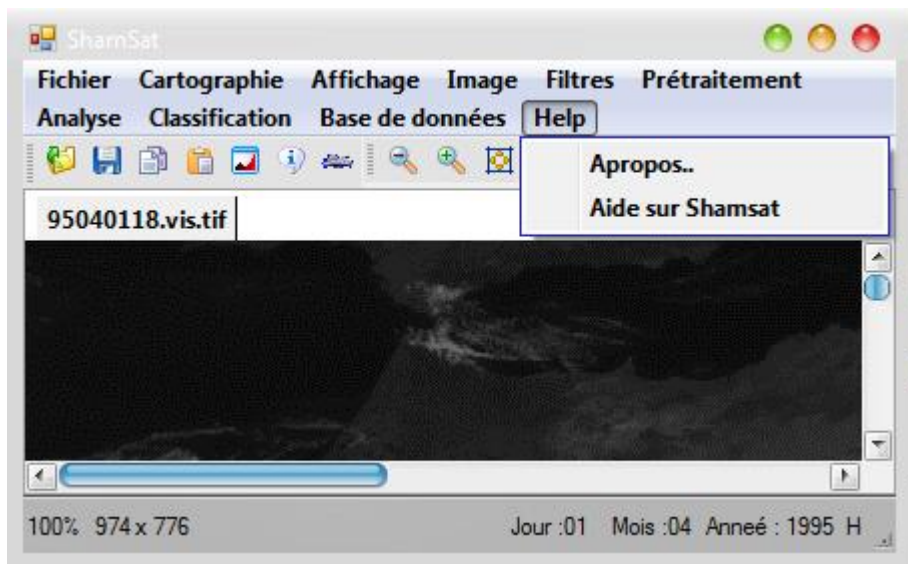
11. Menu Prétraitement

Ce menu offre les différentes commandes de prétraitement des images afin d'utiliser les images résultats dans les autres traitements.



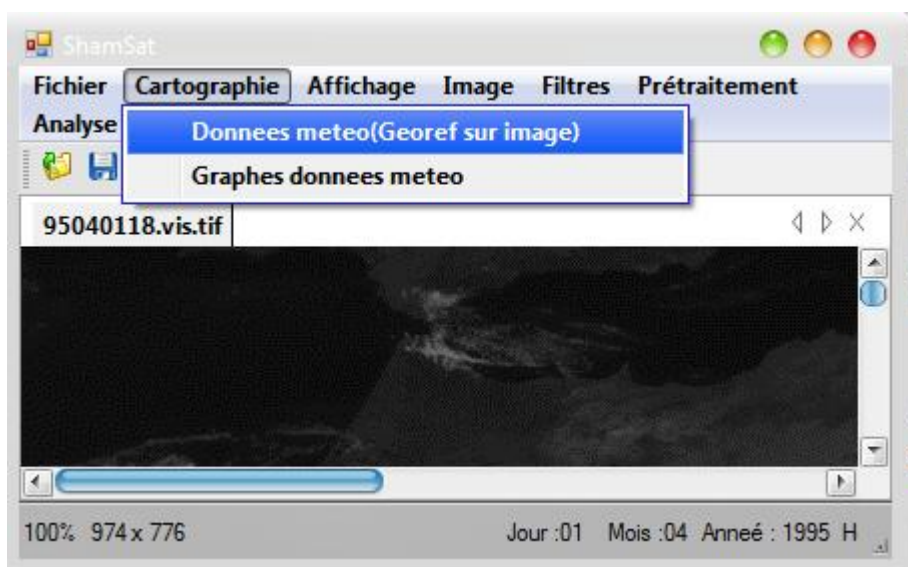
12. Le menu Help

Offre deux commandes : une commande permet d'afficher une fenêtre d'infos du logiciel et l'autre l'aide sur le logiciel.



13. Le menu cartographie

Ce menu permet d'afficher les données météorologiques sur l'image et présente les graphes des données météorologiques



14. Barre d'outils

La barre d'outils des raccourcis de quelques traitements.



15. Barre d'état

Elle contient les informations de l'image courante: Zoom, taille de l'image, position du curseur sur l'image, date et l'heure de prise d'image, le type de l'image, latitude/longitude du pixel courante et la station courante.



BIBLIOGRAPHIE

- [LAM 07] : Lame Chémery Ed Larousse « Le petit atlas des climats », 2007.
- [DIO 07] : Eric Diot, « La météo de A à Z :, météo de France stock », mai 2007.
- [TAB 05] : Martins Tabfaud « Les climats : mécanismes, variabilités et répartition », 2005.
- [MAL 05] : Sylvie Malardel « Fondamentaux de météorologie :, 2^{ème} édition à l'école du temps », juin 2005.
- [CJD 01] : C.J. Date « Introduction aux bases de donnees, Vuibert,2001 »
- [GAR 02]: Garcia-Molina, J. D. Ullman, J. Windom, « Database Systems: the Complete Book, Computer Science Press, 2002 “
- [Gar 03] : G. Gardarin “ Bases de donnees, Eyrolles, 2003”
- [LEW 02]:P. M. Lewis, A. Bernstein, M. Kifer “ Databases and Transaction Processing, An Application- Oriented Approach, Addison- Wesley, 2002”
- [MEL 02]: J. Melton, A. R. Simon “SQL: 1999 Understanding Relational Language Components, Morgan Kaufman Publishers, 2002”
- [BAC 99] : N.Bachari « Methodologie d'Analyse de donnees satellitaires en utilisant swa donnees multi-sources » these Doctorat d'etat es-Siences, USTO 1999.
- [BIJ 81] : Bijaoui A. «Image et Information (introduction au traitement numeriques des images » Masson, 1981.
- [CPA 76] : C. Pastre « Meteosat : La difusion des donnees » , meteorologie VI^{eme} serie, N°4, P 29-35, Mars 1976.
- [Dan 83] : Daniel Cano, « Traitement des donnees du datellite Meteosat ; Detection automatique des nuages » , Contrat CEE N° 008F(G), Rapport d'avancement N° 6, 1983.
- [FAR 92]: Farki B., DAGORNE DOMINIQUE, GUILLOT BERNARD, LE BORGNE P, MARSOUIN A. « Classification des nuages sur l'Afrique a l'aide de Meteosat 4 : Classification of clouds aver Africa with Meteosat 4. Veille Climatique Satellitaire, 1992, p. 54-77.

- [FAY 96]** : Fayyad U., Piatetsky G. et Smyth P. « From Data Mining to Knowledge Discovery : An Overview ». In Fayyad U., Piatetsky- Shapiro, G., Amith, Smyth P., and Uthurnsamy R. (eds), *Advances in Knowledge Discovery and data Mining*, MIT Press, 1-36, Cambridge, 1996.
- [FLO87]** : F. Floyd and Jr. Sabins “ Remote sensing principale and interpretation”, 2nd, edition 1987.
- [FRC76]** : F. R. Cayla “ Metaosat: Extraction des donnees numeriques a la station central », meteorologie VI^{eme} serie, N^O 4, p 17-28 Mars 76.
- [JAC 82]** : Jaques Perio « Meteorologie Spatiale », Cours et manuel N^O 1, Edition ministere des Transport, Direction de la meteorologie, Juin 1982.
- [QUI 93]** : J. R. Quinlan. « C4.5 : Programs for Machine Learning. Morgan Kaufman publisher San Mateo, Ca, 1993.
- [MAR 90]** : Marta Space “ Station reception de donnees SRD 12064B” , Manuel d’utilisation, Edition 1 , Mars 1990.
- [SIM 96]**: Simoudis E. “ Reality Ccheck for Data Mining” IEEE, V. 11, N^O 5. P. 20-25 , Octobre 1996.
- [TEK 91]**: Teckor, “ BUL: Processing system for satellite data” version 3.6 Bradford University Research Ltd, Nouvember 1990.
- [ZIG 03]**: Zighed D. A. “ Extraction de connaissance a partir de donnees (ECD) », In *Techniques de l’ingenieur*, H3744, 2003.’
- [CON 77]**: R.C.GONZALES , P.WINTZ « ‘Digital Image Processing’ -Addison Wessley – », 1977.
- [LAH 93]** : S.LEPSOY ‘Attractor image compression, fast algorithms and comparisons to related technics.’, Thèse PhD juin 1993
- [KUN 93]** : M.KUNT ‘Traitement numérique des images.’ Vol.2 , 1993.

Sites Web

[WEB 1]: <http://sig.net.free.fr/cours/intro.htm>

[WEB 2]: <http://sports-sante.com>

[WEB 3]:

[http://comprendre.meteofrance.com/jsp/site/Portal.jsp?&page_id=2848&document_id=1069
&portlet_id=1780](http://comprendre.meteofrance.com/jsp/site/Portal.jsp?&page_id=2848&document_id=1069&portlet_id=1780)

[WEB 4]: [http://www.cepralmar.org/documents/realisation-d-une-base-de-donnees-sur-les-
recifs-artificiels/rapport_technique_BD.pdf](http://www.cepralmar.org/documents/realisation-d-une-base-de-donnees-sur-les-recifs-artificiels/rapport_technique_BD.pdf)