

OUTILS DU CHANGEMENT D'ECHELLES EN TELEDETECTION ASPECT RADIOMETRIQUES ET SPATIAUX

DAGORNE D.

RESUME

Pour de nombreux paramètres d'environnement, l'approche par télédétection est la seule qui puisse réaliser une couverture spatio-temporelle suffisante pour la connaissance de ces phénomènes. La source de donnée satellitaire présente en effet un large éventail d'échelles d'études qui par diverses méthodes physiques et statistiques permettent l'obtention de valeurs géophysiques et leur validation. Nous présentons des outils méthodologiques développés pour répondre à la superposition géométrique de données satellitaires et spatialisées, de résolution et de couverture différentes. L'ensemble de ces techniques, préalable à l'utilisation "multi-sources", est mise en oeuvre au sein d'outils informatiques, indépendants de la thématique considérée. Divers exemples tirés de programmes de recherches et d'exploitation opérationnelles illustrent nos propos.

I INTRODUCTION

Pour de nombreux phénomènes de l'environnement, qu'ils soient atmosphériques, océaniques ou continentaux, l'approche par télédétection a révolutionné au cours de la décennie passée les communautés scientifiques et opérationnelles de diverses sciences. Ceci a été réalisé à partir des moyens d'observations satellitaires tant "météorologiques" (géostationnaires et défilants) en climatologie, météorologie, océanographie, hydrographie, que "d'observation de la terre" (LANDSAT, SPOT...) pour l'occupation des sols, l'agriculture, le littoral, l'urbanisme..etc .

Pour les études globales d'environnement, les mesures par satellites sont en effet les seules qui puissent à la fois réaliser une couverture spatiale suffisante, particulièrement dans des régions dépourvues de systèmes d'observation, et à des pas de temps acceptables pour des études dynamiques et sur des périodes continues. La connaissance de ces phénomènes est indispensable pour de multiples applications.

Les satellites sont conçus pour répondre à des spécifications d'observations définies par les utilisateurs. Ce choix d'échelles d'utilisations, tant spectrales, spatiales que temporelles est lié aux caractéristiques orbitales et instrumentales des moyens satellitaires. D'abord utilisées "qualitativement" à l'aide de techniques de "photo interprétation", ces données sont de plus en plus employées à la restitution de valeurs quantitatives, dans leurs composantes radiométrique et spatiale. En effet pour de nombreux phénomènes, ces valeurs doivent être quantifiées en mesures "géophysiques", puis exploitées, éventuellement avec d'autres sources de données, afin de produire des documents cartographiques utilisables par les spécialistes du domaine concerné. Ceci implique plusieurs transferts d'échelles, dont nous détaillerons certains aspects.

Pour nos applications, au sein d'une équipe de recherche utilisant les moyens satellitaires météorologiques, ces méthodes sont mises en oeuvre au moyen d'un logiciel de traitement de données, avec un accent particulier sur les outils géométriques permettant l'utilisation de méthodes "multisources" (multiéchelles). Divers exemples tirés de notre expérience illustreront notre propos.

II ECHELLES DE LA TELEDETECTION

La donnée satellitaire, sous la forme classique d'une image (radiomètre imageur éventuellement multicanaux) ou non ("spot" sondeur, signal sous la trace), est fonction du couple VECTEUR (orbitographie du satellite)-CAPTEUR (caractéristique de l'instrument). Ces paramètres conditionnent les échelles de la donnée dans ses composantes spectrale, spatiale et temporelle.

On rappelle ci-après les principales échelles, qui définissent les classes d'utilisation d'une telle source.

- Echelle spectrale

Tous les corps réfléchissent et émettent des flux d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. L'énergie réfléchie ou émise en fonction de la longueur d'onde, constitue la "signature spectrale" de l'objet considéré. Pour un capteur, qui effectue une mesure dans une longueur d'onde donnée (éventuellement instrument multispectrale dans plusieurs longueurs d'ondes), la signature spectrale de l'objet correspond au niveau radiométrique enregistré (niveaux numérisés et traités en Compte Numérique - CN).

Les capteurs de télédétection ne sont pratiquement utilisés que du visible aux hyper-fréquences (micro-ondes), en passant par l'infrarouge (proche, moyen et thermique), et ceci sur des fenêtres plus ou moins large et à des résolutions radiométriques variées. Cette mesure spectrale est soumise à diverses "corrections", dues à la

nature de la cible et au trajet atmosphérique du signal reçu. C'est cette mesure du rayonnement qui permet le passage vers des valeurs géophysiques.

- Echelle spatio-temporelle

Elle est conditionnée, à la fois par le capteur (résolution spatiale du point élémentaire image, amplitude de visée de l'instrument), et par les caractéristiques d'orbite du vecteur. Des limitations pratiques d'utilisation sont liées aux modes d'accès des données (acquisition directe depuis une station dans la zone de réception, enregistrement à bord et distribution à postérieurei,..) ainsi qu'à l'adéquation de l'instrument avec l'utilisation envisagée (nuage).

Pour les satellites d'environnement (ou météorologiques) on recherche une grande répétitivité : 30 minutes sur la partie du globe visée, pour un satellite géostationnaire (Météosat, GOES), 12 heures pour les satellites de la série NOAA soit soit une zone approximative de 2000 km autour d'une station d'acquisition à partir de plusieurs orbites successives. La résolution spatiale reste faible dans le visible et l'infrarouge (respectivement 2.5 et 5 Km pour Météosat, 1.1 Km sous la trace du satellite pour l'imageur AVHRR/NOAA)

Ces satellites sont également équipés de "sondeurs" infrarouge et micro-ondes (VAS, TOVS,..) qui fournissent des indications de faible résolution (spot de 20 à 150 km), mais pour de nombreuses bandes spectrales, permettant la reconstitution de profils verticaux atmosphériques de température et d'humidité.

Ces satellites fournissent ainsi, de façon continue, des informations "météorologiques" globales, à l'échelle de plusieurs centaines de kilomètres carrés, et à des pas de temps compatibles avec l'évolution des phénomènes atmosphériques globaux. Ils sont également utilisés, après décontamination des nuages, pour des phénomènes terrestres et maritimes, de variabilité temporelle plus faible sur des suites multitemporelles d'images.

Les satellites d'observation de la terre (SPOT, Landsat) ont une faible répétitivité dans le temps (plusieurs jours, plus avec les possibilités de dépointage de l'instrument), pratiquement beaucoup moins avec les limitations d'utilisation liées à la couverture nuageuse et aux conditions d'obtentions des données. Par contre il fournissent une très bonne résolution spatiale et ceci dans de nombreuses bandes spectrales (de 10m - panchromatique- et 20 m - visible/PIR - pour SPOT à 30 m et plus pour LANDSAT visible, infrarouge thermique). Ils permettent des analyses fines à des périodes données sur des surfaces de plusieurs dizaines de Km².

Il existe d'autres systèmes spatiaux combinant divers instruments suivant les techniques passives (radiomètre) ou actives (radar imageur, diffusiomètre,..). Ceux-ci sont soit expérimentaux et arrêtés

(SEASAT, NIMBUS7), soit en projet (ERS1, SPOT3,...), soit non disponibles (DMSP, MOS,...). Aussi pour des applications immédiates et un suivi permanent de l'environnement à échelle globale ou régionale, l'accès aux données des satellites météorologiques opérationnels est un moyen de travail irremplaçable.

III CHANGEMENT D'ECHELLE SPECTRALE RESTITUTION DES PARAMETRES GEOPHYSIQUES

La valeur numérisée du "pixel" image (CN) est une mesure radiométrique de la cible visée au sommet de l'atmosphère et à un instant donnée. Cette mesure est spatialement et radiométriquement "intégrée" par l'angle instantané de visée (IFOV), et la bande spectrale du capteur considérée. Après calibration du signal, la reconstitution d'un paramètre "géophysique" nécessite l'utilisation de modèles radiométriques et énergétiques. Il est habituel de classer ces paramètres en trois classes de complexités croissantes: paramètres primaires reliés directement à la radiance mesurée (réflectance, température de surface,...), paramètres secondaires en relation avec un processus physique à la surface tel l'humidité du sol, l'inertie thermique, et quantités tertiaires indirectes telles la production de bioamasse, l'évapotranspiration moyenne, ...

III-1 Calibration

Il existe une relation entre le CN mesurée et la valeur radiométrique enregistrée, par le biais d'un coefficient de calibration propre au capteur, si celui-ci est disponible. On peut ainsi restituer les valeurs radiométriques de base avec des tables fournies par le constructeur et la connaissance de paramètres régulièrement entretenus lors de la durée de vie du capteur (visée espace, "corps noir", ...)

Par exemple pour les satellites météorologiques on obtient dans le visible la valeur du pourcentage d'albédo et dans l'infrarouge thermique une valeur "radiance" ($W/m^2 \cdot str$) convertible en température radiative. Ces valeurs entre satellites géostationnaires différents sont inter-calibrées par le biais d'un satellite défilant unique.

III-2 Méthode déterministe

Pour extraire du signal qui est reçu par le satellite l'information spectrale relative à la cible, il est indispensable de mettre en oeuvre des méthodes de correction des données atmosphériques (paramètres primaires). La connaissance du trajet cible/capteur permet l'extraction d'informations sur les interactions des

rayonnements électromagnétiques avec les constituants de l'atmosphère (diffusion par les gaz, diffusion atmosphérique due aux molécules et aux aérosols dans le spectre visible, rayonnement atmosphérique dans l'infrarouge). Les conditions de visée, angles solaires et satellitaires à l'instant de la mesure, doivent également être connues.

L'extraction d'un paramètre géophysique secondaire ou tertiaire nécessite en plus de la connaissance purement radiative du signal, des conditions supplémentaires et des modélisations du phénomène étudié. L'objet visé doit être connu avec précision par la signature radiométrique de la cible dans les bandes spectrales du capteur, caractérisant la nature du sol, de la végétation, du nuage, ... Des méthodes physiques complexes intègrent ces paramètres souvent obtenus ou évalués par d'autres moyens, satellitaires, classiques, ou climatologiques à base d'atlas à échelle saisonnière et régionale. Les résultats obtenus sont validés par comparaison avec ceux obtenus "in-situ" par des mesures directes ou indirectes.

A titre d'exemple, dans le cas de capteurs passifs météorologiques, on peut citer les études "atmosphériques" qui sont un préalable à tous résultats océaniques ou continentaux. Le résultat est la détermination des "pixels" clairs ou contaminés ("masque nuages") avec une classification nuageuse. Ceci est réalisé à l'aide des brillances (visible) et des températures de nuages (infrarouge thermique), ainsi que d'atlas climatologiques (température de la mer, nature du sol, ...) et la considération de paramètres de structure/texteure des cibles visées. Il est alors possible d'évaluer correctement, après d'autres modélisations, les températures de la mer et des surfaces continentales, de déterminer les flux à l'interface (ondes longues et courtes), le bilan hydrique à l'échelle d'une région, d'étudier les courants marins à partir des cartographies thermiques, l'inertie thermique des sols, de déterminer des indices représentatifs de divers phénomènes : index "normalisé" de végétation (NDVI) permettant d'estimer de façon globale la production de biomasse, indice de "turbidité" (sédiments et polluants en zone côtière), etc..

Ces études réclament la parfaite superposition géométrique des données (satellitaires ou non), d'où l'importance de pouvoir disposer de celles-ci dans un même référentiel (voir chapitre IV).

III-3 Méthodes statistiques

Pour une donnée unitaire ou "synthétique" (c'est à dire issue du mixage multitemporelle de données élémentaires dans le même référentiel), cette méthode est utilisée si le phénomène étudié n'a pas de relation évidente avec la signature radiométrique. On passe alors directement de la mesure satellite à une sortie géophysique par le calcul d'un "ajustement". La validité d'une telle approche est en général limitée dans l'espace et dans le temps. Les méthodes statistiques permettent d'utiliser plusieurs données (satellitaires ou

non), à des échelles de temps différentes par le couplage de plusieurs "capteurs" de résolution spatiale variées, fournissant des informations complémentaires.

Une application type des méthodes multitemporelles statistiques est réalisée à partir de l'imagerie "géostationnaire", à haute cadence de réception, sur des périodes continues, pour des phénomènes climatiques qu'il est difficile, pour diverses raisons, de suivre évènement par évènement (température "maximum" du sol et de l'océan, précipitations, flux à l'interface,..)

III-4 Méthode mixte

Cette solution consiste à mettre au point des modèles simples, utilisant un nombre réduit de paramètres. Elle intègre des approches statistiques spatiales (géostatistique) et temporelle sur des données satellitaires ou non. Elle permet ainsi le mixage de données d'échelles très différentes, en utilisant les caractéristiques d'une source, corrigés par une ceux d'une autre à une résolution différente.

Un exemple est celui du suivi permanent d'un phénomène à partir d'une donnée répétitive, mais de faible résolution géométrique et radiométrique (géostationnaire), calibré par une information plus fine (autre satellite, mesure terrain), mais disponible à des pas temporels plus grands ou irrégulier.

IV CHANGEMENT D'ECHELLE SPATIALE RESTITUTION DE PARAMETRES GEOMETRIQUES

Toutes les informations images satellitaires brutes, corrigées radiométriquement, ou en valeurs géophysiques, extraites de la donnée de télédétection non "rectifiée", sont définies spatialement à l'échelle du "pixel" nominal du capteur (IFOV) et sur l'étendu de la visée de celui ci. Des modèles "géométriques" mettent en relation la position du pixel image avec sa localisation terrestre. Le mixage "multisources", c'est à dire multicapteurs - multivecteurs satellitaires, mesures classiques, données d'analyse et de modèle, ainsi que la restitution cartographique avec la superposition d'atlas et de représentations "graphiques" diverses (isolignes,..) d'autres données, nécessite des outils afin d'assurer la parfaite transparence géométrique de ces entités. Le niveau de résolution spatiale est choisi par l'utilisateur. La résolution finale "pixel" est souvent dégradée par rapport au maximum nominal de la donnée.

Il s'agit ici d'un véritable changement d'échelle au sens cartographique du terme, où l'on reconstitue à partir des données existantes en "projection" quelconque (projection satellitaire dépendante de l'orbitographie et de la visée), une image dans une projection donnée, habituellement cartographique. Pour un résultat

à échelle fixée, intervient également la "taille du pixel" du périphérique de restitution en mode "raster".

La technique utilisée est celle du rééchantillonnage d'image à l'aide d'un modèle de déformation, modèle mettant en correspondance les pixels de l'image destination avec ceux de l'image source. La reconstitution des pixels "rectifiée" est réalisée par interpolation avec ceux de l'image "brute", et ceci suivant plusieurs schémas : plus proche voisin, interpolation bilinéaire, bi cubique, spline....

Cette déformation peut être globale sur l'ensemble de l'image. Il existe alors une relation linéaire ou de degré supérieur (polynôme de déformation), valable pour tous les points de l'image. Ceci est réalisé pour des images faiblement déformées (cas général des images d'observations de la terre).

Pour des images "météorologiques", où la distorsion est très importante et non uniforme (effet de la rotation de la terre, de l'avance du satellite sur sa trace dans le cas des satellites défilants, des angles de visée importants sur une surface sphérique), on préfère une méthode par morceaux, où les images sont découpées en "pavés" réguliers (ou non) aux noeuds d'une matrice de localisation.

La construction du modèle de déformation entre images est liée à ces 2 techniques :

- Le "polynôme de déformation" est réalisé par la prise de points d'amers entre images, avec la mise en correspondance de certains points de la source avec une carte "référence" numérisée;

- dans le second cas, chacune des images est localisée aux noeuds d'une grille de points. Cette localisation est calculée suivant le type d'image, par des modèles de projection cartographique (type, échelle) et de navigation d'image satellitaire fonction du couple vecteur - capteur. Les méthodes par points d'amers sont inutilisables globalement sur de telles images, par ailleurs dépourvues de tels repères (mer, nuage). L'interpolation directe et inverse entre coordonnées géographiques (lat-lon en deg) et coordonnées images (lig-pix), puis la relation avec les coordonnées cartographiques (x-y en mm) permet le passage vers et depuis n'importe lequel des référentiels.

Dans une image quelconque munie d'une localisation, il est possible de positionner toute référence géographique et inversement de connaître les coordonnées géographiques de tout pixel. La mise en correspondance de 2 localisations avec le calcul d'une déformation, et l'application d'un schéma de rééchantillonnage des pixels, permet de reconstituer une image à une projection donnée et à une échelle fixée. Cette approche autorise la superposition géométrique dans un même référentiel d'informations d'origines très différentes.

Pour éviter une dégradation importante de l'information spatiale origine, il est préférable de rectifier la donnée brute proche de sa résolution nominale. Les méthodes utilisées réalisent une "agrégation" de plusieurs pixels dans le cas d'un sous échantillonnage. Dans le cas inverse l'information est recréée par interpolation à partir d'un pixel et de ses voisins.

V LES OUTILS DU LOGICIEL "TRISKEL"

Le logiciel TRISKEL est développé à l'Antenne ORSTOM de LANNION depuis quelques années, en soutien à une équipe de recherche utilisatrice de données de télédétection satellitaire "météorologique". Les méthodes précédentes sont mises en oeuvre au sein de programmes, interfacés avec des structures de données, le tout dans un environnement "informatique" [1].

Si le transfert d'échelle "géophysique" est lié aux utilisations thématiques envisagées, les méthodes géométriques mises en oeuvre [2] sont des outils généraux de traitement et de restitution, qui restent un préalable à l'utilisation effective de données "multisources". Elles peuvent également servir d'outils de cartographie indépendamment de l'application en imagerie de télédétection.

VI ILLUSTRATIONS

Trois exemples illustreront nos propos. Le premier est tiré d'une activité "de routine" d'estimation des pluies en zone sahélienne, réalisé à l'Antenne ORSTOM de Lannion. Le second est relatif à la restitution de paramètres géophysiques des données des satellites météorologiques NOAA au Centre de Météorologie Spatiale. Le troisième est un exemple d'applications multi-satellites dans deux domaines.

VI-1 Estimation des pluies

Deux types d'approches sont utilisés pour l'estimation des précipitations par satellite : les méthodes de suivi d'événements isolés, coûteuses et peu fiables actuellement, et les méthodes statistiques, qui donnent des résultats acceptables sur des périodes longues [3].

Nous avons développé et validé plusieurs algorithmes "statistiques" à partir de données "synthétiques" satellitaires par période de 10 jours. Ceux-ci permettent d'obtenir une précision acceptable en précipitation à l'échelle du mois avec une efficacité croissante pour des périodes cumulées au cours de la saison des pluies. Les méthodes

prises au point intègrent des images composites réalisées à partir de 24 images/jour Météosat infra-rouge, pour la température radiative maximale du sol et la somme d'occurrence de nuages "froids". Ces données sont ensuite mixées avec des données exogènes (température de l'air, latitude, climatologie d'"efficacité" de précipitation..) pour être comparées avec les relevés pluviométriques aux stations [4]. Ces algorithmes ont été testés à diverses échelles spatiales, du niveau synoptique (ensemble des pays du sahel), régional (Niger) ou local (degrés carré de Niamey) [4]

Dans une action de validation, la donnée élémentaire METEOSAT IRT a été comparée à celle d'enregistrements radar de répétitivité plus importante, données pouvant apporter des précisions sur l'étendue et l'intensité des précipitations [5]. Les premiers résultats obtenus sont encourageants et ouvrent la voie à d'autres validations soit classiquement par des mesures in-situ, soit par l'utilisation prometteuse de techniques satellitaires micro-onde.

VI-2 traitement NOAA

L'élément essentiel de ce traitement est l'aspect "atmosphérique" qui permet, par un mixage sondeur TOVS - imageur AVHRR, d'identifier la nébulosité de l'atmosphère [6]. Sur les pixels "clairs", il est alors possible d'effectuer des traitements spécifiques à divers domaines : restitution de la température de surface océanique (algorithme split-window "régional"); caractérisation des paramètres sols et principalement du NDVI; index de turbidité, etc....

Les produits finaux, synthèses de résultats "instantanés", sont réalisés à des échelles de temps variables (semaine, mois, saison), permettant l'exploitation et le suivi permanent de plusieurs phénomènes.

Le domaine spatial concerné est l'étendue de la zone d'acquisition de Lannion, en projection cartographique (stéréopolaire). Chaque image élémentaire est obtenue après la fabrication d'une mosaïque composée de plusieurs orbites successives (maximum 3). La distribution des produits finaux est assuré par le groupement SATMOS.

VI-3 Mixage géostationnaire-défilant

Divers travaux ont démontré l'intérêt de l'utilisation de la température de surface océanique ou continentale, estimée à partir de l'infrarouge thermique "géostationnaire". Compte tenu de l'imprécision des valeurs radiatives issues de Météosat, la température obtenue à partir des canaux thermiques de NOAA est utilisée pour étalonner cette donnée conjuguant le découpage

temporel et la haute répétitivité permis par le satellite géosationnaire et la bonne précision radiométrique du défilant.

Il est alors possible à une échelle de temps pentadaire ou décadaire, caractéristique de l'agroclimatologie, de disposer d'un outil de diagnostique de l'état hydrique régional tout à fait complémentaire des données climatiques du réseau [7].

En océanographie, le même principe d'une calibration fine issue de NOAA/AVHRR, autorise le suivi précis de température de la mer (réchauffement diurne,..) et leur synthèse (moyenne, maxi,..) à partir des données Météosat semi-horaire [8] ou sa correction par le sondeur atmosphérique du même vecteur (TOVS).

Ces produits climatiques sont réalisées à partir des synthèses "thermiques" Météosat, réalisées à échelle pentadaire par l'antenne ORSTOM de LANNION, pour les besoins du programme "veille climatique".

VII CONCLUSIONS

Nous avons présenté au sein de l'application "télédétection" certaines approches du transfert d'échelle, dans ses aspects radiométrique et spatial. L'interprétation correcte des données de télédétection, passe par une meilleure connaissance de la part de l'utilisateur final, des modèles, permettant leur mise en oeuvre. Celui-ci n'est en effet que trop souvent attaché à l'aspect "belles images" pour sa thématique propre, en oubliant certains principes généraux et certaines limites à l'utilisation de telles données.

Les méthodologies développées ont été mises en oeuvre au sein d'outils logiciels généraux susceptibles de répondre efficacement aux besoins exprimés par les chercheurs. C'est un élément essentiel au transfert de "savoir faire" auprès de partenaires, dans un domaine scientifique qui tend parfois à sous-estimer l'aspect technique par un étalage de "faire-savoir" tapageur.

Classiquement dans les sciences de l'environnement, les données de télédétection sont utilisées seules pour étudier un phénomène. Leur utilisation future doit être vu dans un cadre multidisciplinaire, pour évaluer les processus qui cause ces phénomènes et pour prédire leur évolution. Les systèmes étudiés sont très complexes et font de plus en plus un appel important à des modèles couplés. Ils peuvent être étudiés à différentes échelles par le biais de modèles indépendants dont la télédétection est une des composantes. L'utilisation efficace d'une telle source dans les modèles suppose la résolution des problèmes d'intégration de données et en particulier quelles sont les résolutions spatiale et temporelle nécessaire pour décrire ces systèmes?

De façon plus pratique, pour valider et interpréter les données satellitaires à des échelles locale, régionale ou globale, il est nécessaire de mettre en relation les points de mesure ponctuelle, obtenus lors de campagne d'essais, avec ceux distribués spatio-temporellement issus de la télédétection. Deux voies possible, soit en augmentant la "taille" de la mesure ponctuelle jusqu'à la résolution du paramètre mesuré, soit en dégradant celui-ci jusqu'à une échelle locale. Diverses études en ce sens reste à réaliser.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DAGORNE D.; 1989; Traitement de données météorologiques satellitaires et conventionnelles pour la connaissance de l'environnement; SEMINFOR 3 "Système d'information pour l'environnement", Bondy 26-28/09/1989, Colloques et séminaires ORSTOM (à paraître)
- [2] DAGORNE D.; 1988; Modélisation géométrique en télédétection, superposition et rectification de données satellitaires et spatialisées; SEMINFOR 2 "La modélisation : aspects pratiques et méthodologie", Colloques et séminaires, Montpellier 26-28/09/88 ORSTOM. p 175-194.
- [3] GUILLOT B.; 1988; Compte rendu de la réunion EPSAT de Reading, 11-12/10/1988; Veille climatique satellitaire No 28; coéditeurs : Antenne ORSTOM et Centre de météorologie Spatiale, Lannion. p 11-22.
- [4] CARN M., DAGORNE D., GUILLOT B., LAHUEC J.P.; 1989; Estimation des pluies par satellite en temps réel en Afrique sahélo-soudanienne; Veille climatique satellitaire No 28; ccoéditeurs : Antenne ORSTOM et Centre de météorologie Spatiale, Lannion. p 47-54.
- [5] SAUVAGEOT H, DAGORNE D., DESPAUX G; 1990; Relations entre les champs de précipitations déterminés par radar et l'imagerie Météosat; Colloque de climatologie Lannion-Rennes, 16-19/06/1990, Association Internationale de Climatologie.
- [6] DERRIEN M., LE GLEAU H.; HARANG L; NOYALET A., PIRIOU J.L.; 1989; An Automatic cloud classification using AVHRR at night; proceedings of the 4th AVHRR users meeting, Rothenburg , 5-8/09/1989, Agence Spatiale Européenne. p 69-72.
- [7] SAVANE M., SEGUIN B., GUILLOT B.; 1989; Utilisation des synthèses thermiques de Météosat étalonnées par NOAA-AVHRR en agroclimatologie : application à la France; Veille climatique satellitaire No 28; coéditeurs : Antenne ORSTOM et Centre de météorologie Spatiale, Lannion. p 55-60.
- [8] RADENAC M.H.; 1986; Restitution de la température de la mer à échelle moyenne à l'aide du canal infrarouge de Météosat-2, application au golfe de Gascogne, Thèse de doctorat 3eme cycle, océanographie physique, Université de Bretagne occidentale. 132 p.