

ECOCLIMAP, UNE BASE DE DONNEES GLOBALE DE PARAMETRES DE SURFACE CONTINENTALE A LA RESOLUTION KILOMETRIQUE ET SON UTILISATION DANS LES MODELES METEOROLOGIQUES

J.L. CHAMPEAUX, V. MASSON, F. CHAUVIN

*METEO-FRANCE/ICNRM, 42, Av Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, France
email : Jean-louis.champeau.x@meteo.fr*

Résumé

ECOCLIMAP est une base de paramètres de surface à 1km de résolution dont l'objectif est d'initialiser le SVAT (Sol-Végétation-Atmosphère-Transfert) utilisé dans les modèles météorologiques de prévision et de climat. 243 écosystèmes sont obtenus par croisement de cartes d'occupation des sols et de climat. Ensuite, pour chacun de ces écosystèmes, on obtient par l'intermédiaire de tables les valeurs mensuelles des paramètres de surface ; en particulier, l'indice foliaire est directement déduit de l'évolution annuelle du NDVI. Plusieurs validations ont été menées par comparaison avec des données in situ et par rapport à d'autres jeux de données (POLDER, ISLSCP2). Une simulation de 10 ans du modèle ARPEGE climat a permis de montrer l'apport de cette nouvelle base de données par rapport à l'ancienne.

Abstract

Ecoclimap, a new complete surface parameter global dataset at a 1km resolution, is presented. It is intended to be used to initialize the Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer schemes (SVATs) in meteorological and climate models. 243 ecosystems representing areas of homogeneous vegetation are derived by combining existing land-cover maps and climate maps, in addition to using AVHRR satellite data. Then, all surface parameters are derived for each of these ecosystems using look-up tables with the annual cycle of the Leaf Area Index (LAI) being constrained by the AVHRR information. The resulting LAI is validated against a large amount of in-situ ground observations, and it is also compared to LAI derived from the ISLSCP2 database and the POLDER satellite. In terms of climate modeling studies, the use of this new database is shown to improve the surface climatology of the ARPEGE climate model.

Mots-clés : Végétation, paramètres de surface continentale, indice foliaire, modèles météorologiques.

Keywords : Vegetation, surface parameters, LAI, meteorological models.

Introduction

Depuis plusieurs années, un effort a été entrepris pour améliorer la paramétrisation des processus de surface aussi bien dans les modèles globaux de climat, de prévision météorologique que dans les modèles à méso-échelle. Dans les modèles atmosphériques, les échanges avec la surface sont décrits par des SVATS (Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer-Scheme) ; le SVATS développé à Météo-France pour les modèles météorologiques, dénommé ISBA (Noilhan et Planton, 1989), est un schéma de surface qui, à partir d'un petit nombre de paramètres, décrit les échanges de chaleur et d'humidité à l'interface sol-atmosphère dans des conditions variées de sol nu et/ou de végétation.

Pour calculer ou déterminer les caractéristiques physiques décrivant le sol et la végétation, il est nécessaire de disposer dans une maille relativement fine de paramètres primaires d'entrée de type de sol et de végétation tels que la fraction de végétation, l'indice foliaire (LAI), l'albédo, la longueur de rugosité, la résistance stomatique. Par exemple, le LAI et la fraction de végétation pilotent la transpiration des plantes.

Jusqu'à présent, les modèles globaux utilisaient une base de paramètres de surface au degré (Henderson-Sellers, 1985). Le besoin de bases de données plus précises est évident pour les modèles à méso-échelle mais aussi pour les études de modélisation régionale du climat.

L'objectif de l'article est de décrire la manière d'établir les tables de paramètres de surface mensuels à partir de cartes d'occupation des sols, de cartes de climat et des données d'indice de végétation normalisé ND VI.

1. Elaboration d'une carte globale d'écosystèmes

L'idée majeure est de déterminer des « écosystèmes » à partir de cartes d'occupation des sols et de cartes de climat et d'établir ensuite des tables de correspondance de paramètres de surface pour chaque « écosystème » à la résolution kilométrique. La grande variabilité de la végétation impose de stratifier en plusieurs classes chaque thème d'occupation du sol en fonction du climat. Par ailleurs, aussi bien pour les cartes d'occupation du sol que les cartes de climat, une description plus précise sera faite sur l'Europe.

1.1. Carte globale d'occupation des sols

Hors Europe, la carte d'occupation des sols à la résolution du kilomètre utilisée a été élaborée par l'Université du Maryland (Hansen *et al.*, 2000) à partir des données NOAA/AVHRR issues du programme IGBP/DIS (Loveland et Belward, 1997). 15 types d'occupation des sols sont référencés, dont en particulier cinq classes de forêts.

Sur l'Europe, où l'on souhaite une description plus précise, la carte CORINE Land Cover en 44 classes d'occupation des sols et à la résolution de 250m (CEC, 1993) est utilisée par reéchantillonnage à 1 km (voir la figure couleur sur le site www1). Les zones non totalement couvertes par CORINE ont été complétées par les données « land cover » issues du projet européen PELCOM (Mucher *et al.*, 2001).

1.2. Carte globale de climats

Il est évident que l'on ne peut attribuer les mêmes paramètres de surface à des thèmes de végétation identique suivant leur position géographique (e.g. une forêt d'Europe du Nord ou une forêt du Sud de l'Espagne, la toundra et la savanne). Les cartes d'occupation des sols sont donc combinées avec des cartes de climats. Hors Europe, nous avons utilisé la carte des climats en 16 classes de Koeppel et De Long (1958, voir figure sur www1). De la même manière que pour l'occupation des sols, une carte éco-climatique de meilleure résolution que la carte globale a été déduite du projet FIRS (EC, 1995).

1.3. Carte globale d'« écosystèmes »

Le croisement des cartes d'occupation des sols et des cartes de climat conduit à un très grand nombre d'écosystèmes sur les six continents que nous avons regroupés en respectant un certain nombre de règles :

- La règle majeure est que l'on n'agglomère pas des types de végétation différents.
- Les agglomérations sont basées sur l'analyse des profils temporels de l'indice de végétation ND V I pour le biome considéré. Si les profils temporels de l'indice de végétation ont plus d'un mois de déphasage, ils sont considérés comme différents.
- Les écosystèmes seront aussi différenciés par hémisphère sauf pour ceux situés en climat équatorial humide.

Deux écosystèmes situés sur des continents différents pourront être agglomérés.

Notre carte finale contient 243 « écosystèmes » dont 90 sur l'Europe.

2. Détermination des paramètres de surface

L'information principale pour prescrire correctement les paramètres de surface est la bonne connaissance de la proportion de chaque surface primaire (eau, sol nu, glace, végétation boisée, ...).

Les paramètres de surface concernant les zones urbaines font l'objet d'un traitement particulier décrit dans le schéma de ville TEB (Town Energy Balance) développé par Masson (2000).

Chaque écosystème sera décomposé en fraction de 3 types majeurs : surface boisée, surface herbeuse et sol nu (table 1). En fait, sur l'Europe la plupart des écosystèmes sont considérés comme purs alors que certains types à l'échelle globale tels que la savanne arborée devront être traités comme des écosystèmes mixtes. Cela permettra lors de la modélisation une approche de type « patch » (traitement séparé de la surface dans la maille pour chaque type de végétation) ou une approche plus classique par agrégation des paramètres de surface suivant des règles de moyenne (Noilhan et Lacan-ère, 1995). Les mêmes règles d'agrégation seront employées lorsque la maille du modèle sera supérieure au kilomètre.

Tableau 1: Fractions de végétation boisée, de végétation herbacée et de sol nu pour chaque type d'occupation des sols. Les variations de ces fractions à l'intérieur d'un thème d'occupation du sol dépendent du climat.

	Sol nu	Végétation boisée	Végétation herbacée
Forêt		100%	
Forêt clairsemée	0-10%	40-50%	50%
Prairie arborée	0-20%	20-30%	50-70%
Savanne arb. dense	20-30%	20%	50-60%
Savanne arbustive	20-60%		40-80%
Prairies			100%
Cultures			100%
Sol nu, rochers	90-100%		0-10%
Glace			

2.1. Indice Foliaire (LAI)

L'indice foliaire représente la surface des feuilles contenue dans une colonne verticale par unité de surface. Ce paramètre très important du schéma de surface conditionne en particulier la transpiration de la plante.

Le travail mené au paragraphe 1 va permettre de définir des paramètres de surface valables pour chaque écosystème en prenant l'hypothèse que chaque écosystème est homogène.

De nombreuses études ont montré que le LAI et le NDVI étaient corrélés. Les jeux de données de NDVI utilisés pour calculer le LAI sont issus des données AVHRR 1997 pour l'Europe (Mucher et al, 2001) tandis que, pour le reste du globe, ils proviennent des données AVHRR 1992-1993 du programme IGBP/DIS (Eidenshink et Faundeen, 1994)

Pour chaque écosystème, l'évolution mensuelle du LAI est déduite du profil temporel de l'indice de végétation, les bornes minimales et maximales du LAI étant fixées à partir de données terrain:

$$LAI_{i+1} = LAI_{mi} + (LAI_{max} - LAI_{mi}) * (NDVI - NDVI_{mi}) / (NDVI_{max} - NDVI_{mi})$$

Cette stratégie permet de borner de manière réaliste les valeurs du LAI pour chaque écosystème, mais présente cependant l'inconvénient de négliger la variabilité spatiale à l'intérieur d'un écosystème.

2.2. Autres paramètres dépendant de la végétation

D'autres paramètres de surface, tels que la fraction de végétation, la rugosité, la résistance stomatique minimale, l'albédo et l'émissivité, jouent aussi un rôle important dans le fonctionnement des

schémas de surface. Ces paramètres sont calculés ou prescrits de manière cohérente pour chaque type de végétation (table 2).

Tableau 2: Formulations des paramètres de surface pour Ecoclimap.

Type Végétation	fraction végétation	longueur de rugosité	albédo végétation	résistance stomatique	émissivité végétation
Sol nu	0	0.013			
Rochers	0	0.13			
Glaciers	0	0.0013			
Cultures C3	$1 - e^{-0.6LAI}$	$0.13 \min(1, e^{\frac{LAI-3.5}{1.3}})$	0.2	40	0.97
Cultures C4	$1 - e^{-0.6LAI}$	$0.13 \min(1, e^{\frac{LAI-3.5}{1.3}})$	0.2	40	0.97
Herbe (tropiques)	0.95	$0.13 * LAI/6$	0.2	120	0.97
Herbe (Autres)	0.95	$0.13 * LAI/6$	0.2	40	0.97
Forêts Conifères	0.95	$0.13 * H$	0.1	150	0.97
Feuillus Pers.	0.95	$0.13 * H$	0.13	250	0.97
Feuillus Cad.	0.95	$0.13 * H$	0.13	150	0.97

Pour les forêts, la rugosité sera considérée comme constante tout au long de l'année; la hauteur des arbres sera de 30 mètres pour les forêts équatoriales, de 15m pour les forêts tempérées et de 2 m pour les taillis. La fraction de végétation sera proche de 1 tout au long de l'année en tenant compte du fait qu'en hiver, dans le cas des feuillus, le sous-bois (mousses) joue aussi un rôle. La profondeur des racines varie de 8 mètres pour les forêts équatoriales à 2 m pour les forêts boréales et tempérées (Canadell et al, 1996). L'albédo des forêts varie entre des valeurs de 0.10 pour les conifères (Betts et Bail, 1997; Gash et al, 1989), de 0.13 pour les forêts équatoriales à 0.15 pour les feuillus (Betts et Bail, 1997). La résistance stomatique minimale, bien documentée pour les forêts équatoriales (Déliere et al, 1997), a une valeur de 250 s. m⁻¹ et de 150 s. m⁻¹ pour les conifères.

Pour les prairies, comme pour les forêts, la fraction de végétation n'évolue pas beaucoup avec le temps (0.95). Par contre, la hauteur varie avec le temps et est reliée au LAI par la relation $h=LA I/6$ (Calvet et al, 1998).

La profondeur racinaire est généralement de 1.5 m et l'albédo des prairies est de 0.20. La résistance stomatique vaut 40 s. m⁻¹ (Noilhan et Planton, 1989).

Les cultures, contrairement aux paysages naturels, ont une fraction de végétation très variable et fonction du stade phénologique de la plante; la fraction de végétation sera donc déduite du LAI par une relation exponentielle (Kanemasu et al, 1977) et traduira la variabilité saisonnière. La rugosité est relié au LAI tandis que la profondeur racinaire et l'albédo de la végétation sont identiques à celles des prairies.

2.3. Albédo total et émissivité

La détermination de l'albédo peut se faire suivant deux approches. La première consiste en un calcul direct à partir de données satellitaires par inversion des modèles de réflectances; cette méthode présente l'avantage de bien décrire les variabilités spatiales. Cependant, le calcul de l'albédo dans les modèles météorologiques se fait séparément pour le sol nu et la végétation, la neige étant traitée à part. La deuxième approche, retenue dans cette étude, consiste à calculer l'albédo du sol nu et de la végétation; l'albédo total est alors obtenu par pondération de la fraction de végétation. Cela sera en particulier utile dans les expériences de déforestation dans les modèles de climat. L'impossibilité de séparer les deux composantes à partir des mesures satellitaires (sauf dans le cas des déserts) va induire une part d'empirisme dans la formulation. Alors que les albédos de la végétation sont prescrits par des

tables (paragraphe 2), l'albédo du sol nu dépend de la texture du sol, en particulier de sa composition minérale et du dépôt organique (Irons et al, 1988). Le calcul de l'albédo du sol (ALB_{sol}) est déduit d'une formule empirique:

$ALB_{sol} = 0.10 + (0.05 + 0.30 * f_{sable}) * (1 - 0.9 * (f_{forêt} + f_{prairies})^2)$ où f_{sable} est la fraction de sable (FAO, 1988) et $f_{forêt}$ et $f_{prairies}$ sont respectivement la fraction de forêts et de surfaces herbacées.

L'albédo total ainsi obtenu a été validé par des comparaisons avec des albédos satellitaires, en particulier l'albédo global AVHRR (Strugnell et al, 2001) et l'albédo mesuré sur l'Afrique (Ba et al, 2001). L'émissivité est prescrit à une valeur usuelle de 0.97.

3. Validation du LAI et comparaison avec d'autres bases de paramètres de surface

3.1. Validation du LAI par comparaison à une base de données in-situ

Une base de données de LAI a été constituée à partir de mesures in-situ en différents points du globe (Lacaze, 2002) effectuées par des méthodes indirectes ou destructives, les continents européens et américains étant les mieux échantillonnés. Pour chaque mesure, une comparaison a été faite entre le LAI mesuré et le LAI -EC O CLIMAP. Pour chaque type de végétation majeur (59 écosystèmes ont été validés), la relation entre le LAI mesuré et le LAI -EC O CLIMAP montre une bonne concordance générale. Pour les prairies et les feuillus, la différence peut s'expliquer par le fait que les mesures terrain sont ponctuelles alors que notre LAI est intégré à l'échelle du pixel. Pour les cultures, la dispersion est logique, car la mesure est faite à l'échelle d'un champ et la culture concernée n'est pas forcément représentative des cultures majoritaires dans le pixel.

3.2. Comparaison avec ISLSCP-2 et POLDER

Le LAI-ECOCLIMAP a été comparé à 2 autres jeux globaux de LAI élaborés à partir de données satellitaires (voir les figures sur www1). Le plus utilisé dans les modèles de climat provient de la base ISLSCP-2 (International Satellite Land Surface) à 1 degré de résolution. Le deuxième a été réalisé à partir d'un modèle physique appliqué aux données POLDER à 6km de résolution acquises d'octobre 1996 à juin 1997. Les résultats sont en général comparables; cependant, les différences plus notables ont lieu pour les forêts. Pour les forêts boréales en été, le LAI-ECOCLIMAP prend des valeurs de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, un peu plus grande que dans ISLSCP-2 et nettement plus que les valeurs POLDER ($3 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$). Pour le continent Nord Américain, les nombreuses mesures in situ (Chen et al, 1997) confirment qu'une valeur de 5 est raisonnable. Une autre différence apparaît pour les forêts équatoriales; ISLSCP-2 atteint des valeurs de LAI de 7 alors que le LAI-ECOCLIMAP varie entre 5 et 6 tandis que le LAI POLDER prend des valeurs de 3 à 6. Les valeurs de ISLSCP-2 paraissent élevées vu la résolution de 1 degré. Finalement, les différences sont les plus importantes en Europe pour les feuillus (4 à 5 pour le LAI-ECOCLIMAP et 6 à 7 pour les deux autres jeux) et certaines prairies (3 pour le LAI-ECOCLIMAP au lieu de 6 pour POLDER). Vu la résolution de 1° pour ISLSCP-2 et de 6 km pour POLDER, ces valeurs nous paraissent surestimées par comparaison avec les données in situ.

La comparaison avec les données POLDER montre que la variabilité spatiale est bien décrite par ECOCLIMAP, sauf, bien entendu, la variabilité intra-écosystème qui par définition ne sera pas captée.

4. Validation par simulations d'un modèle de climat

Afin de valider ECOCLIMAP, nous avons réalisé un ensemble de 10 années de simulation climatique pour lequel nous avons utilisé le modèle ARPEGE Climat (Déqué et al, 1994) avec une résolution de 1.5° et 31 niveaux verticaux. Le schéma de surface ISBA a été utilisé et la SST a été maintenue constante d'une année à l'autre. Ce modèle a fonctionné avec les anciens paramètres de surface (Henderson-Sellers, 1985) et le nouveau jeu ECOCLIMAP. Les températures maximale et

minimale journalières, qui interviennent dans les processus du bilan d'énergie à la surface, ont été ensuite comparées à une climatologie de référence CRU (New et al., 1999) pour chacun des 2 jeux.

Les anomalies de température constatées avec la base Henderson-Sellers sont, en règle générale, diminuées grâce à l'utilisation d'ECOCLIMAP; en particulier, la température maximale est améliorée en automne et moins bonne en été pour l'hémisphère Nord tandis qu'elle est améliorée au printemps et en été et moins bonne en hiver pour l'hémisphère Sud. La température minimale est meilleure avec ECOCLIMAP sauf au printemps dans l'hémisphère Nord.

Conclusion

Alors que la maille des modèles est en constante diminution, l'intérêt de cette nouvelle base de paramètres de surface au kilomètre est de pouvoir être utilisée aussi bien dans des modèles globaux que dans les modèles à méso-échelle; par ailleurs, l'utilisation d'ECOCLIMAP pour des modèles emboîtés présente un grand avantage de cohérence.

La très fine résolution de cette base de données permet une utilisation en n'importe quel point du globe pour les modèles à aire limitée, ce qui n'était pas le cas précédemment puisque la résolution était au mieux de 1°.

La résolution d'ECOCLIMAP est aussi utile dans les études climatiques à l'échelle régionale. Pour des scénarios de déforestation, on peut facilement remplacer les paramètres de surface de la forêt par des paramètres concernant des cultures de la région considérée.

Enfin, cette base de données permet de développer une méthode de type "patches" en calculant plusieurs bilans d'énergie pour chaque type de végétation présent à l'intérieur de la maille du modèle.

Cette base de données sera améliorée par l'utilisation de nouveaux capteurs (MODIS, SPOT/VEGETATION) et le développement de nouveaux algorithmes de calcul du LAI en particulier.

Enfin, cette base de données est à la disposition de la communauté scientifique sur le WEB (www1).

Bibliographie

- B A M. B., N I C H O L S O N S. E., F R O U I N R. , 2001 : Satellite-derived surface radiation budget over the african continent. Part II: climatologies of the various components. *Journal of climate*, **14**, 60-76.
- B E T T S A. K., B A L L J. H., 1997 : Albedo over the boreal forest. *Journal of Geophysical Research*, **102**, D24, 28,901-28,909.
- C A L V E T J.-C., N O I L H A N J., R O U J E A N J.-L., B E S S E M O U L I N, C A B E L G U E N N E M., O L I O S O A., W I G N E R O N J.P., 1998 : An interactive vegetation svat model tested against data from six contrasting sites. *Agri. Forest. Meteor.*, **92**, 73-95.
- C A N A D E L L J., J A C K S O N R.B., E H L E R I N G E R J.R., M O O N E Y H.A., S A L A O.E., S C H U L Z E E.-D., 1996 : Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, **108**, 583:595.
- C E C, 1993 : CORINE Land Cover technical guide. European Union. Directorate-Generale Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. Luxembourg.
- C H E N J. M., R I C H P. M., G O W E R S. T., N O R M A N J. M., P L U M M E R S., 1997 : Leaf Area Index of boreal forests: theory, techniques and measurements. *Journal of Geophysical Research*, **102**, D24, 29,429-29,443.
- D E L I R E C, C A L V E T J.-C., N O I L H A N J., W R I G H T I., M A N Z I A., N O B R E C. 1997 : Physical properties of Amazonian soils: a modeling study using the anglo-brazilian amazonian climate observation study data. *J. Geophys. Res.*, **102**(D25), 30,119-30,133.

- DEQUE, M., C. DREVETON, A. BRAUN, CARIOLLE D., 1994 : The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French Community climate modelling, *dim. Dyn.*, **10**, 249-266.
- EC, 1995: Regionalization and Stratification of European Forest Ecosystems, Internal Special Publication of the Joint Research Centre of the European Commission. S.I.P.95.44, EC, SAI, EMAP, Italy, 69 pp.
- EIDENSHINK, J.C., FAUNDEEN, J.L., 1994 : The 1 km AVHRR global land data set-first stages in implementation. *Int. J. of Remote Sensing*, **15**, no. 17, p.3,443-3,462.
- FAO, 1988, Unesco soil map of the world. World soil Resources Report No 60, Rome.
- GASH J. H. C, SHUTTLEWORTH W. J., LLYOD C. R., ANDRÉ J.-C, GOUTORBE J.-R, et GELPE J., 1989 : Micrometeorological measurements in Les Landes forest during HAPEX-MOBILHY. *Agric. For. Meteor.*, **46**, 131-147.
- HANSEN, M.C., DEFRIES, R.S., TOWNSHEND, J.R.G., SOHLBERG, R., 2000 : Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. *Int. J. Remote Sensing*, **21**, 1331-1364.
- HENDERSON-SELLERS A., 1985 : cover and soil datasets for use in general circulation models. *./. Climatol*, **5**, 119-143.
- IRONS J. R., RANSON K. J., DAUGHTRY C. S. T, 1988 : estimating big bluestem albedo from directional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.*, **25**, 185-199.
- KANEMASU, T, ROSENTHAL U. D., STONE R. J., STONE L. R., 1977 : Evaluation of an évapo-transpiration model of corn. *J. of Agronomy*, **69**, 461-464.
- KOEPPE C. E., DE LONG G. C. , 1958 : Weather and climate, McGraw-Hill Book Company.
- LACAZE R., 2002 : A global database of LAI ground measurements for the validation of satellite-derived products. *International Journal of Remote Sensing*. Submitted.
- LOVELAND, T.R., BELWARD, A.S., 1997 : The IGBP-DIS global 1 km land cover data set, DISCover: first results. *Int. J. Remote Sensing*, **18**, 3289-3295.
- MA S S ON V., 2000 : A physically based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Bound. Layer meteor.*, **94**, 357-397.
- MUCHER, C.A., CHAMPEAUX J.-L., STEINNOCHER K. T., GRIGUOLO S., WESTER K., HEUNKS C, WINIWATER W., KRESSLER F. P., GOUTORBE J.-R, TEN BRINK B., VAN KATWIJK V. F, FURBERG O., PERDIGAO V., NIEUWENHUIS G. J. A., 2001 : Development of a consistent methodology to derive land cover information on a European scale from remote sensing for environmental modeling, *The PELCOM Report*, Centre for Geo-Information (CGI), Wageningen university. 160pp.
- NEW, M., M. HULME, JONES P. D., 1999 : Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1 : development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, **12**, 829-856.
- NOILHAN, J., PLANTON, S., 1989 : A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Review*, **117**, 536-549.
- NOILHAN J. et LACARRÈRE P., 1995 : GCM grid-scale evaporation from mesoscale modeling. *Journal of Climate*, **8**(2), 206-223.
- STRUGNELL N. C, LUCHT W., SCHAAF C, 2001 : A global albedo data set derived from AVHRR data for use in climate simulations. *Geophysical Research Letters*, **28**, 191-194.
- www 1 : http://www.cnrm.meteo.fr/gmme/PROJETS/ECOCLIMAP/page_ecoclimap.htm