

PARTIE 1

CLIMATOLOGIE AUX ECHELLES FINES

Le climat aux échelles fines

P. CARREGA

*Equipe GVE, UMR « Espace », Université de Nice-Sophia Antipolis ;
Email : Pierre.Carrega@unice.fr*

Quelque peu oubliée pendant quelques décennies avec l'apparent triomphe de la technologie, la « présence forte » du climat, malgré la globalité invoquée de ce dernier, se fait ressentir surtout aux échelles fines, celle du vécu de l'homme, sur des superficies allant de quelques m² à quelques dizaines de km². C'est bien le plus fréquemment sur ces pas de distances que varient spatialement les gelées, le « verglas » routier, les trajectoires des trombes ou des chutes de grêle, l'intensité des fortes précipitations orageuses ou tout simplement les températures, les bilans radiatifs, le vent, sans oublier le vécu et le perçu des habitants d'un quartier de ville ou d'une vallée ... Les applications sont nombreuses dans des domaines aussi variés que l'agriculture, l'urbanisme, la domotique, la sécurité routière, la prévention contre la pollution atmosphérique ou certains risques naturels.

Une meilleure description et compréhension des phénomènes à ces échelles nécessite le recours à des mesures spécifiques ou complémentaires pour pallier le manque d'information chronique, et comme aux autres échelles, les modèles employés appartiennent à deux grandes familles, empirique, statistique d'une part, et déterministe, physique d'autre part. C'est cependant également à ces échelles que ces modèles trouvent leurs limites, et surtout ceux qui ne les appliquent pas à bon escient...

Lié intimement à la géographie et à la nature du substrat, le climat aux échelles fines présente des caractéristiques affirmées :

- l'action « passive » de la topographie s'exerce d'autant plus que cette dernière est contrastée : déviation et canalisation des flux, rugosité, etc.
- des processus locaux, « actifs », spécifiques, sont effectivement physiquement engendrés à ces échelles, relativement simples sur le principe : brises thermiques diverses, convection, etc.
- ces facteurs locaux ne s'expriment que sous contrôle des échelles supérieures, moins fines : sans vent synoptique, pas de canalisation du flux ; et par temps couvert ou flux synoptique fort, les brises thermiques sont perturbées sinon absentes.

Ceci doit rappeler que tout poste climatique dépend de son environnement à toutes les échelles, et qu'à site géographique égal, les topo et micro-climats, s'exprimant heure après heure, jour après jour, année après année, sont d'autant plus spatialement différenciés que l'on est en climat radiatif et d'abri. Ainsi, dans les Alpes du sud, par exemple, l'écart des températures nocturnes (minimales) de janvier est en moyenne supérieur entre un fond de vallée et un sommet de colline 200 m plus haut, à ce qu'il est entre Paris et Strasbourg.

Ces différences locales portant non seulement sur des variables climatiques, mais aussi sur des climats dans leur intégrité, nécessitent d'être mieux prises en compte dans des perspectives d'aménagement du territoire et d'amélioration du cadre de vie.

1.1. Bioclimatologie

La sensibilité de l'agriculture aux changements climatiques : le cas du blé d'hiver en Beauce

S. BELLIA (1), A. DOUGUEDROIT (1), R. DELECOLLE (2)

(1) Institut de Géographie, Université Aix-Marseille I, 29 avenue R. Schuman, 13621 Aix-en-Provence Cedex 1 ; Tél. : (33) 4 42 95 38 71 ; Fax : (33) 4 42 64 01 58

Email : s_bellia@hotmail.com ; annick.douguedroit@up.univ-aix.fr

(2) Institut National de Recherche Agro., Domaine Saint-Paul site Agroparc, 84914 Avignon

Tél. : (33) 4 32 72 21 40 ; Fax : (33) 4 32 72 21 42 ; Email :

richard.delecolle@avignon.inra.fr

Mots-clé : effet de serre, rendement du blé, modèle de culture, Beauce.

Sous l'influence des activités humaines, la teneur en dioxyde de carbone (CO²) de l'atmosphère a augmenté de 260 ppmv (partie par million en volume) à l'époque préindustrielle à 350 ppmv aujourd'hui, et peut doubler au cours du XXI^{ème} siècle. Le CO² associé à d'autres gaz tels que le méthane, contribue à accroître l'effet de serre. Il devrait en résulter, selon le rapport 2001 de l'IPCC, une hausse de la température de surface moyenne de l'ordre de 1,4 à 5,8 °C sur la période 1990-2100. La présence d'aérosols soufrés pourrait limiter ce réchauffement.

Outre le CO², utilisé pour l'activité photosynthétique, le développement journalier d'une plante se produit en fonction des unités thermiques accumulées. De nombreuses études ont démontré que l'effet de serre aurait, sur une culture, deux impacts contradictoires : celui de la hausse de température, et celui de l'augmentation du CO² atmosphérique. Des températures élevées pourraient accélérer le développement de la plante en réduisant son temps phénologique, ce qui provoquerait une baisse de rendement. Une élévation du CO² atmosphérique stimulerait la vitesse de la photosynthèse engendrant en conséquence des rendements plus importants en matière sèche et en grains. Il s'agit, dans cette étude, d'estimer ce double impact de l'effet de serre sur les rendements d'une culture : le blé d'hiver en Beauce, vaste plaine qui se situe dans la région Centre, première région céréalière d'Europe.

Les prévisions climatiques pour le XXI^{ème} siècle sur le Bassin parisien ont été fournies par les sorties des modèles de circulation générale globale du *Hadley Centre* (Royaume-Uni) et du Laboratoire de Météorologie Dynamique (France), sous la forme de scénarios climatiques. Le réchauffement durant l'automne serait de 2-3 °C, et plus modéré le reste de l'année (de 1 à 2 C). Un générateur climatique (LARS-WG), nécessaire pour l'utilisation du modèle de culture, nous a permis de transformer ces scénarios en séries climatiques synthétiques journalières.

Les simulations de la croissance, du développement et du rendement du blé d'hiver ont été établies avec le modèle de culture STICS, mis en place par l'Unité de Bioclimatologie de l'INRA d'Avignon. Elles ont été faites à deux échelles spatiales différentes. Nous avons cherché à estimer l'impact du changement climatique, d'une part à l'échelle régionale et d'autre part à l'échelle de la parcelle, afin de faire ressortir une éventuelle variabilité intra-

régionale pouvant être liée à une influence du sol et des conditions techniques de culture. Nous avons d'abord analysé séparément l'impact de la température et celui de l'interaction entre les impacts de la température et du CO², sous le climat actuel (1 x CO²) ; cette analyse a montré les effets bénéfiques du dioxyde de carbone qui se traduisent par des rendements simulés plus élevés (d'environ 2 t/ha) que ceux obtenus dans la première hypothèse.

L'augmentation de la température induite par un doublement de CO² a provoqué un raccourcissement du cycle phénologique du blé d'hiver d'environ une dizaine de jours. Une baisse du rendement régional de 0,3 t/ha a ainsi été constatée, quel que soit le scénario climatique utilisé. A l'échelle de la parcelle, le même phénomène se produit avec cependant une différence entre les parcelles. La diminution du rendement est comprise entre -0,4 et -0,6 t/ha pour le scénario du Hadley Centre, et entre -0,7 et -0,9 t/ha pour celui du LMD.

L'influence combinée de l'augmentation de température et du doublement du CO² provoque une légère diminution des rendements de blé d'hiver beaucerons par rapport à la situation actuelle (de 4 % pour le scénario du Hadley Centre et de 7 % pour celui du LMD), contrairement à ce que l'on aurait pu espérer d'après les résultats de l'analyse sous le climat actuel (voir plus haut). Les simulations parcellaires ont fait ressortir l'existence d'une disparité territoriale de cette baisse. Nous avons constaté un écart de 2 t/ha entre les valeurs de rendements produites par la parcelle la moins productive et la parcelle la plus productive. La diminution des rendements parcellaires s'échelonne alors entre -0,4 et -0,7 t/ha pour le scénario du Hadley Centre, et entre -0,8 et -1 t/ha pour celui du LMD. L'augmentation des aérosols soufrés dans l'atmosphère limite légèrement (de 3 - 4 %) la baisse des rendements due à la hausse de la température■

Caractérisation topothermique des terroirs viticoles dans la Presqu'île du Cap-Bon (Tunisie) sur la base d'observations phénologiques

**H. BEN BOUBAKER (1), Y. CHARABI (1), H. QUENOL (2), A.M. GAMMAR (2),
G. BELTRANDO (3)**

(1) *Laboratoire de Biogéographie et de Climatologie Appliquée, 2010 la Manouba, Tunisie*

Tél. : 00 216 98 27 46 41; Fax : 00 216 71 60 09 10 ; Email : hboubaker@yahoo.fr

(2) *Laboratoire de Géographie des Milieux anthropisés, CNRS-FRE 2017, Lille, France*

(3) *Université de Paris 7*

Mots-clé : viticulture, topoclimat, phénologie, Tunisie.

L'Est de la péninsule du Cap-Bon (Kélibia et ses environs) est une région réputée pour ses plantations de vignobles (en particulier le *muscat d'Alexandrie*). La comparaison du développement phénologique du vignoble de cette variété, dans des parcelles distantes de quelques kilomètres, permet d'observer un décalage plus ou moins notable entre les terroirs du littoral et ceux de l'arrière pays. Il est estimé à environ 20 jours aux stades de débourrement et à 10 jours aux stades de maturation du raisin. Pour vérifier l'effet des facteurs topoclimatiques, en particulier d'ordre topothermique, sur ce décalage, nous avons mené des mesures *in situ* à postes fixes et itinérantes de quelques paramètres météorologiques, à des échelles fines d'espace et de temps.

Conformément au protocole mis au point, trois types de mesures ont été effectuées :

- Des mesures fixes de la température diurne et nocturne à 50 cm du sol (hauteur standard des vignes), à l'aide de capteurs thermiques de type *TinyTalk* dotés d'enregistreurs automatiques. Les mesures nocturnes ont été effectuées à intervalle de 5', en mode actinothermique (air libre sans abri météo). Quant à celles du jour, elles ont été prises sous abri peint en blanc afin de réduire l'effet de l'insolation et de standardiser les résultats.
- Des mesures fixes à l'aide d'une station météorologique automatique installée dans une parcelle viticole située à quelques dizaines de mètres de la mer.
- Des mesures itinérantes (T°, H.R., vent) effectuées de jour et de nuit, le long d'un transect d'environ 10 km de la côte vers l'intérieur, sur la route Kélibia-Azmour, bordant quelques parcelles de notre échantillon.

Ces mesures, réalisées lors de deux périodes différentes (débourrement et de floraison des vignes en mars-avril et maturation du raisin en août) permettent d'élucider le rapport entre la température et les stades de croissance de la vigne

L'analyse des résultats préliminaires a permis de mettre en évidence les contrastes thermiques diurnes et nocturnes (par situations radiatives) entre le littoral et l'arrière pays. Ces contrastes sont également détectables à l'échelle fine du topoclimat. Cette imbrication des échelles est fondamentale pour la caractérisation des terroirs viticoles. Dans la même parcelle, l'écart thermique nocturne moyen entre un capteur placé en position d'amont et un autre en aval, peut dépasser 1,7°C. Egalement, des écarts thermiques supérieurs à 4° ou 5°C, sont souvent enregistrés entre les parcelles littorales et celles de l'intérieur. Ces investigations représentent la première phase d'un projet de recherche sur la typologie et la caractérisation des terroirs viticoles dans la Presqu'île du Cap-Bon. Elles font suite à une première campagne d'observations phénologiques [Gammar A. ; 2001] qui sont compilées aux résultats des mesures des paramètres météorologiques à différentes échelles spatio-temporelles en combinaison avec les indicateurs morphométriques (altitude, position amont, position aval, distance/mer,...) et édaphiques. L'identification des terroirs viticoles se fait donc à la lumière de ces différents indicateurs, intégrés dans un S.I.G. ■

La diversité climatique aux échelles fines en « Suisse Normande » : une clé d'explication à la présence paradoxale d'espèces thermoxérophiles sous climat océanique tempéré

O. CANTAT

Laboratoire GEOPHEN (GEOgraphie Physique et Environnement) - UMR-LETG-CNRS 6554, Université de Caen Basse-Normandie - BP 5186, Esplanade de la Paix - 14.032 CAEN cedex ; Tél. : 02 31 56 60 46 ou 02 31 56 63 8 ; Email : cantat@geo.unicaen.fr

Mots-clé : mesures expérimentales, topoclimatologie, thermoxérophile, Suisse Normande.

Le laboratoire GEOPHEN réalise des études qui participent à la compréhension globale des milieux géographiques. La diversité des climats à échelle fine est prise en compte car c'est à ce niveau scalaire que bon nombre de faits géographiques « originaux » trouvent une partie de leurs explications. En conséquence, la topoclimatologie et la microclimatologie font l'objet de recherches expérimentales sur notre région (la Normandie).

Pour illustrer ces propos théoriques, voici l'exemple de la « Suisse Normande », espace où la diversité des cortèges floristiques et fauniques traduit l'existence d'une mosaïque de topoclimats et de microclimats contrastés, liée à la multiplicité de combinaisons des facteurs géographiques locaux. L'objet de la communication est :

- par l'observation, mettre en évidence le rôle des facteurs climatiques locaux à l'origine d'« anomalies » biogéographiques : présence ponctuelle d'espèces sub-méditerranéennes en Normandie, région pourtant réputée pour sa fraîcheur et son humidité ;
- par la mesure expérimentale, mieux connaître la climatologie effective d'un espace géographique dont la diversité n'est que partiellement perçue par le réseau des stations de Météo-France;
- par des procédés statistiques, « rattacher » objectivement le comportement climatique de cet espace atypique à des stations météorologiques pérennes (détermination de la station de référence la plus en accord avec le climat réellement « vécu »).

1. L'articulation des échelles climatiques en Normandie et ses conséquences biogéographiques

Au NO de la France, la Normandie présente un climat océanique classique pour une façade occidentale des latitudes moyennes, marqué par la succession rapide de types de temps contrastés mais où dominant globalement l'humidité et une fraîcheur relative en toutes saisons. A l'intérieur de cet ensemble, la situation géographique entraîne un découpage du climat normand en plusieurs variantes (mésoclimats) marquées par la dégradation progressive des conditions océaniques du NO vers le SE. A une échelle plus fine encore, les effets de site imposent des conditions climatiques parfois fort différentes des grands traits régionaux (topoclimats), non perceptibles par le réseau de Météo-France, mais décelables grâce à l'observation de certains bio-indicateurs. La localisation de ces « bio-topoclimats » a été réalisée à partir d'un inventaire des plantes vasculaires (plantes à fleurs, conifères et fougères) et des bryophytes (mousses et hépatiques) pour la flore, et des reptiles et orthoptères (criquets, grillons et sauterelles) pour la faune.

En « Suisse Normande », secteur bocager particulièrement réputé pour sa pluviosité et sa fraîcheur, certains escarpements rocheux sont ainsi paradoxalement peuplés par des espèces végétales et animales thermoxérophiles (Genévrier...), voire sub-méditerranéennes (Lézard vert, Criquet de Barbarie...). Ces bio-indicateurs matérialisent des biotopes très singuliers et notamment l'existence à échelle très fine d'un climat atypique - lié à l'imbrication de facteurs géographiques régionaux, locaux et stationnels - susceptibles de créer ponctuellement une ambiance plus chaude et plus sèche compatible avec le maintien de ces espèces en Normandie.

2. Les facteurs explicatifs de la singularité des topoclimats et des microclimats de « Suisse Normande »

Ces refuges biogéographiques particulièrement inattendus en Normandie trouvent leurs origines dans la présence d'un secteur bénéficiant d'une légère « continentalisation » des conditions atmosphériques. Ceci est lié à un double effet d'abri d'échelle sub-régionale (sous le vent des collines de Normandie) et locale (position de vallée), occasionnant moins d'humidité, moins de précipitations et surtout plus de soleil et de chaleur, éléments vitaux par définition pour les espèces thermoxérophiles. Mais ces « meilleures » conditions climatiques propres aux vallées relativement enclavées de Suisse Normande ne sont pas suffisantes pour répondre aux exigences thermiques et xériques de ces espèces, sans quoi on observerait une

répartition plus large de ces populations dont la présence reste ici très localisée et morcelée. La position d'abri est donc une condition nécessaire mais pas suffisante... La « méridionalisation » indispensable du biotope s'opère à l'échelle stationnelle, grâce aux particularités du dispositif pédo-topographique : l'exposition sud, la pente, les sols maigres et sombres amplifient l'assèchement et la surchauffe diurne de l'interface sol-air, offrant dès lors un « cadre de vie » acceptable pour ces espèces en dehors de leur aire principale de répartition.

3. La mesure expérimentale : pour une caractérisation climatique objective des espaces thermoxérophiles

Des mesures météorologiques expérimentales in situ sont venues confirmer l'originalité climatique de ces sites non instrumentés mais cependant représentatifs de l'espace géographique « vécu ». Pour pallier l'absence de poste climatique officiel, nous avons procédé à l'installation durant 9 mois consécutifs d'une station météorologique Pulsonic, dans un site proche des conditions « normalisées » (espace plan, dégagé et couvert d'herbe) et à proximité immédiate de nos escarpements. Ces données confirment nos hypothèses explicatives sur la continentalisation du secteur.

Pour asseoir plus solidement nos conclusions sur les conséquences du climat sur le milieu géographique, nous avons déterminé quelle était la station « officielle » pérenne la plus représentative de notre secteur d'études. Malgré la présence de stations à proximité immédiate, un traitement statistique entre nos mesures expérimentales et celles du réseau de Météo-France nous a curieusement guidé en dehors de la « Suisse Normande » (L'Oudon, 35 km au NE), en raison d'une configuration topographique présentant des analogies marquées.

Pour compléter ces observations « normalisées », des campagnes de mesure sur les lieux mêmes d'observation des bio-indicateurs thermoxérophiles ont permis de quantifier précisément cette modification à plusieurs échelles des conditions atmosphériques dans la vallée de l'Orne à son passage en Suisse Normande. Des mesures le long des escarpements rocheux ont exprimé concrètement l'assèchement et la surchauffe à l'interface sol-air, conditions sine qua non au maintien des espèces thermoxérophiles dans nos régions « officiellement » trop fraîches et trop humides■

Diminution altitudinale du stress hydrique de la végétation méditerranéenne en été

A. DOUGUEDROIT, V. CESARI

*Institut de géographie, Université de Provence, 29, Avenue R. Schuman - 13621 Aix-en-Provence Cedex 1 ; Tél. : 04 42 95 38 71 ; Fax : 04 42 64 01 58
Email : annick.dougedroit@up.univ-aix.fr ; v-cesari@up.univ-aix.fr*

Mots-clé : stress hydrique estival, végétation méditerranéenne, NDVI, influence de l'altitude.

En Basse Provence calcaire, la diminution du stress hydrique estival parallèlement à l'augmentation de l'altitude entraîne une augmentation simultanée de l'activité photosynthétique de la végétation repérable par l'indice satellital NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) obtenu d'après NOAA-AVHRR pendant trois saisons chaudes (d'avril à septembre 1995, 1996 et 1997). Les séries décennales du NDVI ont d'abord été recalées dans l'espace et les décades nuageuses éliminées. Ensuite elles ont été croisées dans un SIG avec

un modèle numérique de terrain (MNT) et une carte numérisée de la végétation obtenue à partir des cartes de la végétation au/200.000^e corrigées avec des informations relevées sur les cartes de l'Inventaire Forestier National (IFN).

Les quatre principaux groupements végétaux méditerranéens et subméditerranéens, à savoir les garrigues (à romarin ou chêne kermes), la garrigue avec pins d'Alep, la chênaie verte et la chênaie pubescente, possèdent à l'échelle de NOAA (pixels de 1,1 km²), des signatures distinctes les unes des autres qui varient en fonction de l'altitude. L'étude des distributions par tranches d'altitude des NVDI de chaque groupement végétal montre une augmentation des valeurs de NVDI avec l'altitude, ce qui peut être interprété en terme d'accroissement de l'activité photosynthétique sous l'effet de celui du stress hydrique, seul facteur susceptible d'expliquer en été une telle situation. Nous avons pu calculer les gradients estivaux par 100 mètres du NDVI de chacun des quatre groupements végétaux cités plus haut ; ils sont plus faibles pour les chênaies (0.02/100 m) que pour les garrigues (0.03/100 m). Ils apparaissent au printemps, après le démarrage de l'activité photosynthétique. Cette augmentation du NVDI de la végétation est le signal de celle du stress hydrique qui s'explique par les variations avec l'altitude de facteurs purement climatiques. Parmi les trois éléments essentiels pour l'activité photosynthétique, l'altitude n'a pas d'influence sur le CO² et affecte très peu la radiation solaire directe comme nous le montrons. Reste en cause la quantité d'eau disponible. En l'absence, là aussi, d'effet déterminant de l'altitude sur les rares averses convectives qui surviennent l'été en région méditerranéenne, on est donc amené à se tourner vers une limitation de l'évapotranspiration (ET). Cette dernière baisse avec l'altitude (en Californie par exemple). Des mesures expérimentales d'ET aussi bien que des estimations d'après la formule de calcul considérée comme la plus représentative dans le Bassin méditerranéen, celle de Penmann, manquent en dehors des basses plaines provençales. L'estimation d'ET faite d'après la formule de Thornthwaite avec une diminution des températures sans augmentation des pluies estivales en altitude aboutit à une diminution d'ET. On peut donc conclure que la diminution d'ET avec l'altitude entraîne la réduction du stress hydrique donc l'accroissement de l'activité photosynthétique dont l'augmentation du NVDI est le signal.

La diminution de la température avec l'altitude est aussi associée aux variations de la date de démarrage du gradient estival de NDVI de chaque groupement végétal calculée à partir de la somme de degrés-jours décadaires pendant les 3 années 1995, 1996 et 1997. La chênaie pubescente, seul groupement au feuillage non persistant, présente un cas à part car le NDVI associe l'augmentation de l'activité photosynthétique à celle de la biomasse■

Relations entre les rendements du blé dur et les précipitations en Tunisie semi-aride

M. FEKI, A. DOUGUEDROIT

*Institut de Géographie, Université de Provence, Aix-en-Provence, France
Tél. : 33442953853 ; Fax : 33442640158 ; Email : m_feki@hotmail.com*

Mots clefs : Blé dur, rendements, steppes, Tunisie.

Les céréales constituent des cultures stratégiques en Tunisie. Elles sont cultivées essentiellement en sec. Elles occupent environ 1.2 à 1.5 million d'hectares (M ha) soit 30 % des superficies labourables, avec 9.1 % des superficies couvertes pour le blé tendre, 54.5 %

pour le blé dur et 34.6 % pour l'orge. Les rendements moyens de céréales en Tunisie sont irréguliers et dépendent toujours des conditions climatiques. Ceci est plus particulièrement vrai pour les zones du Centre et du Sud où la pluviométrie est souvent insuffisante pour une bonne récolte et où les superficies emblavées ainsi que récoltées dépendent énormément du climat. Notre objectif est de déterminer l'influence de la variabilité des précipitations sur les variations des rendements de blé dur cultivé en sec en Tunisie. Nous nous sommes donc intéressés à la relation entre les rendements céréaliers et les précipitations. Le rendement constitue le meilleur indicateur des relations entre les techniques culturales, les qualités pédologiques et les éléments du climat. Pour ce faire, nous avons travaillé à l'échelle spatiale des gouvernorats, choisis dans deux régions.

- En Tunisie septentrionale (le Tell), la pluviométrie relativement régulière et dépassant 400 mm en moyenne, permet le développement d'une céréaliculture pluviale ; nous avons retenu trois gouvernorats : Kef, Silliana, et Zaghuan.
- En Tunisie centrale ou steppique (le centre-ouest) où l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviométrie imposent des systèmes de production extensive en sec et une date de mise en culture très variable selon les années, nous avons choisi aussi trois gouvernorats : Kairouan, Kasserine et Sidi Bouzid.

Une analyse de corrélation entre les rendements du blé dur de chaque gouvernorat et les précipitations de la station principale du même gouvernorat sur 12 ans (1987/1988-1998/1999), a montré que plus de 50 % de la variation des rendements dépend de la variabilité des totaux pluviométriques reçus entre novembre et mai. Lorsque les pluies sont prises en compte à l'échelle mensuelle, les pluies de février et celles de mars s'avèrent très importantes pour les rendements céréaliers dans chaque gouvernorat. En revanche dans le Tell, les corrélations représentent à peine 50 % de la variance et montrent une plus faible relation entre les rendements et les totaux mensuels.

La prédiction des rendements céréaliers moyens de ces gouvernorats par une régression multiple pas à pas (à 5 % d'erreur) à partir des précipitations mensuelles, montre la possibilité d'une estimation dès la fin de mars dans la région semi-aride, avec des écarts acceptables entre rendements observés et calculés. Ces écarts ne diffèrent pas à ceux obtenus par régression simple appliquée au cumul pluviométrique des mois sélectionnés par celle pas à pas. Dans la Tunisie tellienne, la prédiction donne des résultats plus faibles. Ces résultats, qui devront être confirmés à cause de la faible longueur des séries utilisées (12 ans), pourraient être utilisés dans une stratégie d'irrigation corrective pour améliorer les rendements.

Zones humides et contraintes climatiques : l'exemple des Landes de Versigny (Aisne, Bassin Parisien, France)

F. GREGOIRE (1), E. DAS GRAÇAS (2), J.C. HAUGUEL (2)

(1) *Station de Recherches de Cessières, CNRS umr 8505 ENS de Fontenay-Saint-Cloud*

(2) *Conservatoire des Sites Naturels de Picardie*

Mots-clé : Zones humides, nappes phréatiques, changement climatique.

Les zones humides sont a priori des milieux étroitement conditionnés par les éléments du climat, particulièrement la disponibilité en eau. Cependant, toutes les zones humides ne partagent pas la même fragilité, notamment dans le cas des tourbières. La présence d'un fort volume de tourbe, l'épaisseur de celle-ci, la communication avec une nappe de réserve

importante et sur un large bassin-versant peut limiter les conséquences d'aléas climatiques cycliques.

En revanche, certaines zones humides à fort intérêt patrimonial se trouvent dans des positions critiques quant à leur équilibre hydrologique. C'est le cas des Landes de Versigny, dont la plus grande partie est classée en réserve naturelle. Cet espace, dont le biotope le plus remarquable est constitué de landes tourbeuses dans sa partie centrale est soumis à des phases d'inondation en hiver et au printemps et à des phases d'assèchement prononcé en été et à l'automne, en fonction des variations du niveau des nappes.

Le système de nappes est un complexe de trois niveaux phréatiques dont le plus important du point de vue de la conservation des habitats de landes tourbeuses est un niveau superficiel et temporaire, relayé la plupart du temps en profondeur par une nappe de faible épaisseur, tout à fait locale, qui va se déverser dans la nappe de la craie, de puissance importante (plusieurs dizaines de mètres) et d'étendue régionale.

On observe depuis quelques années une diminution de la richesse patrimoniale, avec notamment la disparition d'espèces tout à fait remarquables.

- Plusieurs explications ont été avancées quant aux raisons de cette modification : tout d'abord, la modification de l'occupation des sols, ensuite, des changements dans le fonctionnement hydrologique du système para-tourbeux.
- Dans un premier temps, une étude a été menée sur le régime pluviométrique, afin de mettre en évidence une éventuelle diminution des pluies efficaces et surtout une modification de la répartition des précipitations au cours de l'année.
- Ensuite, la question de l'utilisation de la ressource en eau pour d'autres utilisations a été posée, sans pouvoir évaluer précisément les quantités prélevées.
- Enfin et surtout, nous avons tenté d'évaluer ce que les modifications de la couverture du sol ont pu apporter aux processus de réhumectation des horizons superficiels et il semble que cette influence ait été fondamentale vis-à-vis des nappes les plus affleurantes et les plus déterminantes pour les caractères du milieu■

Répartition des températures et culture des tomates en Tunisie

J. el HAJRI

*Département de Géographie – Faculté des Lettres - Manouba - 2010 - Manouba
Tél. : 71.600.700 ; Fax : 71.600.910*

Mots-clé : température, tomate, répartition temporelle, répartition spatiale.

En Tunisie la tomate présente un intérêt exceptionnel dans le système économique du pays aussi bien pour la consommation locale que pour l'exportation. La culture de saison est de loin la plus importante, surtout pour l'approvisionnement des usines de transformation. Si cette culture se fait un peu partout en Tunisie, le Cap-Bon reste la région de production la plus importante.

Il est à souligner que les emblavures destinées à cette culture ne cessent de s'accroître chaque année d'avantage. Certes cette croissance est conditionnée par des facteurs climatiques favorables, dont le plus déterminant est le facteur thermique. En effet, la tomate

est une plante exigeante en chaleur et les conditions d'environnement influencent sa croissance et sa nouaison. Elle nécessite des températures élevées et ne peut être cultivée en primeur que dans les régions littorales à hiver doux et où les risques de gel sont minimes. La température de l'air semble agir beaucoup sur la nouaison aussi bien que la température du sol ou la température diurne de l'air. En outre la température moyenne nocturne semble avoir au moins autant d'importance que la température minimale. En effet, la migration, vers les racines, les fruits et les autres organes de la plante, des produits élaborés dans les feuilles, grâce à l'assimilation chlorophyllienne, ne se fait pratiquement que pendant la nuit lorsque la température est relativement faible. L'équilibre température diurne température nocturne est considéré aussi bien pour la croissance que pour la nouaison ; un écart jour-nuit semble nécessaire pour obtenir une bonne croissance et une bonne nouaison chez la tomate. En général les besoins en températures de la tomate sont évalués dans le tableau suivant :

Germination		Alternance nécessaire croissance		Floraison Fructification		T Critique	T Min
Air	sol	Air	Sol	Air	Sol		
18 -	22 -	12 - 15	15 - 18	14 - 16	16 - 20	4	8
		18 - 22		22 - 28			

N = nuit

J = jour

C'est dans ce contexte que nous avons essayé de suivre dans une première partie la relation entre la répartition temporelle et spatiale de la température et les différents types de culture des tomates. Tout en prenant en considération les besoins en températures de la tomate suivant les stades physiologiques, nous avons essayé de déterminer les seuils de tolérance de cette culture. Dans une deuxième partie, nous avons pu déterminer un calendrier de production approprié à la culture : de saison, de saison retardée, d'arrière-saison et de primeur ■

Suivi par télédétection de la sécheresse de l'année 2000 dans la dépression de la Transylvanie

I. H. HOLOBACA (1), V. SOROCOVSKI (1), V. DUBREUIL(2)

(1) *Université Babeş-Bolyai, Faculté de Géographie, 5-7, rue Clinicilor, 3400 Cluj-Napoca, Roumanie ; Emails : moldovan@geografie.ubbcluj.ro; svictor@geografie.ubbcluj.ro ; holobaca@geografie.ubbcluj.ro*

(2) *COSTEL (UMR 6554 CNRS, LETG) Université Rennes 2*

Mots-clé : sécheresse, télédétection, Transylvanie.

La dépression de la Transylvanie est située au centre du territoire roumain, à l'intérieur de l'arc des Carpates. Cette vaste région dépressionnaire (environ 26000 km²) a des traits climatiques distincts par rapport aux régions extracarpatiques.

La dépression de la Transylvanie s'inscrit dans le climat tempéré continental aux nuances océaniques. La température moyenne annuelle varie entre 7,5°C et 9°C. La circulation d'Ouest et l'abri offert par la chaîne montagneuse qui borde la dépression à l'ouest permettent l'apparition d'effets de type foehn ; la hausse des altitudes d'ouest en est, concourt à l'augmentation des quantités des précipitations sur la même direction (moins de 500 mm dans l'Ouest, plus de 700 mm dans les hautes régions collinaires de l'Est).

Les particularités physiques qui individualisent la dépression parmi les autres unités géographiques de la Roumanie sont : sa localisation à l'abri des Carpates roumaines, le relief à prédominance collinaire, l'altitude moyenne de 650 m, la présence des larges vallées orientées Est-Ouest, l'utilisation du sol à prédominance agricole sur la plupart du territoire analysé. La sécheresse de l'année 2000 dans la dépression est survenue après une période pluvieuse (trois années 1998 – 2000 avec un écart $x_i - x_{med}$ compris entre 50 et 200 mm). Sans atteindre l'intensité spécifique aux régions de l'Est, du SE et du Sud de la Roumanie, la sécheresse a eu de graves répercussions socio-économiques.

Le traitement statistique repose sur les données enregistrées dans 11 stations météorologiques, qui ont toutes les données climatiques nécessaires pour calculer ETP avec la formule Penman. Le bilan de l'eau permet de caractériser l'intensité climatique de la sécheresse de l'année 2000 par rapport aux années antérieures pour un nombre limité de stations. Afin de spatialiser de façon détaillée (résolution spatiale d'un kilomètre) les régions touchées par la sécheresse en fonction de l'utilisation du sol et des paysages, on utilise les images fournies par les satellites NOAA. Les synthèses mensuelles du NDVI (méthode "maximum value") sont obtenues à partir des fichiers décennaux fournies par le SATMOS (CMS, Lannion) et les valeurs mensuelles des indices de végétation sont confrontées aux données climatiques stationnelles (ETP, déficit d'évaporation, réserve utile).

L'article a aussi comme objectif la vérification d'applicabilité de deux méthodes déjà utilisées en France (bilan de l'eau et NDVI) dans la dépression de la Transylvanie ■

Incidence de la météorologie locale sur les fluctuations de population du petit coq de bruyère

M. LONNEUX (1), M. VANDIEPENBEECK (2)

(1) Musée de Zoologie de l'Université de Liège, Institut de Zoologie, 22 Quai Edouard Van Beneden, B-4020 LIEGE, Belgique

(2) Marc Vandiepenbeeck, IRM, 3, av. Circulaire, 1180 Bruxelles, Belgique

Email : marc.vandiepenbeeck@oma.be

Mots-clé : modélisation, précipitations, températures, changement climatique global, dynamique de population *Tetrao tetrix*.

Le tétras lyre (Petit coq de bruyère *Tetrao tetrix*, Oiseau Galliforme) est une espèce d'oiseau à répartition boréo-montagnarde, adaptée à des climats rudes et des hivers froids et enneigés. En Europe occidentale "centrale", ses populations fluctuantes sont en déclin généralisé depuis la fin des années septante. Les populations alpines se portent mieux que les populations de faible altitude. Une analyse statistique originale a mis en relation sur 20 ou 30 ans les valeurs annuelles d'effectifs de tétras lyres recensés et de variables météorologiques locales, judicieusement choisies pour leur impact sur la survie des oiseaux à différents moments du cycle vital de l'espèce. Les résultats montrent que les températures minimales et les précipitations, enregistrées au cours de certaines périodes cruciales, interviennent de façon déterminante comme variables explicatives dans les modélisations statistiques qui reproduisent le mieux les fluctuations annuelles des effectifs recensés. Les analyses concernent des populations vivant dans six zones géographiques d'Europe occidentale : Hautes-Fagnes (Belgique), Sallandse Heuvelrug (Pays-Bas), Lande de Lunebourg (Allemagne du nord), Lange Rhön (Allemagne centrale), Monts métallifères (frontière germano-tchèque) et Nord des Pennines (Grande-Bretagne). Quatre des six populations présentent des résultats

communs hautement significatifs qui confirment le rôle négatif des hivers doux et des précipitations pendant la période de reproduction (couvaison et premières semaines des poussins), et le rôle positif des températures chaudes pendant la période d'éclosion des jeunes : Belgique, Pays-Bas, Allemagne du Nord et Allemagne centrale.

La qualité des résultats obtenus, la nature des variables météorologiques impliquées et le contexte de réchauffement climatique global nous ont fait chercher d'éventuelles tendances parmi les variables locales prises en compte dans les modélisations. La comparaison des valeurs annuelles des variables et des moyennes standard passées et actuelles pour les températures minimales et les précipitations mensuelles ont révélé d'intéressantes différences ou tendances, significatives pour certaines variables prises en compte par les modélisations. Les précipitations en particulier montrent des différences particulières, qui ont d'importantes répercussions biologiques pour l'espèce étudiée. Ces nouvelles tendances climatiques, si elles se confirment, peuvent effectivement nuire à la reproduction et l'hivernage de l'espèce étudiée. Le réchauffement climatique semble donc bien intervenir dans le déclin des populations à long terme, même si l'espèce souffre du changement climatique en plus des atteintes à son environnement et à sa tranquillité. Du point de vue du gestionnaire qui vise la conservation de l'espèce, des décisions qui améliorent à tous points de vue la qualité, la capacité d'accueil et la tranquillité de l'habitat préféré du petit coq de bruyère sont primordiales à court terme et favoriseront également le cortège d'espèces animales associées au tétras lyre dans les milieux qu'il occupe. La qualité de la plasticité de l'espèce jouera sur le long terme ■

Les graminées indicatrices du climat

R. MOREL

*Ingénieur Général d'Agronomie (C.H.), 19 Rue Henri Lot, 91860 Epinay sous Senart
Tél. : (33) 01 60 47 29 98 ; E mail : bobmorel@ifrance.com*

Mots-clé : graminées, bilan hydrique, climat du sol, évolution du sol.

La couverture végétale naturelle, notamment les graminées, donnent des indications sur le climat du milieu car les végétaux intègrent le climat atmosphérique et sa transposition par le sol. On peut avoir une idée du niveau moyen de disponibilité de l'eau, non seulement par l'apport des pluies mais aussi sur leur conservation et leur restitution par le sol. Les graminées ont des tailles variables suivant les variétés, des durées de vie allant d'un cycle très court à la pérennité. Il est intéressant d'observer les mêmes variétés aussi bien sous climat subdésertique que sous climat tropical humide. Nous allons montrer qu'il s'agit moins d'adaptation de la plante que la mise en évidence de niches climatiques particulières qui favorisent la présence de graminées inattendues sous des conditions pluviométriques qui leur sont inhabituelles. On obtient des renseignements sur l'état physique du sol et sur son comportement vis à vis des plantes. La mise en commun de plusieurs séries de mesures a permis d'expliquer les relations entre le climat, le sol et les graminées. Le seuil de validité des plantes indicatrices est abordé. On comprend l'utilisation du terme climat utilisé pour caractériser le milieu de croissance des plantes, ce vocable est ainsi employé en viticulture pour différencier par exemple les aires de production du Morgon ou les crus de Bourgogne.

Les données de base sont des observations climatiques associées à des comptages botaniques, des analyses physiques du sol, des mesures d'humidité, des études racinaires des végétaux. Des comptages floristiques ont été faits au Niger pour étudier la brousse tigrée, en

Centrafrique pour suivre l'évolution des jachères, en Libye des observations botaniques ont accompagné les prospections pédologiques. Les effectifs des graminées sont particulièrement extraits de ces statistiques. Les analyses de sol ont porté sur la granulométrie, sur la stabilité structurale, sur les caractéristiques hydrodynamiques, sur la compacité du profil. Les mesures d'humidité du sol suivant la pente et à différente profondeur sont comparées au peuplement végétal qui les recouvre. Les végétaux associés au ruissellement des eaux de pluie, façonnent d'ailleurs la surface du sol. La stratification des racines dans les profils de sol a permis d'étudier le mode d'enracinement, la densité des racines au m², l'épaisseur de l'horizon exploité par la plante. La confrontation de ces différentes données éclaire le problème des plantes indicatrices du climat.

La problématique est d'expliquer comment les mêmes plantes, avec des pluies annuelles moyennes très différentes de 350 à 1600 mm, peuvent indiquer des conditions de milieu identiques. On peut penser que la fourniture en eau, par l'interaction du sol et du climat, se fait à un niveau équivalent. Dans les zones sahéliennes les profils de végétation suivent la pente du terrain et la disponibilité en eau, les graminées rampantes colonisent les zones les moins humides dans les terrains les plus élevés. En zone tropicale humide ces mêmes petites graminées sont présentes sur des terres dégradées car l'enracinement faible caractérise une alimentation en eau irrégulière. Les bilans hydriques permettent de vérifier ces identités de situations pédoclimatiques. La condition pour qu'une plante soit intéressante est une fréquence relativement élevée dans la distribution botanique car un individu isolé n'a aucune signification. Une association entre plusieurs plantes peut également être retenue. Enfin la plante sera indicatrice si sa présence correspond à une situation climatique bien définie.

Le mécanisme physiologique de la plante explique son implantation. Il est lié à la profondeur de l'enracinement qui va dépendre de l'état du sol. Le couple sol-plante va alors exprimer une résultante micro climatique qui peut être différente du climat atmosphérique et de l'attente découlant de la seule pluviométrie. En zone sahélienne les graminées rampantes peuvent s'enraciner sur 30 à 40cm. Si on les trouve en peuplement abondant en zone tropicale humide c'est que le sol crée des conditions de mauvaise alimentation en eau. On observe alors un enracinement superficiel de 5 à 7 cm et en dessous le sol est massif, mal aéré et peu perméable. Il en résulte une réserve en eau disponible très faible et on peut dire que le pédoclimat présente des caractéristiques plus sahéliennes que soudaniennes. Ainsi, par exemple une population de *dactyloctenium aegyptiacum* peut se trouver dans le Sahel avec 350 mm de pluie, mais aussi en zone tropicale sous 1 600 mm si le sol est suffisamment dégradé pour ne permettre qu'une fourniture d'eau équivalente aux 350 mm du Sahel. La plante indique donc un microclimat sec. S'il y a régénération du sol des graminées nouvelles vont remplacer les précédentes en exploitant le terrain plus profondément. Les peuplements successifs de graminées vont indiquer des microclimats de plus en plus humides. Nous présentons des graphiques et tableaux pour bien caractériser ces relations.

En conclusion cette étude est une recherche d'application de la climatologie à la connaissance du milieu végétal. Comme il y a interaction entre climat et végétation, l'inventaire des graminées permet de caractériser les conditions du milieu avec ses limites climatiques amplifiées par les qualités ou les défauts du sol. Les exemples présentés indiquent, pour un climat donné, les niveaux de dégradation ou de régénération du sol et leurs conséquences sur le microclimat. D'où l'intérêt de l'observation des peuplements botaniques et la fluctuation de leur composition floristique pour comprendre comment le climat atmosphérique est traduit par le milieu. Dans une région sans relevés climatiques, les graminées peuvent apporter des indications sur le climat qui permet leur présence■

Diagnostic bioclimatique de la région semi-aride brésilienne

M.M. dos Passos

Universidade Estadual de Maringá - PR/Brésil

Mots-clé : région semi-aride, hydrographie, bioclimat, Nordeste brésilien.

En Amérique du Sud, il est possible d'identifier trois grandes régions semi-arides : la région Guajira, au Venezuela et en Colombie; la diagonale sèche du Cône Sud qui présente plusieurs nuances d'aridité le long de l'Argentine, du Chili et de l'Equateur; et le Nordeste semi-aride du Brésil, province phytogéographique des "caatingas", où les températures moyennes annuelles sont assez élevées et constantes.

Les facteurs qui caractérisent les régions semi-arides sont toujours d'origine climatiques, hydriques et phytogéographiques : bas niveau d'humidité, précipitations réduites et irrégulières tout au long de l'année, bilan hydrique négatif la plupart de l'année, sols avec des problèmes physiques et géochimiques, absence de cours d'eau pérennes. Le Nordeste semi-aride brésilien, sujet de cette investigation, possède une remarquable originalité, plutôt dans sa localisation plus proche de l'Equateur que des tropiques, mais en conservant les caractéristiques du climat tropical, avec deux saisons bien distinctes : une très sèche et une autre moyennement pluvieuse. Cependant, la région est soumise à une forte variabilité interannuelle avec des années très sèches et des périodes très pluvieuses entraînant des crues catastrophiques.

Le NE présente aussi des caractéristiques d'une région subdésertique paradoxale, puisqu'il présente un riche réseau hydrographique hiérarchisé, mais qui est soumis aux rythmes des saisons pluviométriques. Ainsi, la plupart des cours d'eau sont temporaires, à l'exception du Rio Parnaíba et principalement le Rio São Francisco, qui a sa source hors de la zone sèche et draine le "sertão" du NE pendant toute l'année.

A partir de la méthode mise au point par Rivas-Matinez, on a analysé les données climatiques de trois stations météorologiques dans la région de la "caatinga" (Barreiras, Barra do Rio Grande et Bom Jesus da Lapa). On a observé qu'il existe une grande corrélation entre le type de bioclimat et les formations végétales. Sur la carte des précipitations, l'isohyète de 750 mm annuels représente le seuil du *polygone de la sécheresse*. D'un autre côté, l'étroite zone de terres avec 800 à 900 mm annuels appelée "Agreste" peut varier du semi-aride au sub-humide, tandis que dans la région côtière du Nord Est oriental, les précipitations peuvent varier entre 1.500 et 2.200 mm, avec une concentration pendant l'hiver. Dans le domaine des "caatingas", prédomine la végétation adaptée aux climats secs et les cours d'eau temporaires, propres d'une région où les précipitations annuelles varient de 260 à 800 mm ■

1.2. Topoclimatologie

1.2.1. Variations topoclimatologiques du climat

Paramétrisation topo-géographique et situations météorologiques locales dans les Alpes orientales italiennes

M.FAZZINI (1a), C.BISCI (2a), F.DRAMIS (1b), G.PAMBIANCHI (2b)

(1) *Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Roma Tre – Roma – Italia*
Tél. : +39-6-584888022; Emails : (1a) maxmeteo@hotmail.com (1b) dramis@uniroma3.it
(2) *Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Camerino (MC)- -Italia*
(2a) Tél. : +39-737-402614; Email : carlo.bisci@unicam.it
(2b) Tél. : +39-737-402605; Email : gilberto.pambianchi@unicam.it

Mots-clé : Alpes orientales, variables topo-géographiques, précipitations, microclimats.

Le but de ce travail est de trouver la relation la plus satisfaisante possible entre distribution spatiale des précipitations totales et paramètres topo-géographiques ; ces dernières décrivent la morphologie de chacune des stations météo-climatiques (variables dépendantes). Ce type de recherche a déjà été appliqué à plusieurs domaines géographiques de l'Italie centre-septentrionale et le modèle, toujours amélioré, a donné des résultats excellents, surtout là où la morphologie n'est pas particulièrement complexe.

On a appliqué cette méthodologie aux Alpes orientales (25000 km²), où la complexité orographique est particulièrement évidente. Ce territoire est délimité vers le sud par la plaine du Pô qui se situe, avec ses provinces orientales, à moins de 30 km de la Mer Adriatique. L'aire d'étude présente une alternance de reliefs bien organisés et isolés tandis que l'hydrographie se développe selon plusieurs modèles, sans direction préférentielle. Les altitudes maximales sont de 4000 mètres (Groupe de l'Ortles-Cevedale) tandis que la moyenne est de 1700 mètres.

L'étude des précipitations, relatives à la période 1961-1990, se réfèrent à 250 stations pluviométriques assez uniformément distribuées sur le territoire (fig. 1), et avec des altitudes comprises entre 58 m et 2600 m au-dessus du niveau de la mer. On enregistre des quantités de précipitation très variables : en quelques dizaines de kilomètres elles oscillent entre 500 mm dans les vallées les plus « internes » (Val Venosta, Val Pusteria) et 3200 mm dans les Préalpes frioulanes qui représentent un des secteurs européens les plus arrosés.

La relation altitude/précipitations est particulièrement faible, avec un coefficient de corrélation R^2 compris, selon les saisons, entre 0,15 et 0,2 ; il y a un “*optimum pluviométrique*” à des altitudes comprises entre 300 m et 500 m, au dessus desquelles on assiste à une baisse considérable des valeurs, puis à une nouvelle hausse au-dessus de 1700 mètres. En introduisant d'autres variables géographiques à méso-échelle, par exemple les distances de la ligne de partage des eaux et de la mer Adriatique, on élève la variance statistique expliquée à 0,4.

L'application de la "Cluster Analysis" du type "K-means clustering" aux données pluviométriques standardisées a mis en évidence une subdivision du territoire en six aires, dans lesquelles même la relation altitude-précipitation est faible au point que les *clusters* qui regroupent les points les plus pluvieux sont ceux où l'altitude moyenne est la plus basse (domaine des Préalpes), tandis que les aires les plus sèches correspondent à la portion la plus interne et en particulier les hautes vallées des grands fleuves (Ortles-Cevedale, Alpes Aurine, etc.).

L'emploi d'une analyse statistique multivariée appliquée aux précipitations moyennes annuelles et saisonnières (variables dépendantes) par rapport à une série de 25 variables morphométriques et topo-géographiques (variables indépendantes) a conduit à la rédaction des équations de régression multilinéaire, en tenant d'abord compte des 250 stations telles quelles, ensuite en prenant en compte leur classification en *clusters*.

Dans le premier cas, la variabilité expliquée s'élève à environ 60 %, avec des contributions les plus élevées affectant les variables à méso-échelle (latitude et distance de la mer – inversement corrélées). Les résultats de la deuxième analyse ont été similaires pour le pourcentage de la variabilité expliquée (60,8 %), mais chacune des 25 variables utilisées a apporté sa propre contribution même si on remarque des écarts entre elles. Le régresseur le plus significatif en valeur absolue a été la distance de la mer Adriatique, avec un pourcentage moyen de 10 %. Les variables topo-géographiques les plus importantes sont celles qui décrivent la direction des vallées autour des stations.

De ces descriptions on peut déduire que, d'un côté, la sélection des variables se révèle satisfaisante et que, de l'autre, on a la confirmation que la complexité de l'orographie détermine des situations à micro-échelle, à l'intérieur du "strato limite" d'origine thermodynamique. Cette situation microclimatique a été mise en évidence par l'analyse des écarts entre les valeurs des précipitations réelles et des précipitations calculées par le modèle ■

Etude topoclimatique d'une région touristique subcarpatique (Pogórze-Tuchowskie)

B. OLECHNOWICZ-BOBROWSKA, J. GACEK

Chaire de Météorologie et Climatologie Agricoles, Université Agricole de CraCovie, Al.Mickiewicza 24/28, CRACOVIE, Pologne; Email : rmolechn@cyf-kr.edu.pl

Mots-clé : topoclimatologie, température, humidité relative, vent, Pologne.

Une bonne connaissance des conditions climatiques locales des régions rurales s'avère de plus en plus importante compte tenu du développement rapide du « tourisme rural » (séjours estivaux à la campagne, chez les particuliers) que l'on observe récemment en Pologne. C'est dans ce but que nous avons entrepris une étude concernant l'évaluation et la répartition géographique de différents topoclimats dans une petite région, intéressante du point de vue du repos et du tourisme, située dans les Précarpaties (Pogórze Tuchowskie).

L'objectif de notre recherche a d'abord été d'étudier l'influence du relief (altitude, exposition et pente) et de la couverture végétale sur les éléments du climat les plus importants, et ensuite, à partir des résultats obtenus, les conditions topoclimatiques

existantes. Les travaux sur le terrain ont consisté en des mesures itinérantes de la température et de l'humidité de l'air, de la vitesse du vent, et de la quantité des précipitations, ainsi que des observations visuelles de la nébulosité et du type des nuages. Ces mesures ont été effectuées au cours de journées choisies, aussi bien radiatives qu'advectives, de l'été et de l'hiver 2000, ainsi que du printemps 2001, sur deux itinéraires différents : un profil « long » et un profil « court ». On a aussi mené des mesures itinérantes sur une superficie plus étendue, en utilisant l'instrumentation installée sur une voiture spécialement équipée dans ce but. Les données recueillies ont été présentées sur des diagrammes et cartographiées.

L'analyse des matériaux rassemblés a permis une évaluation des conditions thermiques, hydriques et anémologiques lors du temps anticyclonique, mais aussi lors du temps cyclonique avec des vents relativement forts. Cette évaluation concerne les points de mesure individuels ainsi que les différents types de topoclimat que nous avons distingués dans la région étudiée■

1.2.2. Variations topoclimatologiques des températures

Analyse spatio-temporelle des séries de températures dans l'Apennin centre-méridional italien par rapport aux paramètres topo-géographiques

C.BISCI (1), M.FAZZINI (2), N.COCCIA (1)

(1) *Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Camerino (MC) – Italia*
Tél. : +39-737-402614 ; Email : carlo.bisci@unicam.it

(2) *Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Roma Tre – Roma - ITALIA*
Tél. : +39-6-584888022

Mots-clé : topoclimatologie, température, Apennins, Italie.

Dans un territoire extrêmement complexe comme celui de l'Apennin centre-méridional italien, on peut mettre en évidence une très grande variété de conditions thermiques, non seulement entre les différents versants de la péninsule (le versant adriatique, plus « continental » et le versant tyrrhénien, plus « méditerranéen ») mais aussi à micro-échelle selon différentes conditions topographiques :

l'alternance de reliefs calcaires plus ou moins organisés en chaîne qui arrivent à presque 3000 mètres (groupes du Gran Sasso et de la Maiella),

les vallées qui les incisent profondément et des plateaux quartiques (celui « delle Rocche » aux abruzzes internes qui est le site de l'Italie péninsulaire le plus froid en valeur absolue avec une minimale absolue de -26°C).

Cela permet la coexistence de plusieurs situations microclimatiques en toute saison. De plus, la latitude, l'altitude moyenne, la distance des reliefs aux mers Adriatique et Tyrrhénienne, leur orientation, le coefficient de maritimité et plusieurs autres facteurs géographiques déterminent des conditions thermiques extrêmement diversifiées. Les données thermométriques se réfèrent à la période 1961-1990 pour 51 stations, qui, situées dans les régions Abruzzes, Molise, Lazio et Apulie (fig. 1), présentent des séries suffisamment continues et crédibles pour permettre une analyse statistique satisfaisante. Les stations sont situées à des altitudes comprises entre 125 et 1470 mètres. La relation entre altitude et température est bien marquée (coefficients de corrélation R^2 compris entre 0,79 en l'automne et 0,9 du printemps). L'emploi d'une analyse statistique de régression multiple linéaire du type *stepwise*, appliquée aux précipitations moyennes annuelles et saisonnières (variables dépendantes) par rapport à une série de 26 variables morphométriques et topo-géographiques (variables indépendantes) a conduit à la rédaction des équations de régression multiple linéaire.

Les variables qui expliquent le mieux la variance totale sont la valeur des pentes autour des stations (qui favorisent les phénomènes d'inversion thermique en toute saison) avec des pourcentages variables compris entre 2 % et 8 %, selon les saisons; les « distances à la mer » et « l'encaissement de la vallée » qui expliquent à peu près 2,5-3 % de la variance, tandis que les autres variables n'arrivent jamais à un pourcentage supérieur à 2 %. Des situations microclimatiques particulières ont été mises en évidence par l'analyse des écarts calculés entre les valeurs des températures réelles et les valeurs calculées par le modèle. Entre les stations qui,

en général, sont plus « chaudes » que la normale, on trouve les stations situées sur pente et surtout sur les crêtes tandis que les stations plus « froides », qui ressentent des conditions de continentalité prononcées, sont situées sur plateau ou au fond des vallées.

On a ensuite standardisé les données pour mettre en évidence les éventuelles tendances saisonnières et annuelles. En général et d'une manière partiellement surprenante, on a montré une très faible tendance au refroidissement aux altitudes collinaires et aussi un faible réchauffement au delà de 1000 m; on observe aussi une variabilité intra-annuelle très marquée, surtout durant la période 1971-1981. L'année la plus chaude en valeur absolue a été 1982 tandis que les années les plus froides se sont établies entre 1976 et 1980.

On observe aussi que, au cours de plusieurs années, en général plus froides ou plus chaudes que la moyenne, des régions géographiquement voisines entre elles, montrent des évolutions opposées ; ce qui confirme la forte complexité thermique du territoire liée à celle de la topographie. La tentative de semi-quantification des écarts thermiques positifs ou négatifs par rapport à la moyenne, a été effectuée sur les données saisonnières et annuelles et a apporté une subdivision en 5 symboles (de ++ à --). Cette méthodologie, bien qu'assez rudimentaire, permet, en construisant une matrice ans (saisons)- symbole, de mettre en évidence la tendance pour chaque saison et aussi l'individualisation de situations similaires entre des aires situées loin les unes des autres■

Simulation du potentiel de refroidissement en situation radiative dans le vignoble de Champagne : exemple dans les Fonds de Sillery (NO de la Montagne de Reims)

S. Bridier, G. Beltrando

UMR 8586 du CNRS, Equipe Dynamique des Milieux et des Risques, Université Denis Diderot, 2 place Jussieu 75251 Paris Cedex 05

Tél. : 01 53 21 98 69; Email : sebastien.bridier@univ-lyon2.fr

Mots-clé : gel printanier, "matrice vectorielle", SIG, simulation, temps radiatif.

Au cours de certaines années (1989, 1991), le gel printanier des jeunes bourgeons occasionne des dégâts considérables pour la profession viticole. Ce gel se produit schématiquement lors de situations advectives (arrivée d'une masse d'air froid différente de celle qui est en place) ou radiatives (ciel clair ou peu nuageux, vents faibles ou nuls). Dans le premier cas, le refroidissement est assez général et la lutte antigel peu efficace, dans le second, la spatialisation des températures les plus basses est en relation avec la micromorphologie de la surface et la proximité de surfaces végétales, et peut être à l'origine d'un refroidissement accentué localement. Dans ce cas la lutte antigel peut être optimisée en prenant en compte ces deux facteurs.

De nombreux travaux ont montré que le refroidissement nocturne de l'air lors des situations radiatives est en relation avec les caractéristiques du relief et du couvert végétal (Geiger, 1968; Yoshino, 1975; Endlicher, 1980; Mahrt et André, 1982; Fallot, 1992; Bridier & al, 1995...). La répartition des basses températures dans un environnement viticole est étudiée à partir d'une analyse morphométrique du relief, des caractéristiques de la végétation couvrant la surface et de l'étude de données météorologiques enregistrées lors de plusieurs situations

radiatives. Ce travail permet de simuler le potentiel de refroidissement dans le secteur des Fonds de Sillery à partir d'une base de données détaillée (BD Alti et Carto de l'I.G.N.) et de mesures de terrain réalisées aux printemps 1998 et 2001 qui permettent de valider les hypothèses et de mettre en évidence la variabilité spatiale des températures en relation avec les caractéristiques locales du site. La confrontation du potentiel de refroidissement avec la localisation du vignoble produit une carte de répartition du risque de gel printanier pour ces cultures sensibles.

Les traitements reposent sur l'utilisation d'un système d'information géographique (Mapinfo) associant plusieurs types de données et d'analyses sur un espace de 9,96 km² pour simuler la répartition du potentiel de refroidissement local d'un secteur du vignoble de 7,3 km². Les données sont mises en relation par la méthode de la "matrice vectorielle", dont le pixel fait 50 m de côté, pour associer les données en format matriciel (traitements sur le MNT), et les données en format vectoriel (occupation du sol).

Les hypothèses, validées par les observations de 1998 et 2001, sur les relations entre la micromorphologie, l'occupation du sol et la répartition des basses températures sont matérialisées par un ensemble de requêtes SQL dans le SIG vectoriel. Les cartes, produites par un ensemble de requêtes, permettent de cartographier le potentiel de refroidissement en fonction des facteurs locaux. Ces cartes montrent que 2,98 km² de vignoble, situés dans les dépressions en pente faible (<5°), sont soumis à un risque de refroidissement. La simulation de l'effet des vents faibles sur le déplacement des masses d'air stationnant au dessus des cultures dans les secteurs horizontaux situés au pied des vignobles peut être réalisée par une requête sur les secteurs du vignoble situés à proximité des cultures, en pente faible (<5°), et exposés au quadrant nord à est, soit 1,1 km² de vignes. Cette technique peut être utilisée pour simuler le potentiel de refroidissement d'autres secteurs viticoles en adaptant les traitements aux caractéristiques locales, notamment dans la vallée de la Marne qui ne présente pas la même morphologie que la Montagne de Reims■

Modélisation spatiale à une échelle fine des températures minimales printanières dans le vignoble marnais

M. MADELIN (1, 2), G. BELTRANDO (1, 3), F. LANGELLIER (4)

(1) *Université Paris VII, 2 place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05*

Email : malika.madelin@parisgeo.cnrs.fr

(2) *UMR Géographie-cités – Equipe P.A.R.I.S., 13 rue de Four, 75006 Paris*

(3) *UMR PRODIG – Equipe Dynamique des Milieux et des Risques (CC7001), 2 place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05*

(4) *Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne, 5 rue Henri-Martin, BP 135, 51204 Epernay Cedex*

Mots-clé : topoclimatologie, vignoble de Champagne, températures minimales, interpolation.

La renommée du vignoble de Champagne suscite de nombreuses recherches, en particulier en agro-climatologie. De par sa situation septentrionale, celui-ci est très sensible aux gelées printanières survenant après le débourrement des bourgeons (reprise de la croissance végétative) et préférentiellement lors des situations radiatives (vent calme, ciel clair). Aussi,

depuis plus de dix ans, un système opérationnel de prévision des gelées printanières est utilisé par le Centre Départemental de Météo-France de la Marne (Choisnel et *al.*, 1993). Basé sur une analyse statistique des écarts thermiques moyens, il permet d'estimer pour quatre stations du vignoble la température en indice actinothermique¹, à partir de la température minimale et des caractéristiques de la masse d'air (nébulosité et vent) prévues à Reims-Courcy pour la nuit.

Afin d'améliorer la connaissance climatologique de la Champagne, Météo-France et le Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne ont mis en place, à partir de 1993, un réseau de stations météorologiques dans le vignoble champenois, avec l'aide de géographes de l'Université Paris VII (Beltrando, 1998). S'appuyant sur ce nouveau réseau, le système de prévision de Météo-France Reims a été amélioré en prenant en compte vingt stations du vignoble marnais (Madelin et *al.*, 2002). Certes la prévision est affinée spatialement, cependant elle reste encore insuffisante pour un vignoble s'étendant sur plus de 40 km d'est en ouest et 60 km du nord au sud, car tout point du vignoble peut être touché par les gelées printanières. En effet, on observe une très grande variabilité spatiale des températures minimales, notamment lors des situations radiatives : Geslin (1956) a montré sur le coteau d'Avize des écarts thermiques de 5-6°C sur quelques centaines de mètres ; et Beltrando (1998) a mis en évidence des différences de températures importantes (jusqu'à 8°C) entre des stations distantes seulement de quelques dizaines de kilomètres. Pour affiner la prévision de l'aléa gélif, l'objectif ici est de spatialiser les températures minimales sur l'ensemble du vignoble marnais.

Afin d'évaluer le champ thermique à partir des données ponctuelles des stations météorologiques, il existe deux grands types de méthodes d'interpolation : celles à base géostatistique postulant que la valeur de la variable étudiée en tout point dépend de celles des postes autour et de la distance à ces postes ; et les interpolations "multicritères" s'appuyant sur l'hypothèse que d'autres facteurs acimatiques peuvent influencer la valeur de la variable étudiée (tels que la latitude, l'altitude, etc.). Plusieurs auteurs (Carrega, 1994 ; Fury et Joly, 1995) ont mis en évidence que la variabilité spatiale des températures minimales dépend de plusieurs facteurs à différentes échelles : du macro-climat influencé par la localisation géographique (longitude, latitude) et du topo-climat où les facteurs topographiques sont très importants. C'est pourquoi nous avons choisi pour cette étude l'interpolation multicritère, reposant sur des régressions multiples.

Les descripteurs acimatiques sont définis à partir d'une base de donnée altitudinale (avec une maille de 50 m, du B.R.G.M.) et d'une base relative à l'occupation du sol (BD-Carto de l'I.G.N.). Cette étude repose sur huit printemps (du 15 mars au 31 mai, 1995-2002). Les données climatiques utilisées ici sont les températures minimales journalières de vingt stations du vignoble marnais ; les mesures de vent (direction et vitesse tri-horaires) et les observations de nébulosité (données tri-horaires) à Reims-Courcy sont également prises en compte pour délimiter les nuits de ciel clair et de vent calme, conditions proches du refroidissement radiatif.

Dans cet exposé, nous présentons les méthodes de définition des facteurs environnementaux et topographiques pouvant influencer sur la distribution spatiale des températures minimales. En particulier, nous insistons sur le calcul des paramètres selon différentes fenêtres spatiales (en nous appuyant sur les travaux de Fury et de Joly, 1995). Par exemple, une pente calculée dans un voisinage de 50 m autour d'une station automatique peut être sensiblement différente de celle calculée sur l'ensemble d'un coteau viticole (plusieurs centaines de mètres). Ce système de fenêtres spatiales permet alors de prendre en compte des

¹ Thermomètre à l'air libre, à 10 cm du sol, assez proche de la température des bourgeons.

phénomènes physiques et climatiques différents. Par ailleurs, la méthode de délimitation des nuits proches des conditions radiatives (reposant sur les données de nébulosité et de vent) est également présentée.

Plusieurs régressions sont réalisées : sur l'ensemble des dates printanières, sur les nuits de ciel clair et de vent calme et sur certaines dates. Les résultats montrent qu'il existe une influence significative du paramètre régional longitude sur la variabilité des températures minimales (et non de la latitude) : plus les stations se situent à l'est, plus les températures minimales mesurées sont élevées. De nombreuses particularités environnementales locales peuvent influencer ce résultat. La relation significative entre les températures minimales et l'altitude est encore plus forte, d'autant plus lors des nuits de ciel clair et de vent calme. En effet, pour ces nuits, la variation de l'altitude des stations météorologiques explique près de 40 % celle des températures minimales. Les mesures thermiques des stations de plaine et de bas de coteau sont plus basses que celles relevées au haut de coteau. Ce résultat s'explique par les phénomènes d'inversion thermique et d'écoulements catabatiques d'air froid le long des coteaux, présents lors des conditions radiatives (ciel clair, vent calme). Enfin, des régressions multiples permettent de dégager l'importance des différents descripteurs indépendamment les uns des autres.

L'étude permet d'identifier les facteurs jouant un rôle significatif dans la variabilité des températures minimales printanières dans le vignoble marnais : l'altitude, la longitude et les pentes selon différentes fenêtres spatiales. A terme, à partir de la température minimale prévue à Reims-Courcy, il sera possible d'estimer un aléa gélif pour l'ensemble du vignoble marnais, et donc d'aider les vignerons à protéger leurs vignes.

Bibliographie

- BELTRANDO G., 1998 : Les gelées printanières en Champagne viticole. Quelques résultats à partir d'un nouveau réseau de stations automatiques. *La Météorologie*, 8, 21, 30-44.
- CARREGA P., 1994 : *Topoclimatologie et habitat. Analyse spatiale et appliquée*. Thèse de doctorat de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, Rev. Géogr. du Lab. d'Analyse Spatiale R. Blanchard, 35-36, 408 p.
- CHOISNEL E., JOURDAIN S., CAMBLAN M., KLIS-LILIENTHAL I., McVEIGH J.P., 1993 : Un système de prévision des gelées de printemps à échelle fine dans le vignoble champenois. *La Météorologie*, 8, 2, 8-18.
- FURY R., JOLY D., 1995 : Interpolation spatiale à maille fine des températures journalières. *La Météorologie*, 8, 11, 36-43.
- GESLIN H., 1956 : Les variations microclimatiques de température et le problème des gelées de printemps. *Ann. Soc. Natl. Hort. Fr.*, 6, 1-11■

L'influence climatique de la Mer Noire sur le régime de la température de l'air sur le littoral roumain

G. NEAMU

Mots-clé : gradient thermique, influence de la mer, Roumanie.

Le littoral roumain s'étend dans la direction Nord-Sud sur 244 km entre l'embouchure du bras Chilia dans la Mer Noire et la localité frontalière Vama Veche (près de la frontière avec la Bulgarie). Le long du littoral roumain, il existe cinq stations météorologiques (Sulina, Sf. Gheorghe, Jurilouca, Constanța et Mangalia). Deux stations fonctionnent depuis plus d'un siècle (Sulina depuis 1873 et Constanța depuis 1886). En fonction des données récoltées, suite aux observations et aux études réalisées dans ces stations, on peut constater que le régime thermique est semblable à celui des côtes méditerranéennes, ce qui infirme le récit du poète

romain Ovide, exilé par Rome au bord du pont Euxin (il décrit dans ses poèmes "un climat dur et froid"). Sans doute, à présent, deux mille ans plus tard, les hivers sont plus froids, le nombre de jours ensoleillés est réduit et le vent est plus puissant (par rapport à la région de Rome d'où était originaire Ovide).

La température moyenne annuelle se situe entre 11,5°C à Mangalia, dans le Sud et 11,2°C dans le Nord. Sur le Plateau de la Dobroudja, à 35-40 km du littoral, la température baisse à 10,5°C (dans le Sud de la Dobroudja) et à 9,2°C (dans la Dobroudja du Nord). En hiver, au mois de janvier, les températures moyennes sont négatives dans la Dobroudja – à l'exception de la bande littorale située au Sud d'Eforie où la température s'élève de quelques dixièmes de degrés (0,5°C). Au nord d'Eforie, l'isotherme de 0°C est parallèle au rivage jusqu'à la zone du delta du Danube mais elle se situe au-dessus des eaux de la Mer Noire. Dans la moitié orientale de la Dobroudja et dans le Delta du Danube, les températures moyennes en janvier sont de -2°C. Au printemps, quand la terre chauffe durant la journée, la mer devient plus froide que la terre. Par conséquent, la température moyenne la plus basse est enregistrée en avril à l'extrémité sud du littoral, à Mangalia (9°C). Vers l'Ouest du littoral, les températures augmentent et le gradient thermique horizontal est opposé à celui de janvier. En juillet, l'air maritime est ressenti sur une bande de 25 km à l'intérieur de la Dobroudja. C'est ainsi qu'à Constanța les valeurs moyennes de juillet (22,1°C) sont de 1°C plus basses que dans la Dobroudja centrale et de 0,5°C plus basses par rapport aux valeurs enregistrées à Murfatlar (21,5°C en juillet), station viticole située à 20 km du littoral. En automne, (octobre), les moyennes les plus élevées sont enregistrées à Mangalia et à Constanța, sur le littoral de la Mer Noire (plus de 13°C). Celles-ci diminuent graduellement vers l'Ouest (12°C à Medgidia, 11°C dans la Dobroudja du Nord à Nalbant)■

Estimation des températures minimales dans les vallées des Ardennes belges

M. VANDIEPENBEECK

*Institut Royal Météorologique de Belgique, Av Circulaire, 3 - 1180 Bruxelles Belgique
Tél. : +32 2 373 05 23 ; Fax : +32 2 373 05 28 ; Email : marc.vandiepenbeeck@oma.be*

Mots-clé : topoclimatologie, statistique, modèle, prévisions.

Lors de certains types de temps, les températures minimales observées dans les vallées sont nettement inférieures à celles mesurées sur les hauteurs environnantes. En effet, l'air froid, plus lourd que l'air chaud, s'écoule le long des flancs de la vallée et crée un lac d'air froid dans le fond de celle-ci. Cette situation se présente le plus souvent lors de régimes anticycloniques qui conduisent à une relativement grande stabilité de l'atmosphère. En revanche, il y a d'autres conditions atmosphériques au cours desquelles les différences entre les fonds de vallées et les sommets environnants s'estompent. Il s'agit dans ce cas de temps généralement couverts, venteux et/ou pluvieux. Le but de cet article est double :

- faire une estimation des températures minimales dans un modèle de prévision,
- faire une estimation des valeurs possibles dans une vallée lors du contrôle de qualité des observations.

Dans les modèles de prévision, on a souvent des valeurs prévues pour quelques points qui ne tiennent pas compte de la topographie locale. Ce sont souvent des valeurs établies pour un point de grille et correspondant généralement à une surface plane. D'où l'intérêt de pouvoir estimer des valeurs de températures minimales dans les vallées à partir de celles fournies dans un modèle de prévision pour un point de grille proche de la zone étudiée. Dans le cas de la Belgique, il s'agirait des valeurs dans les vallées ardennaises obtenues à partir du minimum prévu au point de grille de Saint-Hubert. L'autre cas trouve son application dans la vérification des observations. Lorsqu'on place les valeurs observées des températures minimales sur une carte, on peut avoir des valeurs très différentes pour deux stations proches l'une de l'autre : l'une étant sur un plateau ou un sommet et l'autre dans une vallée ou un flanc de coteau. Le correcteur pourrait avoir tendance à "égaliser" et ramener vers une valeur plus haute l'observation de la température minimale dans la vallée. Avec la méthode présentée dans cet article, il est possible d'obtenir une estimation plausible des minima dans une vallée à partir des valeurs des minima, de la nébulosité et de la vitesse du vent notées dans une station de plateau.

La méthode utilisée consiste à établir des régressions linéaires multiples avec, comme variables indépendantes, les observations de la température minimale, la vitesse moyenne sur 10 min du vent à 6 h T.U., la nébulosité et la pression atmosphérique à la même heure à la station de Saint-Hubert et, comme variable dépendante, la température minimale relevée à Rochefort dans la vallée de la Lesse. On établit une régression pour chaque mois calendrier en ne retenant que les variables indépendantes significatives. On terminera par quelques cas que l'on comparera avec le type de temps qui s'est produit la nuit. On cherchera aussi une explication pour les cas où apparemment cela ne fonctionne pas■

1.2.3. Variations topoclimatologiques du rayonnement et de l'insolation

Corrélation entre température et insolation pour la région de Tizi Ouzou (Algérie): application au chauffage solaire

S. AMEUR (1), A. AKIR (1), D. IDRES (1), A. ADANE (2), H.SAUVAGEOT (3)

(1) Université Mouloud Mammeri, Faculté de Génie Electrique et d'Informatique, LIEPHEM, Campus de Hasnaoua, B.P. N° 17 RP 15000, Tizi Ouzou, Algérie

(2) Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (U.S.T.H.B.), Faculté d'Electronique et d'Informatique, Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, B.P. N° 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie

(3) Université Paul Sabatier, Observatoire Midi-Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

Mots-clé : température, insolation, statistique, corrélation.

En général, tous les phénomènes météorologiques observés dans l'atmosphère sont déterminés par l'interaction du rayonnement solaire avec l'environnement terrestre. Tout cela fait que la température et l'insolation constituent des paramètres importants en météorologie car ils sont représentatifs des échanges d'énergie entre l'atmosphère et la Terre. Ces deux grandeurs sont couramment mesurées dans les stations météorologiques et se prêtent bien à une représentation par des modèles statistiques. De tels modèles peuvent alors être utilisés pour décrire l'évolution du climat au cours du temps et résoudre les problèmes de prédiction météorologique dans une région donnée.

Afin de trouver une approche permettant d'exprimer le rayonnement solaire en fonction de la température de l'air et de rendre compte de l'évolution du climat de la région de Tizi Ouzou (Algérie), les propriétés statistiques de la température et de l'insolation mesurées au niveau de la surface terrestre, ont été analysées et comparées pour cette région. Les données utilisées, sont la température maximum et la température minimum enregistrées chaque jour à la station météorologique de Tizi Ouzou au cours de la période 1987/96 et les mesures de l'insolation collectées quotidiennement sur ce site de 1990 à 1995.

Cette analyse a consisté, tout d'abord, à établir une année de référence pour étudier les variations de température et d'insolation au cours de l'année et pour connaître le régime saisonnier de la région de Tizi Ouzou. Ensuite, les variations saisonnières ont été soustraites aux données journalières de température et d'insolation. A cet effet, les données de température ont été transformées en variable aléatoire, centrée et réduite tandis que les données d'insolation ont été divisées par leur valeur hors atmosphère. Les distributions mensuelles de fréquences des données journalières de température et d'insolation ont alors été construites. On trouve que les distributions de fréquence de températures ont une allure approximativement gaussienne alors que les distributions de fréquence d'insolation sont plutôt dissymétriques et dans la plupart des cas, présentent un maximum aux fortes valeurs de l'insolation.

Divers paramètres statistiques ont été extraits de ces distributions. Ce sont la moyenne, la variance, le facteur d'aplatissement, le facteur de dissymétrie, le coefficient de corrélation existant entre la température maximum et la température minimum, et le coefficient de corrélation liant ces températures à l'insolation. En analysant les différentes corrélations, on constate que les variations de l'insolation dépendent fortement des écarts entre la température minimum et la température maximum. Un modèle basé sur la corrélation entre les écarts de température et d'insolation a alors été élaboré pour générer des données journalières d'insolation à partir des mesures de température atmosphérique collectées à Tizi Ouzou. Ce modèle a ensuite été associé à l'équation d'Angström pour simuler le flux global d'irradiation solaire éclairant quotidiennement la région de Tizi Ouzou. Pour générer de telles données, nous avons utilisé les coefficients d'Angström calculés à Alger en tenant compte de la similarité des caractéristiques d'ensoleillement pour Alger et Tizi Ouzou. Les résultats ainsi obtenus ont été appliqués au calcul simplifié du chauffage d'une maison munie de capteurs héliothermiques, d'une installation de chauffage par circulation d'eau et d'un réservoir de stockage de chaleur■

Le rayonnement solaire sur pentes comme facteur de caractérisation des topoclimats

R. ANTONIOLETTI

INRA, C.S.E., 84914 Avignon cedex 9, France

Tél. : +33 (0)4 32 72 23 67 ; Fax : +33 (0)4 32 72 23 62 ; Email : rodrigo@avignon.inra.fr

Mots-clé : topoclimatologie, rayonnement solaire, évapotranspiration, Mt Ventoux.

Températures et précipitations sont les éléments de caractérisation climatique les plus couramment utilisés du fait de leur disponibilité. Les travaux de Douguedroit (1976) et Carrega (1994) sont de bons exemples d'analyse de leur potentiel descriptif et explicatif dans des études climatiques régionales. Mais à une échelle plus fine, ces variables sont insuffisantes pour rendre compte des contrastes de végétation aussi marqués que ceux qu'on peut observer, par exemple, au Mont Ventoux, dans le Midi de la France, entre le versant sud, méditerranéen, et le versant nord, qu'on peut rapprocher des Alpes du nord. En effet, les différences de température moyenne, à altitude égale, ne représentent que quelques dixièmes de degrés (Antonioletti, 1986 ; Antonioletti et Seguin, 1988). La nécessité d'obtenir des données de rayonnement solaire s'imposait, en tant que facteur climatique principal, mais ceci n'est devenu possible qu'au cours de la dernière décennie, avec la généralisation de la mesure dans les réseaux climatiques pouvant servir de référence pour leur transposition, à l'aide de modèles de calcul, à des sites avec pentes et orientations différentes (Legros et al, 1997).

A partir des mesures de rayonnement solaire global de la station de Carpentras de la Météorologie Nationale, nous avons calculé les grandeurs correspondantes à deux anciennes stations de l'INRA situées au Mont Ventoux à 1400 m d'altitude en versant sud et en versant nord, sur des pentes moyennes de 16° et 26.5°, respectivement. Nous avons ensuite calculé l'évapotranspiration de ces sites selon la méthode de Penman (ETP) sur un pas de temps décadaire afin de minimiser les problèmes liés à la variation spatiale de la nébulosité déterminée par la nature du relief (nuages de convection) et à certaines hypothèses du modèle de calcul (isotropie du rayonnement diffus), que nous avons pu constater précédemment. Par ailleurs, nous avons utilisé également les formules de Turc (ETTU) et de Thornthwaite

(ETTH), dont la validité a été largement discutée et analysée par plusieurs auteurs (Seguin, 1975). Dans le tableau suivant sont présentés les totaux annuels calculés par ces formules :

Formule	Carpentras	1400 m Sud	1400 m Nord
Pernman	1007	880	528
Turc	1009	511	420
Thornthwaite	756	530	516

Les grandeurs d'ETP semblent bien traduire les différences entre les sites, où les facteurs topoclimatiques acquièrent un rôle dominant, en particulier l'altitude, l'orientation et l'inclinaison des pentes. En effet, en versant Nord, l'effet de masque du relief affecte fortement le rayonnement global, tandis que les températures ne sont guère différentes de celles du versant Sud, ce qui peut expliquer la quasi indifférenciation des autres formules. L'analyse de la variation décadaire d'ETP Penman totale et de ses composantes radiative et advective, permet de faire ressortir d'autres caractéristiques des sites liées aux facteurs topoclimatiques■

Rôle de l'ensoleillement dans la dégradation des monuments ; résultats préliminaires

G. BRANCUCCI, G. PALIAGA

*Dipartimento POLIS, Fac. di Architettura Università di Genova, Str.ne S. Agostino 37 –
16123 Genova ;
Tél. : 39 0102095788 ; Fax :39 0102095843; Email : brancucci@arch.unige.it,
gpaliaga@arch.unige.it*

Mots-clé : radiation solaire, dégradation par le climat, monuments, *skylines*.

Dans le cadre des recherches effectuées à la Faculté d'Architecture de l'Université de Gênes, il est apparu absolument nécessaire d'élaborer une méthode d'analyse pour étudier l'effet des éléments microclimatiques, en particulier l'ensoleillement, sur la dégradation des façades peintes à fresques du centre historique de la ville. L'analyse détaillée des conditions microclimatiques auxquelles une façade est exposée peut, en effet, fournir un point de départ utile pour repérer des zones potentiellement plus exposées que d'autres à certaines formes de dégradation et, par conséquent, permettre de projeter des interventions ciblées de protection et de prévention.

Ce problème a été affronté en termes quantitatifs à travers l'élaboration d'une procédure rigoureuse de calcul qui peut fournir les bases d'une méthode d'enquête analytique de la dégradation. Ce type d'analyse est rendu particulièrement intéressant du fait que le centre historique de Gênes est caractérisé par un réseau étroit de ruelles et par des suites de palais de différentes hauteurs; en effet, dans un espace réduit et sur la même oeuvre, se produisent de forts contrastes entre soleil et ombre auxquels s'ajoute une exposition différente aux agents climatiques tels que l'eau et le vent en particulier.

Les effets de la dégradation sont causés par la présence/absence d'ensoleillement et se manifestent sous forme de la décoloration des surfaces peintes à fresques et/ou à travers l'apparition ou l'accentuation de lézardes. Ces dernières sont produites soit par un processus

d'affaissement structural, soit par des phénomènes pouvant être attribués à des effets thermo/cryoclastisme. Par contre, l'irradiation peut être positive en s'opposant à d'autres formes de dégradation liées à la présence d'eau, d'humidité, de moisissures, etc.

La recherche en cours a permis, de façon préliminaire, d'aboutir à des cartes mensuelles et annuelles de l'irradiation calculée de façon détaillée pour chaque élément architectural pris en compte. Après avoir identifié les sites les plus adéquats pour expérimenter la méthode proposée de sorte qu'ils soient représentatifs des diverses situations, on est passé à la réalisation des phases suivantes :

- définition de l'orientation dans l'espace des façades faisant l'objet de l'étude au moyen d'une cartographie à petite échelle,
- dessin de la façade,
- calcul de la radiation reçue, grâce à des techniques d'intégration numérique (le calcul d'irradiation a été effectué au moyen d'un logiciel commercial qui permet de déterminer les paramètres d'irradiation d'une surface dans l'espace en fonction de son orientation et du *skyline*).

Pour obtenir un résultat rigoureux et précis, la définition scrupuleuse d'obstacles qui s'interposent entre les rayons solaires et la surface étudiée (*skyline*) est apparue d'une importance fondamentale. Pour atteindre cet objectif, le procédé prévoit trois phases■

Etude du rendement du silicium mono-cristallin en milieu désertique

S. Harrouni, A. Maafi

*Instrumentation Solaire et Modélisation – LINS, Faculté d' Electronique et d'Informatique
– USTHB, BP 32 El - Alia, Bab Ezzouar, 16111 Alger; Email : Sharrouni@yahoo.fr*

Mots-clé : SI mono-cristallin, photovoltaïque, rendement, température.

L'objectif de cette étude est d'évaluer expérimentalement les performances d'un générateur PV fabriqué à partir de cellules à base de silicium mono-cristallin. On entend par performance le rendement de conversion et ses variations en fonction de l'environnement climatique, tel que par exemple la température. Le silicium mono-cristallin a été utilisé dans la fabrication des modules PV qui ont été utilisés pour diverses applications tel que le pompage par exemple...Le rendement donné par les constructeurs des modules dans les conditions standard est de l'ordre de 14 %. Cependant, en pratique ce rendement oscille autour de 10 %. Cette étude vise à étudier expérimentalement le rendement du silicium mono-cristallin. Pour cela, une manipulation expérimentale composée d'un système PV a été utilisée en milieu désertique.

Le système PV a été installé par la Sonelgaz (Société Nationale d'Electricité et Gaz) dans le village de Tahifet (latitude = 22°53' Nord, longitude = 6° Est et altitude = 1400 m) à proximité de Tamanrasset dans le grand Sud Algérien. Le générateur PV de ce système est d'une puissance de 720 Watts-crête et il a une surface totale de 6 m². Il est orienté vers le sud et est incliné d'un angle égal à 10° par rapport au plan horizontal. Les données utilisées dans cette étude ont été enregistrées par un système automatique d'acquisition de données qui mesure toutes les 10 minutes les paramètres permettant le contrôle du système à savoir :

l'éclairement solaire global (E_{cl}), la température ambiante (T_a), la température du caisson de la batterie (T_c), le courant généré (I_g), le courant utilisé (I_u), la tension de batterie (V_b) et la tension du champ PV (V_c). Ces paramètres ont été enregistrés au cours de l'année 1992.

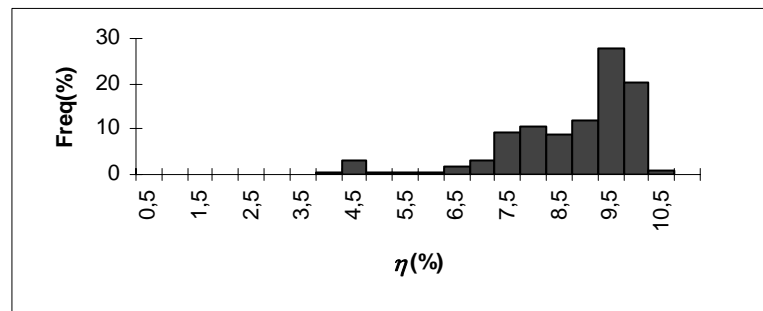


Fig.1 : histogramme des rendements journaliers du générateur PV

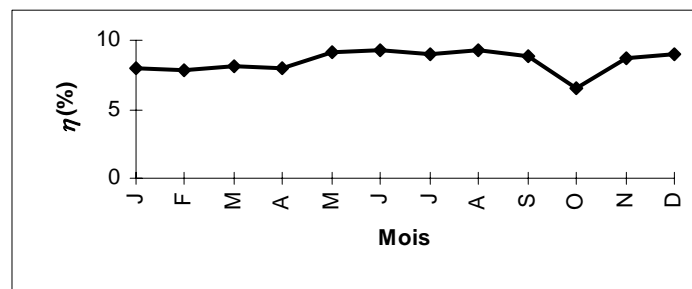


Fig. 2 : Evolution annuelle de la moyenne mensuelle des rendements journaliers

Les données acquises ont été utilisées pour évaluer le rendement η de conversion du générateur PV. Ce rendement est donné par le rapport entre l'énergie convertie par le générateur et l'énergie solaire incidente. Compte tenu du pas de temps de l'acquisition (10 minutes), les rendements du générateur ont été évalués à différents pas de temps : 10 minutes, heure, journée. Pour apprécier la distribution des rendements journaliers, l'historique de ces derniers a été établi en utilisant des classes de 0,5. La figure 1 représente cette distribution et montre qu'une grande partie des rendements journaliers est concentrée autour de 9 %-10 %. La figure 2, quant à elle, représente l'évolution annuelle de la moyenne mensuelle du rendement journalier de conversion. Le rendement moyen est de 8,5 %. Il correspond pratiquement à la moitié du rendement donné par le constructeur pour les conditions standard de fonctionnement. Cela est essentiellement dû au milieu climatique dans lequel fonctionne ce générateur PV. En effet, les conditions désertiques sont caractérisées par de fortes températures et un fort ensoleillement pendant la journée au cours du printemps et de l'été.

Etant donné que la température est un paramètre qui influence le rendement, l'effet de la température ambiante sur le rendement de conversion a été analysé. Cette analyse a montré que le rendement au cours de la journée reste presque constant (9 %-10 %) dans le cas où la température reste faible (figure 3-a). Dans le cas où la température est élevée, le rendement chute à un moment donné (figure 3-b). Ce dernier correspond à l'instant où la température ambiante atteint une valeur de 42°C. En effet, cette forte température ambiante influe sur la

température des modules T_j qui conditionne à son tour le rendement des modules. La température T_j peut être calculée à partir du NOCT (Normal Operating Cell Temperature), grandeur intrinsèque du module et qui est donnée par le constructeur :

$$T_j = T_a + \frac{(NOCT - 25^\circ C) \cdot E_{cl}}{E_r}$$

E_r est l'éclairement de référence qui vaut 1000 W/m^2 .

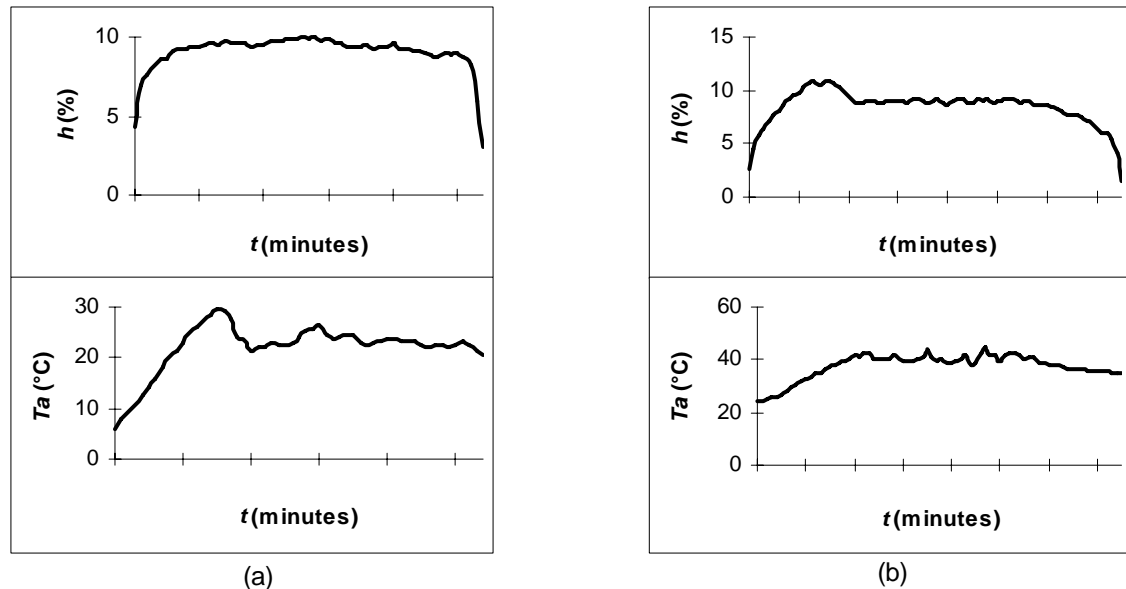


Fig.3 : Influence de la température ambiante sur le rendement

A titre d'exemple, la température des modules peut atteindre une température de l'ordre de 56°C si la température ambiante est de l'ordre de 42°C . Une évaluation plus détaillée de l'effet de la température ambiante sur le rendement des modules à base de silicium monocristallin sera donnée dans la communication. ■

Utilisation de l'indice d'ennuage pour la détermination de l'irradiation solaire à partir des images *météosat*

B. LOUNIS, A. MAAFI

Instrumentation Solaire et Modélisation, LINS, Faculté d'Electronique et Informatique, USTHB, BP 32 El Alia, 16111 Alger; Email : lounisbahia@yahoo.fr

Mots-clé : rayonnement solaire, images-satellite, Algérie.

La connaissance de la distribution du rayonnement solaire dans l'espace et dans le temps est d'un intérêt majeur dans de nombreux domaines intéressant la gestion des ressources terrestres. Les cartes solaires sont établies soit à partir des mesures du rayonnement solaire au sol, soit à partir des données simulées avec des modèles statistiques [1] ou en fonction d'une hypothèse de répartition zonale pour les régions où les mesures radiométriques et climatiques sont quasi inexistantes. L'imagerie satellitaire offre une autre alternative pour la modélisation spatio-temporelle du gisement solaire [2]. Dans ce contexte, nous présentons les résultats

d'estimation de l'irradiation globale à partir des images hautes résolution du satellite *METEOSAT* en se basant sur l'algorithme *GISTEL* par *Ennuagement*.

Le principe de la méthodologie *GISTEL* est la comparaison de la brillance instantanée pour chaque pixel donné avec deux brillances de référence (l'une par ciel clair et l'autre pour une couverture nuageuse opaque) et permet d'attribuer au pixel un éclaircissement au sol [3]. La difficulté est de déterminer ces deux brillances de référence. Dans cette étude, nous proposons l'utilisation de l'indice d'ennuagement pour l'évaluation des seuils du modèle. Ce dernier présente le taux de recouvrement des pixels par les nuages; il dépend étroitement de la nature du sol et de la couverture nuageuse à l'instant de prise de vue [4].

L'étude a concerné quatre sites du territoire national à savoir : *Alger* ($36^{\circ}43'N$, $3^{\circ}15'E$), *Oran* ($35^{\circ}16'N$, $0^{\circ}38'O$), *Béchar* ($31^{\circ}38' N$, $2^{\circ}15'O$) et *Tamanrasset* ($22^{\circ}48'N$, $5^{\circ}27'E$). Des figures présenteront la comparaison des irradiances estimées à partir des images satellitaires et celles mesurées au sol, correspondant à la même période d'acquisition, pour *Alger* et *Béchar*. Elle montreront l'aptitude du modèle utilisé à reproduire l'évolution de l'irradiation solaire au cours de l'année avec une erreur quadratique moyenne de l'ordre de 7 % pour les sites du sud et 13 % pour ceux du nord [5, 6]. Ceci appuie, d'une part, l'algorithme *GISTEL* et d'autre part, l'utilisation de l'indice d'ennuagement comme un paramètre prédicteur du rayonnement solaire.

Références

- [1] A. Maafi, "Tilted surfaces iso-radiation maps for Algeria", Renewable Energy, climate change, Energy and Environment, A.A.M. Sayigh Editor, Elsevier Science Ltd, 1994, Oxford (UK), Proceeding 3rd WREC, Rome (UK), 11-16, September 1994, Part III, p2339-2341.
- [2] J. E. Hay, "Satellite based estimated of solar irradiance at the earth's surface I", Modelling approaches, Renewable Energy, 3 (4/5), 381-393, 1993.
- [3] C. Delorme, A. Gallo and J. Olivieri, "Quick use of WEFAX images from METEOSAT to determine daily solar radiation in France Solar Energy", Vol 49, (N°3), 191-197, 1992.
- [4] N. Bachari, A. H. Belbachir and N. E. Benbadji, "Numerical method for satellite imagery analysis", Thèse de doctorat en science, 49-58, USTO, 1999.
- [5] B. Lounis et A. Maafi, "Traitement des images METEOSAT VI en vue de l'estimation de l'irradiation globale pour le site d'Alger", first International Conference on Electrical Engineering ICEE, Boumerdes, Novembre 2000.
- [6] B. Lounis, "Contribution des images *METEOSAT* au dimensionnement des systèmes photovoltaïques", thèse de Magister, USTHB, 2001 ■

Estimation du rayonnement atmosphérique dans la plaine du Sourou au NO du Burkina Faso.

M. SANON (1), H. NICOLAS (2)

(1) Institut de l'Envir. et de Rech. Agric. (INERA) B.P. 8645 Ouagadougou 04 - Burkina Faso
Tél. (226) 53650 ; Fax (226) 536563 ; Email : stdi@fasonet.bf, moussanon@hotmail.com

(2) Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA)- 65, rue de Saint Brieuc, 35042 Rennes
Cedex, France

Mots-clé : évapotranspiration, bilan radiatif, émissivité, modélisation.

Après avoir présenté l'influence du rayonnement atmosphérique sur les besoins agricoles et sur l'invalidité dans la plaine du Sourou, plusieurs modèles de rayonnement atmosphérique ont été testés pour restituer ce paramètre. Cette importante étape méthodologique a permis de

s'assurer de la bonne qualité des données nécessaires à la modélisation du rayonnement atmosphérique.

Un modèle simple, valable durant toute la durée de la campagne de mesures, de février à avril, a été conçu. Il a montré la limite de généralisation des modèles statistiques. Le modèle localement conçu au Sourou a l'avantage d'intégrer la température et la pression partielle de vapeur. Son choix a tenu compte de sa simplicité et des paramètres statistiques des régressions multiples. Le modèle de rayonnement atmosphérique obtenu est intégré dans l'équation du bilan d'énergie. Les bilans radiatifs de deux journées contrastées ont été présentés avec des tendances cohérentes. Le rayonnement net calculé concorde avec le rayonnement net mesuré par le bilan mètre■

1.2.4. Variations topoclimatologiques de la neige

Neige et avalanches dans les Alpes françaises en janvier-février 1999

G. BLANCHET

Société Météorologique de France ; Email : blanchet.guy@wanadoo.fr

Mots-clé : neige, avalanches, Alpes.

L'hiver 1998-99 restera sans doute inscrit dans la mémoire collective pour des raisons contradictoires. Dans les Alpes du Nord, il a été marqué par les abondantes chutes de neige de janvier et février et de multiples avalanches dont l'une particulièrement meurtrière ; en revanche, dans les Alpes du Sud, le déficit de neige a été remarquable.

Après un mois de décembre chiche en neige, le mois de janvier voit quelques chutes en fin de première décennie dans l'extrême sud du massif et en milieu de mois dans le Nord. Le premier épisode neigeux important débute le 26 janvier et se poursuit jusqu'au 29. Un flux perturbé de NW provoque en effet de copieuses chutes dans le nord du massif. Le cumul atteint 100 à 150 cm vers 1500 mètres (281 à La Rosière, à 1900 m) ; à elle seule, la journée du 28 apporte 40 à 70 cm (75 à Pralognan) et la lame d'eau est comprise entre 50 et 100 mm. La Haute-Maurienne et l'Oisans, toujours abrités dans ce type de situation sont moins bien servis. En allant vers le sud, les précipitations diminuent rapidement (effet de foehn) : 55 cm de neige à Briançon, 30 à Ceillac, 5 à Barcelonnette et rien dans les Alpes-Maritimes. Des avalanches se déclenchent sur de nombreux versants, mais sans faire de victimes.

Après une période anticyclonique, froide et sèche, les Alpes sont de nouveau balayées entre le 5 et le 9 février par un vigoureux flux de NW (80 nœuds à 500 hPa). La limite pluie/neige s'élève temporairement vers 1000 m. Les cumuls sont de l'ordre de 100 à 150 cm vers 1500 /1800 m dans le Nord du massif, davantage dans les Aravis (198 cm au Grand-Bornand, à 1300 m) et la région du Mont-Blanc (225 cm au Tour, à 1460m). Durant la seule journée du 8, à Vallorcine, la couche s'épaissit de ...90 cm. Comme lors du précédent épisode, la neige est moins abondante en Haute-Maurienne (74 cm à Bessans, 41 au Mont-Cenis) et surtout dans le sud (24 cm à Briançon, 22 à Auron, 11 à Isola 2000). L'épaisseur de la couche atteint 140 cm à Bourg-St-Maurice, 150 à Chamonix, 200 à Argentière et au Grand-Bornand, 203 au col de Porte, 227 à Avoriaz et 230 à Hauteluce. Dès le 7, l'activité avalancheuse s'intensifie (nombreuses routes coupées), mais c'est le 9 que la situation devient dramatique, notamment dans la vallée de Chamonix ; les coulées de neige présentent des trajectoires et des extensions inhabituelles. Au hameau de Montroc, dans la haute vallée de l'Arve, une énorme avalanche détruit 17 chalets et tue 12 personnes, dans une zone « blanche » considérée comme non exposée au risque.

Un troisième épisode concerne la période du 17 au 24 février. Un flux de NO touche une fois de plus les Alpes, mais l'origine des masses d'air est, par moments, un peu plus méridionale, ce qui fait fluctuer la limite pluie/neige entre 500 et 2000 m. En fin de période, le flux s'oriente au N et il neige jusqu'en plaine. Les cumuls de neige fraîche, moins importants que précédemment à basse altitude, sont encore remarquables au-dessus de 1300 m (souvent

plus d'un mètre ; 222 cm à Avoriaz, 235 à La Rosière). Le manteau neigeux est parfois supérieur à 2 mètres (260 cm à La Rosière, 273 au Tour et 315 à Avoriaz). De très nombreuses avalanches affectent tous les secteurs des Alpes, coupant les routes, mais ne faisant heureusement pas de victimes. Une fois de plus, les Alpes du Sud ne reçoivent que de très modestes chutes ou même rien du tout. Le cumul de neige fraîche pour les trois épisodes, c'est-à-dire en moins d'un mois, est remarquable : 440 cm au Grand-Bornand, 472 aux Saisies, 494 à Argentière, 522 à Avoriaz, 612 à La Rosière. Le contraste est saisissant avec les Alpes du Sud (24 cm à Auron, 12 à Isola 2000...).

Est-on en présence d'un événement exceptionnel ? Comment d'ailleurs évaluer le caractère exceptionnel d'un phénomène concernant la neige et les avalanches ? Est-ce :

- un événement resté dans les mémoires ?
- un phénomène jamais observé antérieurement (notion de record) ?
- un événement ne se produisant que très rarement (tous les 20, 30 ou 100 ans) ?

Le recours à la mémoire est en général trop subjectif et incomplet. On se souviendra d'une avalanche qui a fait des dégâts ou des victimes, même si elle est de faible importance sur le plan physique, alors qu'une autre bien plus importante survenue dans un lieu inhabité ne laissera aucun souvenir.

La comparaison avec des phénomènes du passé nécessite des observations et un archivage des données durant une longue période. Or, les archives dans ce domaine ne remontent pas très loin (quelques décennies au mieux) et sont souvent fragmentaires. Le caractère exceptionnel d'un épisode ou d'un hiver peut-il être mesuré par :

- le nombre d'avalanches ? Il n'est connu que très imparfaitement.
- le nombre d'accidents ? Il est mieux connu, mais dépend de la fréquentation de la montagne. Les risques s'accroissent avec l'augmentation du nombre de visiteurs et de résidents et la multiplication des constructions.
- le nombre de victimes ? On le connaît de façon précise à présent, grâce, entre autres, aux statistiques de l'ANENA.
- les hauteurs de neige ? Ce critère permet des comparaisons objectives, mais les statistiques sérieuses ne sont pas très anciennes (une quarantaine d'années en France). Il convient d'ailleurs de distinguer les hauteurs cumulées et l'épaisseur maximale du manteau neigeux.

En fonction de ces critères, que peut-on dire de l'hiver 1998-99 ? En ce qui concerne le nombre de victimes, on a recensé dans les Alpes françaises 43 morts pour l'ensemble de l'hiver (dont 26 entre le 26 janvier et le 26 février). Il y en avait eu 57 durant l'hiver 1980-81, la moyenne annuelle étant de 30. Si l'on examine les victimes d'une seule avalanche, celle de Montroc qui a fait 12 morts arrive en deuxième position après la catastrophe de Val d'Isère en février 1970. Quant aux hauteurs de neige, en examinant uniquement les cumuls de février, on peut affirmer que ceux-ci constituent des records depuis 1970 dans plusieurs stations de Haute-Savoie (Megève, Les Contamines, Les Gets etc.). En Savoie, février 1999 arrive en deuxième position après février 1970. En Isère, février 1999 est à égalité avec février 1970 à Belledonne, mais en Oisans, il est derrière 1970. Si l'on analyse la seule période du 26 janvier au 24 février, les cumuls de 1999 sont des valeurs-records dans la plus grande partie des Alpes du Nord, en-dehors de la Maurienne. L'épaisseur maximale du manteau neigeux à Bourg-St-Maurice (140 cm) arrive au deuxième rang après janvier 1981 (163 cm) ; à Chamonix, avec 150 cm, on égale les records de février 1963 et de janvier 1981. Au total, la période janvier-février 1999 est l'une des plus remarquables survenues depuis une quarantaine d'années dans les Alpes françaises ■

Nivométrie dans la Vallée d'Aoste et ses implications touristiques

S. FRATIANNI, L. MOTTA

*Dipartimento di Scienze della Terra – 35, Via Valperga Caluso, 10125 Torino, Italie
Tél. : +39 011 670710 ; Fax : +39 011 6707155 ; Email : Fratianni@dst.unito.it;
Motta@dst.unito.it*

Mots-clé : épaisseur du manteau neigeux, hauteur de la précipitation neigeuse, régimes nivométriques, nombre de jours neigeux.

On a considéré les données nivométriques de sept stations météo-climatiques à relèvement manuel de la Région Autonome de la Vallée d'Aoste (Italie), zone touristique très connue pour les domaines skiables. La période considérée pour les analyses climatiques commence de la saison 1972-73, année d'installation des stations manuelles de Gressoney la Trinité (1640 m), Cogne (1700 m), Rhemes Notre Dame (1720 m) jusqu'au mois de mai 2002 ; toutes appartiennent à l'AINÉVA (Bureau Avalanches). On a même tenu compte des données climatiques de Brusson (1285 m), Cignana (2130 m), Gabiet (2380 m), Goillet (2550 m), qui proviennent de l'ENEL. Toutes ces données sont issues de stations nivo-climatiques actives des Alpes valdôtaines. Elles sont sans interruption pendant les derniers trente ans et ont été récupérées et validées. De toutes les variables considérées, nous en prenons trois pour leur influence sur le tourisme montagnard hivernal : l'épaisseur du manteau neigeux, l'altitude de la neige au sol et la température.

Pour chaque mois, de novembre à mai sont calculés les paramètres nivométriques suivants:

- Hn_{jour} = hauteur journalière de la précipitation de neige cumulée (en cm) ;
- Hs_{jour} = épaisseur de la neige au sol (données journalières) (en cm) ;

De ces résultats, sont issus les paramètres mensuels suivants :

- $Hn = \sum Hn_{jour}$ = hauteur mensuelle de la précipitation neigeuse cumulée ;
- Gn = nombre de jours pendant un mois où $Hn_{jour} \geq 1$ cm ;
- HsM = hauteur maximale mensuelle de la neige précipitée au sol ;
- Hsm = hauteur minimale mensuelle de la neige précipitée au sol ;

Font part du corpus, des calculs de valeurs moyennes trentenaires de tels paramètres (indiqués respectivement par M_{Hn} , M_{Gn} , M_{HsM} , M_{Hsm}), les écarts standard respectifs (indiqués respectivement par σ_{Hn} , σ_{Gn} , σ_{HsM} , σ_{Hsm}) et les valeurs extrêmes.

Suivent les valeurs concernant l'ensemble des mois de novembre à mai (en cm) :

- $Hn_{N-M} = \sum Hn$ = hauteur de la précipitation neigeuse cumulée de novembre à mai ;
- $Gn_{N-M} = \sum Gn$ = nombre de jours neigeux de novembre à mai ;
- Nous avons estimé les moyennes trentenaires (M_{HnN-M} et M_{GnN-M}) et les écarts-type (σ_{HnN-M} et σ_{GnN-M}).
- Dans le cadre des régimes nivométriques et leur variabilité pendant les trente ans, en considérant la variabilité de Hn avec le coefficient de variation CV , nous avons comparé entre eux les écarts standard des hauteurs mensuelles des précipitations neigeuses cumulées ($\sigma_{Hn_{jour}}$), relatives à des stations situées à des altitudes différentes.

○

On a aussi calculé la densité des précipitations neigeuses, exprimée pour chaque mois, par le rapport entre Hn/N ; la moyenne au cours des trente ans du paramètre est égale à: $M_d = \Sigma (Hn/Gn) / n$ (n étant le nombre des années dans lesquelles le mois considéré présent $Gn > 0$). L'altitude des stations météorologiques disponibles a été mise en rapport avec l'épaisseur du manteau neigeux. Au vu des différences d'épaisseur du manteau, on a essayé d'estimer les précipitations neigeuses des stations qui en manquent et la vitesse de fusion du manteau avec la température. Tous les paramètres nivométriques ont été mis en relation avec les présences touristiques dans le Val d'Aoste. L'élément le plus important pour la pratique des sports hivernaux est sans doute l'épaisseur du manteau neigeux. Les chutes de neige ne doivent pas être inférieures à 40 cm pour la pratique du ski alpin. Par contre, il est fondamental de connaître le nombre de jours de gel pour déterminer la possibilité de fabrication de neige artificielle au cours de la période de constitution du manteau neigeux (novembre-décembre) dans les sites de ski alpin■

100 années d'histoire de la vallée du verglas ; étude comparative des événements

C. GENEST, J. LITYNSKI , F. BELLEMARE

*Laboratoire de climatologie de l'Université du Québec à trois Rivières ;
Email : Claude_Genest@UQTR.CA*

Mots-clés : verglas, chronique, sociologie, Canada.

Les journaux conservent les descriptions des tempêtes de verglas dans le triangle devenu célèbre qui s'étend depuis le Sud du Québec, l'Est de l'Ontario et le Nord des Etats-Unis. Le dernier événement s'est produit en janvier 1998, il a fait la manchette des médias nationaux et internationaux durant près de six semaines. Or, le phénomène se déroulait à la même période en 1943 et il avait la même ampleur, mais la mémoire climatique des gens semble se limiter aux événements récents. Depuis, il a fallu la tempête de verglas de 1998 pour que le Gouvernement canadien demande à son ministère de l'environnement de s'intéresser à ce phénomène pour lequel trop peu de données ont été relevées depuis 150 ans.

Le contexte du verglas sera décrit sous ses aspects terminologiques, géographiques, climatiques, humain, économique et financier. La comparaison multicritère permettra de tirer des constantes et des originalités pour saisir l'ampleur du verglas dans cette région particulièrement affectée par ce phénomène.

Perception de l'hiver au Canada : une comparaison entre Edmonton (Alberta) et Montréal (Québec)

J. TOUPIN

*Faculté Saint-Jean, University of Alberta, Canada T6C 4G9 ;
Email : jtoupin@gpu.srv.ualberta.ca*

Mots-clé : perception de l'hiver, froid, neige, Edmonton, Alberta, Montréal, Québec.

Le Canada, deuxième plus grand pays au monde, est bien connu pour l'abondance de ses précipitations nivales et la dureté de ses hivers. D'un océan à l'autre, plus de 100 cm de neige (près de 1000 cm peuvent tomber dans certaines parties des Montagnes Rocheuses) tombent chaque hiver et une grande partie du Canada méridional voit l'hiver s'étirer sur plus de quatre mois.

Un tel scénario permet de se demander comment les Canadiens perçoivent l'hiver, la neige et le froid. C'est précisément ce que cette étude cherche à mettre en lumière. En effet bien que plusieurs recherches étudient les aspects physiques de l'hiver, bien peu ont été réalisées dans le domaine de la climatologie sociale, et ce, particulièrement au Canada. Afin de vérifier deux principales hypothèses (est-ce que l'âge et le climat local influencent la perception des Canadiens envers l'hiver?), plus de 300 résidents (à peu près la moitié de ce nombre à Edmonton en Alberta et l'autre à Montréal au Québec) ont été questionnés sur leur perception de l'hiver.

Cette recherche montre qu'il existe une perception urbaine de l'hiver (très négative) et que cette dernière s'explique en grande partie par l'âge des répondants (la perception a tendance à devenir de plus en plus négative au fur et à mesure que l'on vieillit) et que des différences climatiques locales teintent la perception hivernale au Canada■

Variabilité des fortes précipitations de neige à Cracovie

R. TWARDOSZ

*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Grodzka 64,
31-044 Kraków ; Email : rwardo@Grodzki.phils.uj.edu.pl*

Mots-clé : précipitations de neige, situations synoptiques, Cracovie, Pologne.

La présente étude a pour but de montrer la variabilité des fortes précipitations de neige (≥ 10 mm) en tenant compte d'une série de mesures météorologiques faites à Cracovie au cours de plusieurs années. Dans cette étude nous nous sommes aussi intéressés à l'influence des situations synoptiques sur les précipitations de neige. Il est relativement rare que la littérature climatologique aborde le problème des précipitations de neige. Pourtant, une connaissance plus approfondie des précipitations de cette nature, est très importante du point de vue climatologique. On peut notamment se poser la question de savoir comment les précipitations de neige évoluent en fonction de la hausse de la température, surtout pendant l'hiver.

Les observations des précipitations neigeuses comparées à d'autres éléments météorologiques peuvent comporter une certaine erreur subjective de l'observateur. La qualité des données dépend considérablement de la fréquence des observations pendant la période de mesure, ainsi que des qualifications de l'observateur, tout particulièrement de sa capacité à distinguer les précipitations mixtes des précipitations purement solides et purement liquides. Il faut souligner que les mesures et les observations ont été effectuées à la station cracovienne par des observateurs qui ont un haut niveau de qualification et dont la majorité étaient des astronomes. Cela donne une plus grande garantie de compétence professionnelle et de validité des observations.

Dans cette étude on s'est servi des résultats de mesures et observations météorologiques quotidiennes de la station de recherche de l'Université Jagellonne de Cracovie. Pour établir la

caractéristique, on s'est appuyé sur les données des années 1863-2000 concernant le nombre de jours avec précipitations de neige ≥ 10 mm et la part des précipitations de neige rapportée au total des précipitations. On a traité à part les cas de tempêtes de neige. Les jours où des précipitations de neige, ou des précipitations mixtes avec neige ont eu lieu, ont été considérés comme jours avec précipitations de neige. Pour calculer le total des précipitations mixtes, on a adopté le principe qu'une moitié du total est classée comme précipitations solides et l'autre moitié comme précipitations liquides.

Pour déterminer l'influence de la circulation de l'atmosphère sur l'apparition de fortes précipitations de neige, on s'est servi du calendrier des situations synoptiques de la Pologne du Sud des années 1873-2000 de T. Niedzwiedz (2001). L'analyse de la série homogène de mesures de plusieurs années effectuées à Cracovie a montré différents aspects de la variabilité liée à la circulation atmosphérique. On a démontré que les précipitations de neige se caractérisent par une grande variabilité. En moyenne, on note 1,8 jours par an avec de fortes précipitations de neige. En 1878 il y a eu même 7 jours avec de telles précipitations. Seulement 25 sur 140 ans analysés n'ont pas présenté de fortes précipitations.

Dans les deux dernières décennies chaudes du XX^e siècle, on a noté une diminution de jours avec neige (≥ 10 mm). Plus de 90 % des fortes précipitations de neige sont liées aux situations cyclonales. Parmi les 21 situations synoptiques considérées dans la typologie de T. Niedzwiedz, on note un grand nombre (40 %) de jours avec neige (≥ 10 mm) dans deux situations : le thalweg dépressionnaire Bc et la situation cyclonale d'ouest■

L'enneigement dans le massif du Jura ; observations et analyse de la variabilité

B. Vermot-Desroches

*Météo-France, Centre Départemental du Doubs, 36 avenue de l'Observatoire- 25000
Besançon
Tél. : 03 81 47 96 10 ; Fax : 03 81 47 96 19 ; Email : Bruno.Vermot-Desroches@meteo.fr*

Mots-clé : réseau, mesure de la neige, variabilité interrannuelle, Jura

« *ALLO-NEIGE de l'espace nordique Jurassien* » : un réseau d'observation et d'information : ALLO-NEIGE, mis en place à la fin des années 80 concilie la collecte d'observations de l'enneigement et la diffusion d'une information complète intégrant la « skiabilité » de l'ensemble des domaines skiabiles nordiques et alpins classés du massif du Jura.

Le fonctionnement de ce dispositif peut se décomposer en 5 phases :

- **la saisie de l'information sur le terrain** par un réseau dense d'observateurs, (une cinquantaine sur le massif) prenant ainsi en compte l'intégralité de l'espace skiable ;
- **la collecte de cette information** : elle est effectuée par le personnel de Météo-France par enquête téléphonique. C'est une des originalités du dispositif « ALLO-NEIGE » qui permet une mise à jour garantie par au moins 2 enquêtes hebdomadaires ;
- **le contrôle et la validation des données** : opération VERITE NEIGE. Cette critique est essentielle et indispensable à la véracité de l'opération ;

- **la diffusion de l'information** : l'objectif du dispositif est de diffuser rapidement les informations pour toucher un public le plus large possible ;
- **la synthèse en fin de saison** : laquelle s'inscrit dans le cadre d'une étude à long terme : le « GISEMENT NEIGE DU JURA ».

Les réalités climatiques :

Notre mémoire est sélective, et fort naturellement, on se souvient plus facilement d'événements marquants, comme des hivers très enneigés, que des années moyennes. Mais sur la base des données mesurées depuis 1961, il ressort les éléments suivants :

- **la grande variabilité de l'enneigement en dessous de 1000 mètres.** L'enneigement peut y être catastrophique (89/90) ou quasi continu (98/99) de décembre à mars ou avril.
- **l'enneigement est plus continu au dessus de 1200 mètres**, surtout en secteur forestier.
 - le Sud du massif étant plus exposé aux flux perturbés de SO, les quantités de précipitations mesurées y sont plus importantes. Il neige donc un peu plus sur le Sud que sur le Nord du massif à altitude équivalente. En flux de NO, c'est l'inverse, le Nord reçoit plus de neige, mais les épisodes neigeux de ce type sont moins fréquents.
 - **l'exposition d'un site joue un rôle très important.** Certaines combes jurassiennes, abritées du vent, constituent de véritables réfrigérateurs qui conservent très bien la neige tombée, augmentant de façon sensible la durée de l'enneigement par rapport à des sites plus hauts en altitude mais plus exposés au vent.
 - **3 secteurs géographiques** qui réunissent les critères précédents bénéficient d'un enneigement favorable à la pratique du ski nordique : ce sont les forêts du Risol/Risoux, du Massacre et de La Vattay/La Faucille.

L'enneigement d'une saison est parfois très fragile car il peut dépendre de quelques épisodes neigeux seulement. Si, comme en 91/92, hiver peu enneigé, il neige juste aux périodes scolaires, l'impact n'est pas le même qu'un hiver plus enneigé à des périodes moins favorables, comme en fin de saison (mars et avril). Cette fragilité est d'autant plus perceptible que, depuis la fin des années 1980, le massif du Jura a connu une série d'hivers relativement peu enneigés associés à des températures de plus en plus douces■

1.2.5. Variations topoclimatologiques du vent

Essai de prévision locale des conditions aérologiques de surface ; exemple de la baie de Sallenelles à Ouistreham en Basse-Normandie

A. DUDOUIT

*Département de Géographie - UFR des Sciences de la Terre et de l'Aménagement Régional, Lab. GEOPHEN (GEOgraphie PHysique et Environnement, LETG - UMR 6554 CNRS, Université de Caen Basse-Normandie
Tél. : 02.31.56.63.84 ; 06.64.21.70.46 ; Fax : 02.31.56.63.86 ; Email :
dudouit@geo.unicaen.fr*

Mots-clé : effets de site, littoral, prévision, mesures météorologiques.

Problématique et enjeux scientifiques

L'affluence touristique, associée au développement des sports liés au vent, se concentre sur les côtes normandes. Les modifications rapides de direction du vent et leur renforcement provoquées par des effets de site, des effets thermiques ou des conditions météorologiques locales doivent être pris en compte pour informer avec plus de précisions les plaisanciers, les véliplanchistes, les amateurs de vol libre..., et assurer ainsi leur sécurité. D'autre part, la prévision de tels événements météorologiques permettrait aux régatiers d'élaborer leur stratégie avec plus de précision. En effet, en voile, la principale composante de la performance est la connaissance du vent, tant dans le choix des voiles et des réglages du bateau que dans sa bonne utilisation une fois sur l'eau. Et, s'attendre à un effet d'abri ou de canalisation, à une circulation de brise de mer, aux passages de grains...peut aider et faire évoluer la pratique de la voile côtière en compétition.

La finalité scientifique et appliquée de l'étude est donc de donner des informations complémentaires de celles apportées par Météo-France. L'objectif de la recherche est de mettre en évidence une influence importante du site sur les caractéristiques du vent (direction et vitesse) et donc, de démontrer que la situation météorologique à échelle fine dépend de la situation synoptique mais aussi de facteurs géographiques locaux.

Principaux axes de recherche et application d'une démarche géographique

Notre travail de recherche permet de répondre aux questions suivantes :

- Comment une situation synoptique générale se traduit-elle localement dans la baie d'Ouistreham ?
- Pouvons-nous prévoir en fonction d'une situation synoptique générale précise les phénomènes météorologiques locaux ?
- La baie d'Ouistreham présente-t-elle des particularités aérologiques prévisibles ?

L'originalité de ce travail réside dans son approche géographique : l'emboîtement et l'articulation des échelles spatiales et temporelles ont permis de préciser les différents effets de site qui existent à l'interface terre-mer. Cette connaissance vise à intégrer, dans un modèle d'échelle régionale, des phénomènes d'échelles fines non pris en compte actuellement.

De l'acquisition à l'exploitation des données

Pour mettre en évidence les différents effets de site et les phénomènes météorologiques locaux sur le littoral de Ouistreham, nous avons effectué des campagnes de mesures puisque jusqu'ici aucune base de données à échelle fine n'existait. Nos données de référence étaient celles du centre régional de Météo-France de Caen-Carpique, situé à une vingtaine de kilomètres au sud de Ouistreham. Les mesures locales ont été réalisées avec des stations météorologiques Leader-Young Eole 50. Deux sites ont été équipés par ces stations : le toit de l'école de voile de Ouistreham afin de mesurer les conditions aérologiques de la baie, et, le toit du poste de secours de la plage de Riva-Bella, à l'Ouest de la baie pour enregistrer les conditions météorologiques à l'extérieur de celle-ci. Parallèlement, des mesures itinérantes ont été réalisées pour mieux appréhender la diversité spatiale à l'intérieur même de la baie. Ainsi, notre démarche scientifique s'est basée sur trois niveaux de mesures différents : les données enregistrées à Caen-Carpique (référence régionale), celles mesurées sur la plage (référence locale) et celles de la baie.

Les mesures établies par Météo-France étant normalisées à dix mètres, nous avons utilisé l'ajustement basé sur le profil logarithmique de la formule de Hellman : v_h (vitesse à une hauteur h) = v_{10} (vitesse du vent à 10 m) $\cdot [0.233 + 0.656 \log(h + 4.75)]$, afin de pouvoir comparer les différentes mesures faites sur les sites et celles de Météo-France. La méthode de l'étude a été de comparer les bulletins de prévisions côtières (prévision pour la zone comprise entre Le Havre et Barfleur) de Météo-France avec les mesures enregistrées sur les sites d'expérimentation. Pour n'importe quelle direction de vent synoptique annoncée, nous avons noté des différences (direction et vitesse du vent) entre les données enregistrées et celles prévues. Par exemple, l'intensité du vent mesurée dans la baie de Sallenelles est, en moyenne, de 9.6 nœuds inférieure par rapport à celle prévue. Ainsi, les effets de site non signalés par les services de prévision : effet de coussin, effet de frottements, effet de dévent, effet de canalisation, effet de convergence et de divergence côtière ont été mis en évidence selon la direction du vent synoptique. D'autres phénomènes météorologiques locaux ont été mesurés tels que l'arrivée de la brise de mer sur le littoral ou le passage d'un grain...

Ensuite, nous avons construit, pour chaque direction de vent synoptique annoncée, un abaque et une rose des vents comparant les différences observées entre la vitesse et la direction du vent prévues et celles mesurées. Un tableau de synthèse regroupant, par direction de vent synoptique annoncée, les effets locaux rencontrés sur le littoral de Ouistreham a ensuite été développé. Ainsi, selon le bulletin de prévision régional présenté par Météo-France, nous pouvons nous référer à ce tableau pour affiner la prévision locale côtière.

Notre démarche a permis de quantifier les situations aérologiques de surface de la baie de Ouistreham. Ainsi, nous avons retenu l'aspect très perturbateur de la côte engendrant essentiellement une diminution de l'intensité et une déviation vers la gauche du flux synoptique. A une échelle encore plus fine, nous avons mis en évidence que la baie, de par sa position géographique très particulière, avait des conditions météorologiques qui la distinguaient des autres plans d'eau environnants. Non seulement le vent dans la baie est différent de celui prévu, mais aussi il varie, dans certaines conditions, de celui de la plage de Riva-Bella en raison d'effets locaux. Nous avons donc montré par un emboîtement d'échelles que les effets de site agissent à deux niveaux de sorte que la baie de Sallenelles a des conditions aérologiques de surface différentes des conditions synoptiques de la région d'une part, et différente des conditions aérologiques de surface du milieu environnant d'autre part ■

Analyse microclimatologique du vent à partir de la campagne de mesures effectuée à Ny Ålesund (Spitsberg) au cours de l'été 1999

R. FURY (1), D. JOLY (2)

(1) Météo-France, 36 av de l'observatoire - 25000 Besançon

Tél. : 03 81 47 96 11 ; Fax : 03 81 47 96 19 ; Email : rene.fury@meteo.fr

(2) CNRS, Université de Franche-Comté, 32 rue mégevand, 25030 Besançon Cedex

Tél. : 03-81-66-54-02 ; Fax : 03-81-66-54-00 ; Email : daniel.joly@univ-fcomte.fr

Mots-clé : température, micro climatologie, mesure.

La région de Ny-Ålesund, au Spitsberg, constitue un très bon laboratoire pour l'analyse climatologique des paramètres qui influencent les variations de température à échelle très fine. Les données de la campagne de mesure de l'été 1999 permettent d'approfondir l'analyse des divers éléments influençant le climat à cette échelle.

De nombreux capteurs de températures ont été installés sur un secteur de quelques km². Deux systèmes de mesures complémentaires ont permis de repérer, en temps réel, les évolutions des deux paramètres que sont la température sous abri et le vent sur ce secteur ainsi que le suivi de l'humidité et des précipitations. Tout au long de la période de mesure (été), la variabilité du rayonnement sur la journée est faible. Les advections sur le secteur concerné sont en général d'un ordre de grandeur très inférieur aux variations locales. Le secteur étudié est marqué par des sources froides que constituent les glaciers. Une masse stable, le fjord, fournit une limite au nord du domaine d'étude. La source chaude, le strandflat et tout spécialement la moraine, fournit de l'énergie à la masse d'air dès qu'il y a du soleil. Ce réchauffement est différencié sur les différentes pentes des éléments topographiques qui constituent la moraine. Deux exemples sont développés :

- Les 19 et 20 juillet, le passage d'une zone pluvieuse au milieu de la période permet d'analyser l'effet du rayonnement direct sur le vent. Le réchauffement différencié génère des mouvements de masses d'air à l'échelle de ce laboratoire ouvert.
- Les 28 et 29 juillet, une période de température élevée met en évidence ces déplacements de masses d'air locales avec, comme marqueur, le vent.

Classification tridimensionnelle de la circulation atmosphérique

P. Kastendeuch

3 rue de l'Argonne 67083 Strasbourg Cedex ; Email :kastendeuch@equinoxe.u-strasbg.fr

Mots-clé : classification, situation synoptique, pression, radiosondages.

Les études qui sont menées en recherche théorique, aux échelles fines, sur les processus qui commandent la variation spatiale des paramètres climatiques et autres substances, sont souvent menées pour certaines situations synoptiques type ou utilisent ces dernières comme cadre. C'est le cas pour les études sur la pollution de l'air par exemple où on sait que la genèse et la répartition des composés chimiques sont en partie influencés par les types de temps. L'objectif de cette communication est de proposer une classification des situations

météorologiques en insistant essentiellement sur l'aspect dynamique, au détriment de tous les autres paramètres (thermique, pluviométrique, nébulosité, front...). En ce sens cette classification n'est que partielle. Elle s'appuie essentiellement sur la combinaison de données de pression et de vent. L'idée consiste en effet à traiter simultanément ces deux types de données par un algorithme identique et unique. Cette classification se veut la plus objective possible et minimise l'intervention humaine au strict minimum.

La première étape consiste à obtenir les données journalières de vent à 12h issues des radiosondages d'une station proche du secteur d'étude (il s'agit de Nancy Essey pour le NE de la France). Ces radiosondages sont vérifiés, et formatés par paliers d'altitude fixes. Finalement ne sont retenus pour l'étude que les radiosondages les plus complets avec un minimum de 21 niveaux sur 25. Ces niveaux s'échelonnent en fonction d'une progression géométrique entre le sol et la tropopause (entre 300 m et 13700 m). Ces premières informations sont complétées par le plus grand nombre de données de pression réduites au niveau de la mer, disponibles à la même heure. En tout, 15 stations ont été soigneusement choisies dans le bulletin publié par l'Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, intitulé « Berliner Wetterkarte ». Elles couvrent le Fossé Rhénan en suivant un domaine circulaire de 169822 km², soit une station pour 11321 km². Ce secteur inclut Nancy. Ces champs de pression quotidiens ont été spatialisés par un processus de krigeage simple pour obtenir des pressions aux nœuds d'une grille. Ces champs de pression spatialisés sont ensuite utilisés pour déterminer le module et la direction du gradient de pression en 25 points régulièrement répartis sur le domaine d'étude à l'aide de la méthode des différences finies centrées. Ainsi, chaque jour est représenté par 25 vecteurs vent sur la verticale et 25 vecteurs gradient de pression sur l'horizontale. Les 2 jeux de données sont volontairement équilibrés pour donner autant de poids aux processus au sol qu'en altitude. Comme ces deux informations vectorielles ne sont pas du même ordre de grandeur, il est indispensable qu'elles soient normalisées avant d'être fusionnées pour être traitées par l'algorithme de classification.

Cet algorithme est lui-même bien connu et éprouvé puisqu'il a fait l'objet de très nombreuses publications au niveau international. C'est un algorithme capable de traiter des champs vectoriels et de quantifier la dissemblance qui existe entre eux, puis de les regrouper en classes. A l'origine conçu pour traiter des champs de vent, son utilisation a été détournée pour cette étude, puisqu'au lieu de traiter des champs de vent au sol, ce sont des gradients de pression au sol et des données de vent de radiosondages qui sont utilisées. L'avantage d'utiliser le gradient de pression au sol plutôt que le champ de vent tient à la plus grande instabilité de ce dernier, soumis à la turbulence, aux effets locaux et qui est aussi fortement influencé par la configuration topographique. Finalement entre le premier janvier 1990 et le 31 décembre 2000, se sont 3591 journées qui ont pu être regroupées en 14 classes majeures. L'analyse de ces classes démontre la validité de cette approche puisque l'algorithme restitue automatiquement et sans subjectivité les grands types de circulation atmosphérique connus dans le NE de la France. C'est ainsi que se dessinent les situations de flux d'ouest, de retour d'est, de blocage, ou anticycloniques, les situations à flux rapide ou à marais barométrique, les situations avec jet-stream marqué, à profil de vent homogène, ou au contraire des situations à cisaillement de vent entre le sol et l'altitude■

Reconstitution d'une climatologie de vent à échelle fine à l'aide de simulations numériques

**C. LAC, J. GUILHOT, L. VALLET, J.-L. CHAMPEAUX, F. FAVOT, P. LACARRERE,
P. LASSEGUES, P. LE MOIGNE, G. THERRY, B. VINCENDON**

Météo-France, DP/SERV/ENV, 42 av. Coriolis, 31057 Toulouse

Tél. : 05 61 07 80 84 ; Fax : 05 61 07 80 79 ; Email : christine.lac@meteo.fr,

Mots-clé : vent, variabilité spatiale, modélisation numérique, échelles climatiques.

La connaissance de la variabilité spatiale de la climatologie du vent de surface est limitée par la taille du réseau de mesure (inhomogénéité spatiale et résolution horizontale insuffisante). Or, les progrès de la modélisation numérique à maille fine permettent d'avoir accès aux écoulements de méso-échelle. Cela peut être mis à profit en effectuant une climatologie à partir des sorties de modèle à l'échelle de leur grille de calcul. Pour réaliser cette climatologie « de modèle », il faut posséder une série de simulations suffisamment conséquente. Ceci est envisageable avec un modèle opérationnel et la « profondeur de la climatologie » est alors celle du modèle lui-même.

Ainsi, une climatologie de roses des vents moyens a été reconstituée avec le modèle météorologique opérationnel Aladin (résolution 12 km) sur toute la France, sur une période de 4 ans (1997-2001). La qualité des roses des vents reconstituées peut être estimée aux points d'observation. Les roses des vents Aladin 4 ans sont de qualité très satisfaisante sur les zones de plaine, de relief faible et de littoral peu escarpé. La qualité est en revanche nettement dégradée sur les zones de relief (Alpes, Pyrénées, Vosges-Jura, Massif Central) et de littoral accidenté (Pourtour méditerranéen et Corse), du fait de la résolution du modèle.

Si l'on veut descendre à une échelle plus fine dans les régions de relief marqué et de littoral accidenté, il faut avoir recours à des simulations à encore meilleure résolution. Le facteur limitant devient le coût de calcul et donc le nombre de situations simulées. L'idée de base est de déterminer la fréquence climatologique de classes de « situations synoptiques », représentatives de type de temps de grande échelle et d'utiliser la modélisation de méso-échelle pour recréer la déclinaison à l'échelle locale de ces types de temps sur des échantillons de situations bien choisis. La méthodologie ainsi mise au point depuis quelques années à Météo-France est la suivante : une classification de type « nuées dynamiques » a permis d'aboutir à 19 type de temps sur l'Europe de l'Ouest. Pour chaque type de temps, un ensemble de dates, dont le nombre est proportionnel à la probabilité d'occurrence du type de temps, ont été retenues à partir de critères météorologiques et statistiques, aboutissant à 95 dates représentatives. Chaque situation est alors simulée sur 24 h (afin de reproduire les effets diurnes) à l'aide du modèle non-hydrostatique Mésoscale-NH, à une résolution comprise entre 1 km et 3 km. Les 95 simulations sont enfin utilisées pour reconstituer la climatologie de vent en fonction de la probabilité d'occurrence de chaque type de temps. L'un des intérêts de la méthodologie est de pouvoir estimer indépendamment la première source d'erreur, liée à l'échantillonnage, et la seconde liée à la modélisation.

Cette méthodologie utilisant le modèle Mésoscale-NH a été appliquée dans un premier temps sur les Vosges (à la résolution de 1.2 km), puis sur les Alpes, l'Auvergne et les Pyrénées (à la résolution de 2 km) et sur le littoral du SO et le pourtour méditerranéen (résolution 3 km). Dans les zones montagneuses, l'apport de la simulation à échelle fine est évident, et s'appuie

sur une très bonne représentativité des 95 dates issues de la classification statistique. Les roses des vents modélisées les plus approximatives se situent dans les vallées les plus étroites ou sur les sommets les plus aigus, pour lesquels la résolution du modèle de 2 km ne suffit plus. Dans les zones de littoral, le modèle de méso-échelle permet notamment une bonne restitution des phénomènes de brise côtière, d'effets catabatiques... aboutissant à une bonne qualité de roses des vents reconstituées.

Cette climatologie a également été mise à profit pour effectuer des simulations à échelle encore plus fine (500 m) sur des zones limitées afin d'estimer le potentiel éolien exploitable, notamment sur la région Poitou-Charentes et le littoral aquitain. D'autres perspectives d'études seront présentées, en terme de climatologie de dispersion de polluants, appliquées ici au littoral méditerranéen.■

Analyse des propriétés statistiques du vent en Algérie et pour la station de Chasseral (Jura suisse)

F. YUCEF-ETTOUMI (1), J.M. FALLOT (2), H. SAUVAGEOT (3), A. EL HAMID ADANE (1)

(1) Faculté d'Electronique et d'Informatique, Département Télécommunications, Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, Université des Sciences et de la Technologie, (U.S.T.H.B, BP 32 16111 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie ;

Tél. / Fax : +213 21 24 71 87; Email : youcefettoumi@fr

(2) Laboratoire des Systèmes Energétiques (LASEN), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, (EPFL), CH-1015 Lausanne ; Tél. : +41 21 693 23 06 ; Fax : +41 21 693 28 63

(3) Université Paul Sabatier Toulouse, Observatoire Midi-Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique, Centre de Recherches Atmosphériques, 8, route de Lannemezan, 65300 Campistrous, France

Mots-clé : vent, Algérie, Jura, Weibull.

Dans les basses couches de l'atmosphère, le vent joue un rôle crucial car il contribue énormément aux échanges thermiques entre l'atmosphère et la surface terrestre. Il participe au mécanisme d'évaporation des nappes d'eau et véhicule diverses particules en suspension dans l'air d'un endroit à un autre de la Terre. Il est responsable de l'érosion éolienne à laquelle est soumis le relief terrestre. En plus de l'apport dans la connaissance climatique d'une région, il représente aussi une source appréciable d'énergie. Par ailleurs, l'étude de l'érosion éolienne à laquelle est soumise la terre, nécessite une connaissance du vent en direction et en force.

Le vent est un processus aléatoire, non-stationnaire qui dure peu de temps. Pour caractériser un tel phénomène et connaître son évolution au cours du temps, il faudrait évaluer ses propriétés climato-statistiques, puis analyser celles-ci dans l'espace et dans le temps. Ce type d'analyse implique alors le traitement des mesures de la vitesse du vent et de sa direction réalisées au-dessus du sol ou des données extraites d'images satellitaires ou bien d'images radar. Les problèmes environnementaux font l'objet de préoccupations à l'échelle planétaire. On peut citer, par exemple, l'épuisement de certaines ressources naturelles. Le problème de la relève énergétique peut être évoqué. Ce dernier se pose de façon cruciale dans un proche avenir. En effet, l'épuisement des ressources énergétiques d'origine fossile et notamment le pétrole est prévu dans un horizon très proche, même pour un pays comme l'Algérie qui jouit d'une certaine potentialité en pétrole et en gaz. C'est pourquoi une réflexion sur les énergies

de substitution possibles serait de mise pour assurer une relève énergétique. Cette dernière doit passer de façon incontournable par les énergies renouvelables dans le cadre d'un développement durable. En effet, la conversion d'énergie éolienne est l'une des plus anciennes mais la plus attractive dans la génération d'énergie. Actuellement, la recherche dans ce domaine est largement menée à travers le monde. Cependant, l'énergie éolienne n'a pratiquement pas été exploitée en Algérie jusqu'à aujourd'hui, bien que la vitesse du vent et sa direction soient régulièrement mesurées dans l'ensemble des stations d'observation du réseau météorologique algérien, depuis de nombreuses années.

Dans ce contexte, nous avons effectué une étude basée sur des données tri-horaires de vitesse et de direction du vent, enregistrées, durant dix ans à 10 m au-dessus du sol, dans trente-sept stations météorologiques de l'Algérie. Les données ont été organisées selon les douze mois de l'année et les huit principales directions du vent, soit le Nord (N), le Nord Est (NE), l'Est (E), le Sud Est (SE), le Sud (S), le Sud Ouest (SO), l'Ouest (O) et le Nord Ouest (NO). La modélisation au moyen de distributions de probabilité permet le développement d'un formalisme mathématique adapté à l'étude de phénomènes aléatoires, tel que le vent. Une étude statistique de la vitesse du vent a montré que la distribution de Weibull s'adapte très bien à la modélisation des données tri-horaires de ce paramètre pour chacun des mois de l'année et pour chacun des huit secteurs principaux de direction. Des tests effectués montrent l'adéquation de l'ajustement des données expérimentales aux données théoriques issues du modèle. L'étude des caractéristiques statistiques et climatologiques du vent en Algérie ont été étudiées en vue de contribuer à l'évaluation du potentiel énergétique éolien disponible en Algérie. Cette étude a été basée sur une seule variable, en l'occurrence la vitesse du vent mais par la prise en compte implicite de sa direction.

Dans le même contexte, et pour faire prévaloir des similarités entre les diverses mesures de la vitesse du vent dans les différentes stations d'observations météorologiques, une étude complémentaire est menée. Elle a montré que le vent en Algérie pouvait être réparti en trois classes non géographiques. Cette classification automatique optimale est portée sur les facteurs de forme et d'échelle de la loi d'ajustement de Weibull de la vitesse du vent. Il en ressort que dans plus de la moitié des stations, le vent est faible. Le vent est moyen dans près de 30 % des stations. Et les stations restantes sont affectées d'un vent fort. Notons que El Goléa, In Amenas et Adrar sont les références des trois classes, correspondant respectivement aux classes de vent faible (inférieur à 3m/s), moyen (compris entre 3 et 5m/s) et fort (supérieur à 5m/s).

A titre comparatif, nous avons pris en considération une échelle plus fine et un site très venté, afin de tester l'application notre l'approche. A cet effet, nous avons considéré les données horaires du vent enregistrées de 1991 à 2000, à la station de Chasseral (Jura suisse). On trouve que ces données sont bien décrites au moyen de distributions de Weibull à deux paramètres de forme et d'échelle. Ce travail ouvre des voies intéressantes à exploiter. Ceci peut avoir des implications sur les études environnementales. Il permet aussi de prévoir l'aménagement le mieux adapté à une région particulière. Une autre voie ouverte est l'exploitation de cette approche pour une évaluation des énergies renouvelables. En plus, ce type d'approche est très utile dans le dimensionnement des systèmes éoliens. Auquel cas, il serait très judicieux que les principales caractéristiques aidant à identifier la station considérée soient véhiculées sous forme de dossier portable■

1.3. L'homme et le climat

Climatologie appliquée, de sa modestie à sa nécessité

A. HUFTY

*Université de Laval, Sainte -Foy, Dépt. de Géographie G1K 7P4 Québec, Canada ;
Tél. : 2 418 656 2131 poste 2388 ; Fax : 2 418 656 3960 ; Email : andre.hufty@ggr.ulaval.ca*

Pour utiliser à bon escient les variables climatiques, il est nécessaire de connaître le système physique, d'être familier avec les domaines d'applications et ensuite de regarder les relations entre les deux. La climatologie appliquée ne peut pas être réduite au rôle de simple fournisseur de données, ni même de contemplateur de systèmes où introduire des stimuli déterministes ; elle a besoin et s'est développée avec la collaboration d'autres disciplines ; des concepts originaux en sont nés : le **confort** dépend de la température, du vent... mais aussi de la physiologie reliée au travail, à la perception et le **risque** s'apprécie en termes statistiques et de pari à prendre. Un corpus de connaissances multidisciplinaires s'est forgé autour de notions communes à plusieurs, autour de l'idée d'une meilleure adaptation aux climats et à leurs variations, pour mieux en profiter ou pour se protéger des extrêmes, vécus ou à venir.

En même temps augmentaient les « exigences » climatiques : besoin croissant de protection contre les soubresauts d'une « nature » maîtrisée par la technique, niée, de moins en moins familière, et par le fait même, de plus en plus crainte ; contraintes nouvelles dues à l'accroissement de la population et de ses désirs transformés de plus en plus vite en « besoins » par la publicité, le commerce, les techniques qui exercent des pressions de plus en plus fortes sur des milieux dits naturels qui devraient rester constants pendant que tout change.

La climatologie appliquée est restée une discipline modeste face à ces progrès. Jadis Cendrillon des Services Météorologiques, elle avait un temps espéré faire un beau mariage avec l'explosion informatique. Hélas, trop terre à terre, elle a peu profité du formidable développement des sciences de l'atmosphère et de l'engouement médiatique et politique pour les changements climatiques qui ont plutôt détourné le peu d'attention qui lui était accordé ; on ne prête qu'aux riches ! Mais revenons à ces deux sœurs talentueuses.

D'une part une quantité considérables d'études sont dédiées à la simulation géophysique de l'évolution du devenir terrestre et des coûts des politiques éventuelles de la réduction des gaz à effet de serre. Pour les justifier, on fait appel aux conséquences catastrophiques qui seraient déterminées par un réchauffement, dont les météores violents observés sont souvent présentés comme les signes avant-coureurs. Cette justification repose sur différents scénarios :

- « synthétiques » où des variables sont introduites dans un système économique pour en apprécier la sensibilité, mais ils sont arbitraires et non vérifiables ;
- « analogiques » ou bâtis en fonction de l'expérience passée : ils sont déconseillés par les experts parce qu'ils ne reflètent pas les changements potentiels, comme si l'analyse des adaptations actuelles était davantage un obstacle qu'une aide à la recherche.

Sur quoi fonder alors un scénario sans se pencher sur l'extraordinaire complexité des sociétés qui rend bien illusoire tout déterminisme étroit ? Le scénario préconisé par le

« Groupe Intergouvernemental sur l'Étude des Climats » est l'utilisation des valeurs fournies par les « Modèles de Circulation Générale » qui ne sont malheureusement pas encore applicables alors même que leurs conclusions justifient des politiques : des projections annuelles de températures et de précipitations sur des ensembles de milliers de kilomètres carrés ne permettent ni d'appréhender les échelles fines, même avec la « focalisation » temporelle ou spatiale, ni de saisir les combinaisons journalières du temps qui sont responsables des fréquences des seuils critiques nécessaires à la compréhension des effets des climats.

L'horizon temporel de ces scénarios est démesuré et dépasse le demi-siècle, postulant un arrêt de l'histoire et la progression de la mondialisation économique avec les intérêts actuels, comme s'il avait été possible en 1900 de prévoir deux guerres mondiales. La mise en évidence systématique des résultats négatifs, accompagnée d'une stratégie de la peur que seuls les experts pourront exorciser, risque d'ailleurs de se retourner contre les chercheurs si les prédictions ne se réalisent pas. Pourtant l'importance des climats devrait suffire à justifier que la modélisation physique de l'atmosphère se poursuive, et il y a bien d'autres arguments que celui de la peur des effets du réchauffement pour préconiser une diminution des émissions de gaz et de poussières. Supposons même que l'argument « non regret » soit invoqué, c'est-à-dire que la réduction de CO² favorisera de toute façon une baisse de pollution ; on peut le retourner : agissons sur la pollution dangereuse pour la santé, et utilisons plus judicieusement des ressources mieux partagées ; ces actions freineront alors indirectement l'augmentation de l'effet de serre. Faut-il rappeler que les peurs malthusiennes liées à une démographie galopante se sont avérées fausses suite à une amélioration du niveau de vie qui a conduit à une baisse de natalité ? La diffusion de la protection de l'environnement passe aussi par une meilleure répartition des richesses et non par des scénarios d'imposition d'un ordre météorologique mondial.

D'autre part la prévision météorologique a connu un essor quasi démesuré dans la vie quotidienne. L'archivage des données mise à part, l'essentiel des investissements ont favorisé la modélisation à court terme des météores avec une attention particulière aux extrêmes et, à moyen terme, (« la climétologie ») avec les téléconnexions saisonnières, domaine où météorologie et climatologie se rejoignent. La recherche s'est également tournée vers la télédétection satellitaire, en partie d'ailleurs pour trouver des débouchés à une technique coûteuse, ce qui oblige à ne retenir de beaucoup de phénomènes que leur part traduisible en termes radiatifs. Parallèlement, les soins accordés aux réseaux se relâchent et la diminution des stations n'est que partiellement compensée par des observations automatisées. Les recherches en climatologie se réduisent à l'analyse des séries chronologiques qui profite des ordinateurs et la privatisation de la vente de services et de données devient la règle, laissant aux clients le soin de trouver leurs applications.

Ces obstacles, fuite en avant vers le futur du climat et réticences des sciences « dures » au service du développement technique, ont détourné des énergies et ralenti mais pas arrêté les recherches en climatologie appliquée. Ce n'est pas ici le lieu pour énumérer les chapitres d'un traité appliqué ni de relever tous les services gouvernementaux, mais d'insister sur le fait que tous les travaux ont en commun des emprunts à plusieurs spécialités, ce qui est un processus lent, et traitent de cas particuliers, loin de l'universalisme des sciences monodisciplinaires. Une fois explorés les déterminismes les plus évidents et les plus élémentaires, il faut faire émerger les concepts « médiateurs » dont nous avons déjà parlé plus haut. La recherche fondamentale consiste alors à rassembler ces concepts et à confronter les meilleures méthodes opératoires qui sont au service du terrain, un peu comme la médecine

clinique est d'abord au service du patient, quitte à faire appel à la médecine expérimentale qui devrait rester auxiliaire. D'où découle la nécessité de lieux et d'associations pour discuter de ces méthodes et des nouveaux besoins entre utilisateurs potentiels et spécialistes des sciences physiques et humaines réunis autour d'un thème. Former des gestionnaires en environnement climatique devrait probablement se faire sous la forme de certificats complémentaires où seraient encouragées les recherches sur les climats actuels et leurs extrêmes, sans négliger une collaboration avec les concepteurs de scénarios pour nuancer leurs affirmations et assurer une meilleure prévention.

Références

On peut citer les milliers de pages des rapports de l'IPPC (climate change 2001), les traités de Thomson and Perry (Routledge, 1997), de Maunder (Routledge, 1989), de Péguy (Masson, 1989), Lamarre et Pagny (A.Colin, 1999), Hufty (De Boeck, 2001)... et beaucoup d'articles, trop nombreux pour les rapporter ici.

1.3.1. Le climat urbain

L'application du Système d'Information Géographique dans la connaissance des problèmes climatologiques urbains (cas de Beyrouth ; Liban)

J. ADJIZIAN-GERARD, V. EL-LAKISS, R. ZAAROUR

Département de Géographie Faculté des Lettres et des Sciences humaines, Université Saint-Joseph

L'agglomération de Beyrouth, métropole du Liban, connaît depuis des années une modification de son climat (réchauffement dû à l'îlot de chaleur urbain, augmentation de la quantité de particules en suspension dans l'air, pollution urbaine, etc.). Ces problèmes environnementaux seraient liés, d'une part à des facteurs physiques comme le relief, le climat méditerranéen en bordure de mer, la situation au pied du mont Liban et, d'autre part, à la non gestion de l'espace (très minéral), au mauvais aménagement et à un intense trafic automobile. Beyrouth s'asphyxie et pourtant aucune étude sérieuse n'a été menée jusque là. Compte-tenu des particularités de la ville de Beyrouth, la climatologie urbaine et, plus particulièrement, à l'échelle fine constitue un domaine qui gagnerait à être développé au Liban. Or, actuellement, on ne dispose pas d'un réseau d'appareils de mesure permettant d'appréhender cet aspect. De ce fait, il nous a semblé intéressant d'utiliser le Système d'Information Géographique (S.I.G.), outil précieux dans le contexte libanais.

En effet, le S.I.G. permet la superposition d'un ensemble de couches d'informations telles que : le modèle numérique de terrain de la ville de Beyrouth, le réseau routier, la largeur des rues, la hauteur des immeubles, etc. Aussi, connaissant les caractéristiques du climat beyrouthin, il est possible de mettre en évidence des problèmes concernant certaines zones urbaines, les unes plus sensibles sur le plan environnemental, les autres pouvant jouer sur certaines composantes climatologiques, comme les brises de mer. Cette recherche, actuellement en cours, présentera les principaux résultats à partir de quelques exemples de quartiers très problématiques de Beyrouth■

La place du climat dans les plans d'aménagement

M. J. ALCOFORADO, H. VIEIRA

Centre d'Études Géographiques, Faculté des Lettres, Université de Lisbonne, 1600-214 Lisboa, Portugal; Fax : 351 21 796 00 63; Email : mjalcoforado@mail.telepac.pt

Mots-clé : climat urbain, climatologie appliquée, aménagement, Lisbonne.

Il est bien connu que l'urbanisation induit des modifications des bilans thermique et hydrique, ainsi que des champs du vent en surface et jusqu'à une altitude qui dépend de la hauteur du bâti. Néanmoins, dans les plans d'aménagement, on ne tient pas souvent compte du climat.

Déjà en 1984, Tim Oke s'interrogeait : pourquoi les études du climat sont-elles inutiles, incompréhensibles ou inapplicables ? **Inutiles**, si le climatologue n'a pas compris les besoins de l'aménageur et n'a pas su s'exprimer de façon claire ; **incompréhensibles**, pour un aménageur qui aurait besoin d'approfondir un peu ses connaissances sur le climat; **inapplicables**, si le climatologue et l'aménageur n'arrivent pas à communiquer et à travailler dans une même direction.

En 2000, la même question est soulevée par Eliasson qui, basée sur les réponses à un questionnaire soumis à des aménageurs, des climatologues et des politiciens, a confirmé que la climatologie a un faible impact sur le processus de l'aménagement, pour des raisons d'ignorance scientifique, de priorité secondaire et du caractère politique des décisions. Les aménageurs se plaignent aussi du manque d'information sur des techniques simples et efficaces et de bibliographie sur la climatologie appliquée, ainsi que des coûts que toute recherche entraîne, ne serait-ce qu'en raison du temps nécessaire pour sa réalisation (Eliasson, 2000). Il y a aussi des cas de projets « pré-déterminés », identifiés en Suède comme des exemples d'aménagement, qui ne sont que la rationalisation de décisions déjà prises.

D'autre part, dans plusieurs pays (notamment en Allemagne, en Suède et en Suisse), des études systématiques des climats urbains sont utilisées pour l'aménagement (Stock et Beckrøge, 1985 ; Stock *et al.*, 1986, Stock *et al.*, 1991, Bossert *et al.*, 1981 ; Lindqvist, 1991). Dans ces études sont incluses des *cartes synthétiques des fonctions climatiques*, ainsi que des *cartes d'évaluation climatique*, accompagnées d'une liste de normes à suivre dans l'aménagement urbain.

Dans le cadre du Project CLIMLIS (*Prescription of Climatic Principles for urban Planning : application to Lisbon – POCTI/34683/2000*), on cherche à comprendre les relations climat-aménagement au Portugal et à préparer des documents (cartes, textes) qui soient en même temps scientifiquement corrects et assez simples et clairs pour être utilisables pour l'aménagement des milieux urbains et péri-urbains de Lisbonne. On continue à approfondir cette étude dans le cadre de deux thèses de Doctorat. Les travaux se centrent à présent sur la modélisation du vent et sur l'étude du confort bioclimatique dans divers quartiers. D'autre part, le dialogue avec les aménageurs, déjà amorcé, nous permettra la rédaction de directives climatiques, qui pourront contribuer à une meilleure qualité de l'environnement urbain. Pour faire le point de la situation actuelle, des plans d'aménagement ont été consultés : les *Plans Directeurs Municipaux* (PDM) des 16 *concelhos* (cantons) des plus grandes villes du Portugal, tous postérieurs à 1991 (sauf Évora: 1984). Chaque plan se reporte à une surface variable, qui inclut non seulement la ville, mais la campagne environnante, à l'exception de Lisbonne.

Ce sont des documents de dimension considérable et, après une première vérification, on constate que, exception faite de Coimbra, des informations climatiques sont incluses dans tous les PDM. Toutefois, en observant de plus près, on vérifie que la plupart des informations climatiques se reportent uniquement à des moyennes, incluent rarement des graphiques et ne sont pas présentées en support cartographique. On retrouve des données de température, de pluie, de vent et, moins souvent, de fréquence de phénomènes tels que le gel, le brouillard, les chutes de neige, les précipitations intenses, ou l'insolation. Concernant la pollution de l'air, il n'y a de données que pour Faro, mais les prises d'air ont eu lieu... à l'Aéroport, à l'Ouest de la ville. La bibliographie citée est insuffisante. Plus grave que le type de variables utilisé, est la fréquente absence de commentaires sur la localisation des stations météorologiques, dont les données sont citées simplement dans le texte, rarement rassemblées en tableaux et

seulement une ou deux fois accompagnées par des cartes (à des échelles absolument pas « utilisables »). La différenciation climatique ville-campagne n'est jamais évoquée, le mot *climat urbain* n'apparaissant dans aucun des rapports.

La situation qui vient d'être présentée sera analysée en détail dans notre communication et la discussion sur la place du climat dans l'aménagement sera illustrée par quelques exemples de Lisbonne.

Bibliographie

- ALCOFORADO, M.J. (1999). Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. *Finisterra*, XXXIV (67-68), pp. 83-94.
- BECKRÖGE, W. *et al.* (1988). *Klimaanalyse Stadt Recklinghausen*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Abt. Kartographie, Luftbildwesen und Stadtklimatologie, Essen.
- BOSSERT, *et al.* (1981). *Klimaanalyse Regionaler Grünzug D*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.
- DGOTDU (diverses dates). Plans Directeurs Municipaux de Aveiro, Beja, Bragança, Castelo Branco, Coimbra, Évora, Faro, Guarda, Leiria, Lisboa, Portalegra, Santarém, Setúbal, Viana do Castelo, Viseu.
- ELIASSON, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning, *Landscape and Planning* 48, pp.31-44.
- EVANS, J. M.; DE SCHILLER, S. (1996). Application of microclimate studies in town planning: a new capital city, an existing district and urban river front development. *Atmospheric Environment*, 30(3), pp. 361-364.
- OKE, T. (1984). Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, 7, pp. 1-10.
- SCHERER *et al.* (1999). Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimising urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 4185-4193.
- STOCK, P. *et al.* (1981). *Klimaanalyse Stadt Essen*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.
- STOCK, P. *et al.* (1986). *Klimaanalyse Stadt Dortmund*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.
- STOCK, P. *et al.* (1991). *Klimaanalyse Stadt Bochum*, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen
- YOSHINO, M.M. (1990/1991) - "Development of urban climatology and problems today", *Energy and Buildings*, 15-16, pp. 1-10■

Réseau météorologique pour l'étude du climat urbain

R. CARVALHO, V. PRIOR, R. DEUS

Instituto de Meteorologia ; Rua C, Aeroporto, 1749-077 Lisboa – Portugal

Mots-clé : réseau de stations, mesures, zones urbaines, Lisbonne.

Au mois de Mars 2002 l'Institut de Météorologie du Portugal a fini l'installation d'un réseau urbain de stations météorologiques automatiques (SMA). Ce réseau est constitué de 18 stations météorologiques, 5 centres régionaux (CR) et 1 centre national (CN). L'information météorologique essentielle (en particulier la température et l'humidité relative de l'air, les précipitations, le rayonnement solaire global, la vitesse et la direction du vent) est organisée dans les CR et CN selon différentes bases de données; ces bases permettront différents modes de visualisation en temps réel. Un ensemble de données est disponible au public, sur www.meteo.pt et à la météo pour différentes applications, notamment pour la surveillance du temps dans les zones urbaines, en climatologie, pour la sécurité civile, la planification urbaine et les études sur la pollution de l'air.

On présentera un exemple de températures (maximum et minimum) et l'humidité relative de l'air obtenues aux stations de Lisbonne, pour le mois de Janvier 2002. Avec ces données, il est possible de reconnaître quelques écarts importants qui permettent de caractériser les différences climatologiques locales des villes. Des données obtenues aux stations de Lisbonne ont été utilisées pour étalonner d'autres obtenues pendant une campagne météorologique à Lisbonne (Project CLIMLIS) sur des mesures de la température de l'air et de la surface des rues (fig. 1) en utilisant une voiture avec un capteur infra-rouge et un capteur de température de l'air Rotronique.

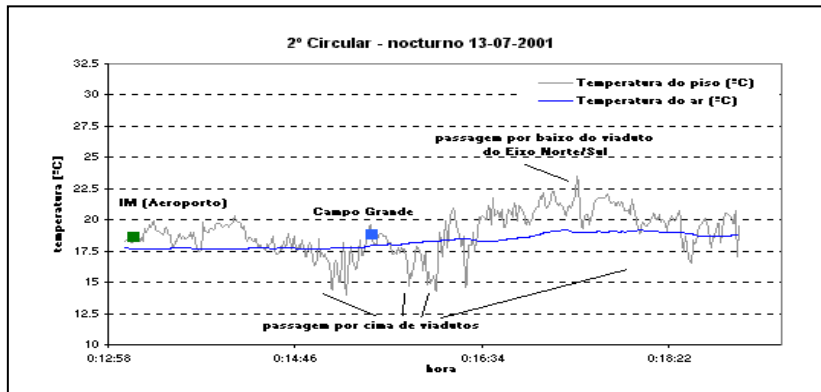


Fig.1 : Mesures de la température de l'air de la surface (Périphérique - 2ª Circular)■

Etude du climat urbain de la ville de Sfax

Y. CHARABI (1), T. MELKI (1), S. BIGOT (2)

(1) *Lab. de Biogéographie et de Climatologie Appliquée, Université de la Manouba, Tunisie*

(2) *Lab. de Géographie des Milieux Anthropisés UMR-CNRS, Université des Sciences et Technologies de Lille, France*

Mots-clé : mesures fixes et itinérantes, climat urbain, Sfax.

La ville côtière de Sfax (Sud de la Tunisie) se distingue par l'importance de sa façade maritime et par un cadre topographique homogène de plaine littorale. Avec plus de 400 000 habitants, le milieu naturel est très fortement anthropisé avec un tissu urbain continu selon une configuration radiale. L'activité industrielle est dominante, surtout l'industrie chimique, considérée comme la principale source de pollution dans la ville. La zone d'étude est dotée d'une seule station synoptique de la météorologie nationale (Sfax El-Maou), installée sur à l'aéroport international de Sfax. Pour augmenter la densité spatiale des données météorologiques, la technique des mesures fixes et itinérantes est utilisée. Plusieurs campagnes de mesures itinérantes simultanées selon un réseau de points de mesures sont réalisées par différentes situations météorologiques. Au cours de ces campagnes de mesures, plusieurs paramètres météorologiques sont relevés (température de l'air, humidité relative, vitesse et direction du vent). Une station de mesures fixe de type Davis est installée à l'intérieur de la ville.

Les mesures itinérantes de la température de l'air effectuées en début de nuit, montrent un écart thermique ville-campagne de l'ordre de 6,5°C en moyenne par situation radiative. Les températures les plus élevées sont enregistrées dans la *Médina* qui se distingue par des rues

canyons (ruelles bordées de bâtiments de 8 m de hauteur), favorables au stockage thermique diurne et un fort rayonnement de paroi nocturne. Les relevés thermiques effectués près de la mer montrent des températures comparables à quelques dixièmes de degrés, à celles enregistrées en plein espace urbain. Ceci peut s'expliquer par l'inertie thermique de la mer. Les températures les plus basses sont toujours enregistrées dans la campagne (à 14 km du centre ville). Au cours des mesures nocturnes, il s'établit souvent un gradient thermique entre la ville et la campagne environnante. Les mesures simultanées ont servi pour cartographier la variation spatiale de la température nocturne en milieu urbain.

L'analyse des données issues du poste météorologique sur une période de 10 ans et de la station de mesures automatiques montre que, à l'écart des grands vents synoptiques, le climat de la ville de Sfax est rythmé par les vents thermiques (brise de terre et de mer) qui sont très fréquents durant le printemps et l'été. En phase nocturne et par situation radiative estivale, la vitesse de la brise de terre est de l'ordre de 3 à 5 m/s. La configuration spatiale de la ville (radiale) facilite la pénétration de la brise et contribue à homogénéiser le champ thermique urbain. Ces premières investigations montrent la nécessité d'approfondir les connaissances sur le phénomène des brises thermiques en relation avec la pollution industrielle dans la ville. Par ailleurs il est indispensable de mettre au point un réseau de mesures dans le but de cartographier le champ de vent dans la ville de Sfax■

Caractérisation et validation des données climatologiques obtenues par stations météorologiques automatiques

L.F.NUNES (1), J. NETO (2), F. CARVALHO (3), R. CARVALHO (4), V. PRIOR (5)

*Instituto de Meteorologia, Depart. de Observação e Redes, Rua C - Aeroporto 1749-077 Lisboa, Portugal
Emails : (1)luis.nunes@meteo.pt, (2)jorge.neto@meteo.pt, (3)fernanda.carvalho@meteo.pt,
(4)renato.carvalho@meteo.pt, (5)victor.prior@meteo.pt*

Mots-clé : réseau de stations, mesures, zones urbaines, validation des données, Lisbonne.

L'institut portugais de Météorologie (IM) a installé un réseau de Stations Météorologiques Automatiques (SMA) de surface pour une utilisation générale et aussi pour remplacer quelques stations classiques. Pendant le développement du projet, qui aura 93 SMA cette année, toutes les données produites ont été archivées dans une base de données aux Services Centraux de l'IM.

Les stations météorologiques fournissent, toutes les 10 minutes, pour différentes applications, la température et l'humidité de l'air, la précipitation, la température de la surface et du sol, le rayonnement solaire, le vent et, dans quelques stations, la pression atmosphérique. Ces données sont transmises et mises à disposition toutes les heures sur un ordinateur central. Chaque mois les données sont contrôlées et vérifiées automatiquement, en utilisant des algorithmes spécifiques, développés ces dernières années. Aujourd'hui, il y a des séries de données pré-validées qui ont déjà plus de 4 années et qui sont archivées. Les résultats de l'analyse des séries de données de la pression atmosphérique, de la température et l'humidité relative de l'air sont présentés avec les paramètres statistiques pour chaque mois et sont comparés avec les mêmes paramètres statistiques calculés avec les données des séries longues, concernant les stations classiques. Aussi les résultats de l'estimation des caractéristiques diurnes, comme l'heure de la température maximum et minimum de l'air,

calculés avec les séries de données des SMA et les séries longues des stations classiques, seront-ils présentés.

Les limites des valeurs acceptées, dans les algorithmes de vérification, ont été définies selon les performances/caractéristiques des instruments utilisés et aussi selon la connaissance climatologique des différentes régions du Portugal. En appliquant ces limites aux séries de données, on trouve quelques erreurs et quelques valeurs suspectes dans certaines parties des séries. Ces données identifiées sont vérifiées avec d'autres niveaux de contrôle de qualité qui utilisent des critères pour la vérification de la consistance spatiale et de la consistance entre paramètres. Ensuite, les données sont identifiées dans la base de données comme validées, refusées ou suspectes.

Pour l'illustration, on présente les résultats obtenus sur 2 stations, à travers les séries de données de Lisbonne et d'Évora (Alentejo), qui sont situées dans des régions avec des caractéristiques climatiques similaires. Pour les objectifs de validation, on devrait analyser et comparer les caractéristiques des séries de données des deux systèmes d'observation, les séries longues des stations classiques et les nouvelles séries de données des stations automatiques. Les résultats de l'analyse des cycles diurnes de la température et de l'humidité présentent de bonnes similarités de représentation avec les deux types de séries de données, classiques et automatiques, et on trouve les plus grandes amplitudes diurnes (thermiques et hygrométriques) à Évora, ce qui est en accord avec la localisation géographique (distance à l'océan), en comparaison avec Lisbonne.

Références

- [1] Nunes L. F., Carvalho R., Prior.V., Surface Automatic Meteorological Observations : Portuguese Experience & Future Perspectives, 11th Symposium on Meteorological Observations & Instruments, AMS, Albuquerque, USA, January-2001.
- [2] Nunes L. F., Neto J., Carvalho F., Carvalho R., Lopes A., New Developments in the Data Processing and Validation System for the Portuguese AWS Network, ECAM-2001, Budapest, Hungary, September 2001.
- [3] Nunes L. F., Carvalho R., Meteorological Data from the Portuguese Automatic Weather Stations Network, 2nd ICAWS-99, Vienna, Austria, September 1999■

1.3.2. La pollution

Impact des brises thermiques sur le transport des polluants atmosphériques dans la vallée de la ville de Mexico

J.C. GALLARDO (1), D.A. PARRA (2), J.L. PONCHE (3)

(1) *Programme de Recherche en Protection de l'Environnement (PIMAS), Instituto Mexicano del Petróleo, Av. Cien metros No. 152, Mexico D. F., C. P. 07730 Mexico*

Tél. : ++52 3003 6904 ou ++52 3003 8067 ; Email : jcarlos@www.imp.mx

(2) *Université d'Agronomie Antonio Narro, Periférico Torreón – Matamoros, C. P. 27000, Torreón, Coah., Mexique*

(3) *Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère - Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517 du CNRS et Département de Chimie de l'Université L. Pasteur de Strasbourg), 1 rue Blessig, F-67084 Strasbourg Cedex.*

Mots-clé : modélisation méso-échelle, brises thermiques, circulation synoptique, transport des polluants, épisode de pollution photochimique

Dans le cadre du Programme mexicain de Recherche en Protection de l'environnement (PIMAS), une étude d'impact des brises thermiques sur le transport des polluants dans la région de la Vallée de la Ville de Mexico (VVM) a été effectuée à l'aide de la modélisation à méso-échelle. Cette étude se décompose en 2 parties. En premier lieu, une comparaison de deux modèles météorologiques : MEMO (Mesoscale Model - Prof. N. Moussiopoulos, Grèce) et MM5 (Mesoscale Model of Fifth-Generation, Version 3 de la Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research, USA) a été effectuée pour étudier les brises thermiques présentes dans la région. En second lieu, l'épisode de pollution photochimique sur l'ensemble de la région pour la période du 2 au 10 mars 1997 a été modélisé et les champs de concentration des polluants primaires et secondaires ont été reconstruits. Cette dernière partie a été effectuée à l'aide du modèle MARS (Model for Atmospheric Dispersion of Reactive Species du Prof. N. Moussiopoulos).

La région de la VVM (5600 km², environ 0,3 % du territoire mexicain) compte une population de plus de 24 millions d'habitants (presque 25 % de la population mexicaine) et cette population s'accroît de 3 % par an. Les émissions y sont très importantes, puisque plus d'un tiers de l'industrie Mexicaine est localisé dans cette région, et plus de trois millions de voitures y circulent tous les jours. Ces deux sources nécessitent plus de 44 000 m³ de combustible par jour. La région de la VVM a une topographie complexe et est localisée à une latitude subtropicale. La Ville de Mexico se trouve à une altitude de 2230 m et est encadrée par des chaînes de montagnes qui culminent à 3952 m au Sud et 3000 m au Nord. Cette configuration favorise l'apparition et la persistance de nombreuses périodes d'inversions thermiques, qui en présence de conditions anticycloniques, empêchent quasiment toute dispersion des polluants. Comme toutes les grandes villes localisées dans des vallées peu ventilées, la ville de Mexico subit d'importants problèmes de pollution, principalement par l'ozone et les particules. Récemment, Molina M.J et Molina L.T. du MIT (Massachusetts Institute of Technology, USA) ont montré que depuis 1988, la concentration d'ozone dans la

VVM dépasse les normes durant plus de 290 jours par an (> 80 %). Les niveaux d'ozone atteignent 300 ppb, qui sont comparables à ceux des années 70 à Los Angeles (USA).

Les modèles ont été initialisés et validés avec les données obtenues de la campagne météorologique (IMADA, 97) et du réseau local pour la surveillance de la pollution atmosphérique (RAMA). La campagne IMADA du 23 février au 22 mars 1997, a permis de mesurer les paramètres météorologiques en surface, complétés par des sondages verticaux. Durant cette période, des conditions synoptiques anticycloniques ont prévalu, avec un système de hautes pressions établi sur le centre du pays, se traduisant par de faibles flux de nord et NE. Ces conditions ont généré des inversions thermiques durant la majeure partie de cette période. Les journées qui ont été sélectionnées pour cette étude correspondaient à des périodes de fort ensoleillement et donc aux plus importants pics de pollution photochimique. Les résultats obtenus avec les 2 modèles météorologiques montrent que la circulation à méso échelle dans la région de la VVM est beaucoup plus influencée par les cycles diurnes-nocturnes associés aux brises thermiques (brises de vallée et de montagne) que par la circulation à l'échelle synoptique. Ces brises thermiques ont été suffisamment intenses pour influencer notablement le transport et le brassage horizontal des polluants tout au long de la période modélisée. Ceci a permis d'expliquer les variations temporelles journalières des niveaux d'ozone et des concentrations de polluants peu réactifs (dont les variations étaient encore plus nettes) tel que le CO■

Mise en évidence de la forte variabilité spatiale et temporelle du CO à partir de mesures ponctuelles (itinérantes et statiques) dans les rues de Paris

H. QUENOL (1), S. BRIDIER (2), G. BELTRANDO (2)

(1) FRE 2170 du CNRS, Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq

Tél. : 06-19-21-87-81 ; Email : quenol@hotmail.com

(2) UMR 8586 du CNRS, Equipe Dynamique des Milieux et des Risques, Université Denis Diderot, 2 place Jussieu 75251 Paris Cedex 05

Mots-clé : CO, mesures ponctuelles, type de temps, SIG, trafic automobile, Paris.

La distribution spatio-temporelle des polluants d'origine automobile en milieu urbain est très variable. Elle dépend principalement du trafic (source des émissions) mais également d'autres paramètres tels que la morphologie des rues (largeur), la morphologie du bâti (continu ou discontinu, hauteur, ...) et la situation atmosphérique. A Paris, le réseau d'observations et de surveillance de la pollution de l'air est constitué de 20 stations réparties sur l'ensemble de la petite couronne (AIRPARIF, 2000). Ce réseau permet de déterminer les niveaux de pollution à l'échelle de l'agglomération mais les capteurs sont trop espacés pour observer la répartition des polluants à l'échelle de la rue notamment lorsqu'il s'agit d'effluents très volatiles comme le CO.

L'objectif de cette étude consiste à définir une méthode (mesures terrain et modélisation) permettant d'estimer, à l'échelle de la rue, la répartition des polluants de proximité liée à la circulation automobile. Nous avons choisi d'étudier le taux de CO d'une part parce qu'il est un bon indicateur de la pollution d'origine automobile et d'autre part parce qu'il est aisément

mesurable avec des capteurs électrochimiques. Pour mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle du taux de CO, deux capteurs portables connectés à des enregistreurs sont installés dans un sac à dos (censeur à hauteur des voies respiratoires) et permettent de réaliser des relevés ponctuels. Deux types d'expérimentations sont réalisés :

- mesures itinérantes : le taux de CO est relevé toutes les 15 secondes sur un parcours prédéfini. Cette opération est répétée plusieurs fois sur le même itinéraire en fonction de conditions de trafic et atmosphériques différentes ;
- mesures fixes : le taux de CO est relevé selon un intervalle d'une minute pendant plusieurs jours sur deux postes fixes (un test dans un secteur réputé à forte circulation automobile et un témoin dans un quartier résidentiel piétonnier). Cette expérimentation a pour objectif d'étudier la variabilité spatio-temporelle entre deux postes proches l'un de l'autre (35 m) en fonction du moment de la journée et du jour de la semaine.

Les résultats montrent que la répartition du CO est très variable d'une rue ou d'un quartier à un autre. Le taux de CO est très fortement dépendant du trafic de proximité. Les taux de CO les plus forts sont enregistrés au niveau des grands axes (les plus fréquentés) et au niveau des petites rues étroites où la circulation est difficile. On remarque également que la concentration du CO varie en fonction du type de temps (taux plus élevé par temps calme). Les mesures fixes font apparaître une très forte hétérogénéité de la distribution spatio-temporelle du CO. La rue dans laquelle est disposée le capteur témoin constitue un axe de délestage pour les automobilistes cherchant à éviter les embouteillages à la sortie du périphérique. Ce capteur enregistre une élévation matinale de la pollution qui est peu ressentie par le capteur témoin situé à 50 m. Cela confirme la nécessité d'étudier la répartition des polluants à une échelle très fine.

Cette étude montre que la concentration de CO est en étroite relation avec l'intensité du trafic, la morphologie de la rue (topographie, largeur, type de bâtiments) et la situation atmosphérique. Ces différents paramètres et les résultats des mesures sur le terrain sont intégrés dans un SIG afin de réaliser une cartographie de la répartition du taux de CO à l'échelle du quartier. L'objectif final est de développer un réseau de mesures combinant l'observation de plusieurs polluants (CO, PM10, NOx) afin d'estimer la répartition de la pollution de proximité d'origine automobile en fonction du trafic et du type de temps■

Pollution atmosphérique en milieu urbain : approche épidémiologique des pics de pollution par l'ozone sur la santé dans l'agglomération du Mans

C. ROUILLARD, Y. DJELLOULI

Université du Maine, Le Mans, France

Mots-clé : pollution atmosphérique, épidémiologie, ozone, Le Mans.

La lutte contre la pollution atmosphérique est aujourd'hui un véritable enjeu de santé publique. En effet de nombreuses études épidémiologiques dont le projet ERPURS, réalisée en Ile-de-France sur la période 1987-1992, mettent en évidence des liens entre les pics de pollution et l'augmentation des gênes respiratoires ou cardio-vasculaires. Une étude de cas a été réalisée concernant l'évaluation des effets à court terme des pics d'ozone sur l'aggravation

des symptômes respiratoires et cardio-vasculaires dans l'agglomération du Mans. Nous avons limité notre étude sur des périodes d'observation caractérisées par des concentrations d'ozone supérieures aux seuils de qualité et de recommandation fixés par les normes européennes, au-dessus desquels, il y a un risque pour la santé.

Les résultats de notre étude semblent révéler des liens entre un pic de pollution par l'ozone et l'augmentation journalière des hospitalisations pour des gênes respiratoires mais pas seulement lors des pics de pollution. Les effets observés se traduisent par une augmentation des hospitalisations pour des pathologies respiratoires quelques heures ou quelques jours après une exposition à des concentrations très élevées (pics) ou moyennes d'ozone. En ce qui concerne l'augmentation des hospitalisations pour pathologies cardio-vasculaires, la relation semble plus complexe. En effet, l'augmentation des hospitalisations s'observe généralement avant et après une augmentation du niveau d'ozone plus ou moins élevée. Il serait donc intéressant d'étudier les variations des hospitalisations cardio-vasculaires avec celles des niveaux de Monoxyde de Carbone qui d'après les études épidémiologiques sont à l'origine d'une recrudescence des troubles cardio-vasculaires.

Enfin, ces liens seraient davantage marqués pour certains groupes de population comme les enfants, les personnes âgées ainsi que les personnes déjà atteintes par des pathologies respiratoires ou cardiaques : les pics de pollution atmosphérique entraînent chez elles une augmentation des symptômes. Nos résultats se rapprochent de ceux de l'étude ERPURS.

Impacts de la pollution de la cimenterie de Rufisque sur la santé des populations : cas des quartiers de Gouye-Moutide

S. THIAM, P. SAGNA

Université C.A. DIOP, Dakar, Sénégal ; Email : pascalsagna@hotmail.com

Mots-clé : pollution, climat, santé, population.

La ville de Rufisque, située à 25 km à l'Est de Dakar, est dotée d'une cimenterie depuis 1942 dont la production en 2001 a atteint 1 171 300 t. Avec les extensions en cours de réalisation, l'objectif visé est de produire 1 500 000 t/an. Cette usine se situe à l'Est de la ville. Les rejets de cette unité industrielle sont :

- des gaz chauds qui entraînent avec eux des particules solides ;
- des rejets liquides qui résultent des opérations de lavage ;
- des poussières qui proviennent du poste de concassage, des cheminées et du silo de stockage malgré des systèmes de dépoussiérage mis en place par l'usine.

Ces rejets sont véhiculés en grande partie vers l'océan Atlantique compte tenu des fréquences des directions de vent entre novembre et mai. Cependant l'harmattan les ramène de temps en temps sur la ville de Rufisque. Le quartier le plus intéressé dans ce cas par la pollution est Gouye Mouride dont la population était estimée en 1998 à 19 740 habitants. Le quartier des HLM (10 000 habitants) est bien moins touché directement par cette pollution car il se situe au NO de la ville, à plus de 6 km de l'usine.

Pendant l'hivernage (de juin à octobre) la circulation de mousson domine et la composante ouest est plus importante. La pollution est davantage évacuée vers l'est, épargnant ainsi en

grande partie la ville de Rufisque. Cependant, le passage des lignes de grains, qui sont des perturbations pluvio-orageuses, ramène sur la ville, pendant de courtes périodes, la pollution de l'usine accompagnée de poussières soulevées et parfois de précipitations. Ainsi, quelle que soit la saison, la pollution de la cimenterie arrive à Rufisque et cela constitue un problème majeur de santé publique. Les informations obtenues au niveau des postes de santé des deux quartiers révèlent que les pathologies qui surviennent par rapport à ces rejets sont :

- l'inhalation qui cause ou aggrave les broncho-pulmonaires ;
- l'absorption qui se réalise à travers la contamination d'aliments et qui atteint le système nerveux, les reins, le foie ;
- le contact qui peut aboutir à des légions cutanées et à des manifestations allergiques.

	Atteintes respiratoires	Asthme	Légions dermatologiques	Atteintes oculaires
Gouye Mouride	1 151	34	515	323
HLM	489	75	520	161

En 1998, les affections ont été aussi importantes à Gouye Mouride qu'aux HLM comme en témoigne le tableau ci-dessus. Il existe aussi des variations saisonnières qui sont en relation avec les fréquences des directions de vent et les autres paramètres climatologiques■

1.3.3. Le risque climatologique

Certains aspects concernant le risque climatique produit par le vent dans les Sous-Carpathes de la Moldavie

L. APOSTOL

Université "Stefan cel Mare", Département de Géographie, str. Universității, nr.1, 5800, Roumanie; Tél. : 0040-30-216147/14 ; Fax. : 0040-30-523742 ; Email apostol@atlas.usv.ro

Mots-clé : risque climatique, les Souscarpathes de la Moldavie.

En Roumanie, le risque naturel le plus important est le risque climatique. Dans le cadre du risque climatique, les précipitations se situent à la première place. Le risque présenté par la vitesse élevée du vent se produit plus rarement et sur des surfaces plus réduites, étant généralement producteur de pertes matérielles. Parmi celles-ci, on remarque d'abord les dégâts provoqués aux réseaux de transport de l'énergie électrique, de téléphone, aux conducteurs situés à grande hauteur, les dégâts concernant les constructions et les forêts qui affectent périodiquement des centaines d'hectares. Les Souscarpathes de la Moldavie sont une région de collines attachée à l'Est des Carpates Orientales, qui ont une surface de 2 500 km² et des altitudes comprises entre 166 m et 911 m. Les Souscarpathes de la Moldavie constituent une bande qui s'étend du nord au sud, sur une distance de 150 km, ayant une largeur maximale de 30 km. La structure géologique est plissée, tout comme dans le cas des montagnes, mais les hauteurs plus réduites, les roches d'âge géologique récent et le paysage justifient leur classification parmi les régions de collines. Le relief est composé d'un cadre ouest, attaché aux Carpates Orientales, un couloir dépressionnaire formé de trois grandes dépressions, drainé par des rivières qui viennent des Carpates et ont l'orientation de NO à SE et une file de collines massives vers l'est. L'aire est intensément anthropisée, la densité de la population étant de 125 habitants/km².

La plupart de l'année, la Roumanie est traversée par des séries de dépressions et des anticyclones mobiles qui y sont intercalés, ce qui produit l'échange d'air entre les régions sous-polaires et les régions tropicales, par des vents au long des méridiennes. Dans la période de faible activité des cyclones, la circulation au sol est entraînée dans le sens des parallèles, de l'ouest à l'est, par la circulation générale qui existe dans l'atmosphère libre (Donciu, 1958). Cette périodicité est liée aux caractéristiques de la radiation solaire qui, au niveau de la circulation générale de l'atmosphère, se traduit aussi par l'intensification ou par l'affaiblissement, par le changement de forme et de position des principaux centres barriques. Ainsi, la domination de certaines situations synoptiques générales conduit à la dominance dans un territoire de certaines caractéristiques du vent (Ion Bordei, 1988).

La circulation prédominante dans l'Europe Centrale, à la hauteur de 3000 m, est de l'est à l'ouest (Wagner, cité par Stoenescu, 1951). Ce flux comprend toute la Péninsule Balkanique, y compris notre pays (Stoenescu, 1951). C'est une conséquence de la composition des courants qui se déplacent de la ceinture de maximum tropical vers la ceinture cyclonique sous-polaire. La déviation produite par la force Coriolis modifie la direction de ces courants, produisant le système des vents d'ouest, spécifique à la zone tempérée. Les circulations de la direction ouest qui suivent la partie nord de la chaîne carpatique se moulent sur la partie NE et

ensuite sur la partie est de la chaîne des Carpates, devenant des circulations NO et ensuite des circulations nord. Le phénomène produit des phénomènes de cavitation qui génèrent des zones dépressionnaires, des divergences des lignes de courant et de fœhn. Les courants principaux de l'air des Souscarpathes auront la direction nord. Au niveau des vallées domine la direction NO ou ouest, résultat des vents de la circulation périodique locale (circulation qui sur la vallée de la rivière Bistrita -qui traverse l'aire étudiée- est le mieux exprimée au niveau de toute la Roumanie). Ce sont les directions sur lesquelles on enregistre les plus grandes vitesses moyennes dans les Souscarpathes de la Roumanie. Mais la grande barrière des Carpates Orientales, orientée nord-sud, empêche, dans la plupart des cas, les circulations des directions ouest à l'est. D'une part et de l'autre des Carpates Orientales, se constituent ou arrivent des formations barriques de sens contraire, qui génèrent de grands gradients barriques horizontaux. Dans ces cas, les courants traversent les Carpates Orientales dans les régions vallonnées situées à l'ouest de la région et, plus fréquemment à leur est, dans les Souscarpathes de la Moldavie se produisent des vents catabatiques, qui enregistrent des vitesses maxima pour cette aire. Dans la plupart des cas, ces vents sont des vents de type fœhn. L'analyse des paramètres du vent dans les Souscarpathes de la Moldavie a été effectuée suite aux observations faites aux stations météorologiques Tg. Ocna, Piatra Neamt, l'ancien et le nouvel emplacement et Tg. Neamt (pour ces stations on a utilisé des données de 40 ans), mais aussi à la station hydrologique Onesti. On a utilisé aussi les données offertes par le réseau météorologique de la Station de Recherches "Stejarul" de Piatra Neamt (7 points météorologiques ayant 3 observations journalières, pour des périodes comprises entre 1 et 7 ans).

Station		Par an								Calme
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
Tg. Ocna	%	8,1	1,2	4,4	2,8	0,9	2,2	25,0	7,5	47,9
	m/s	4,5	2,5	2,9	3,0	2,7	4,2	4,1	3,8	
Piatra Neamt 314 m	%	10,7	1,6	2,0	10,6	2,0	0,9	10,8	26,5	34,9
	m/s	4,6	2,3	2,2	3,2	3,6	2,5	5,1	4,9	
Piatra Neamt 360 m	%	9,9	1,2	1,1	9,0	1,8	0,5	30,1	10,6	35,8
	m/s	4,1	2,9	2,9	3,5	3,0	3,4	4,7	4,2	
Tg. Neamt	%	19,2	1,6	1,5	3,4	11,3	7,2	5,2	10,9	39,7
	m/s	5,9	2,9	2,3	3,4	4,1	3,4	4,3	5,0	

Tableau 1. Fréquence et vitesse moyenne du vent dans les Souscarpathes de la Moldavie ; période d'observation : Tg. Ocna 1970-1995; Piatra Neamt (314m) 1971-1985; Piatra Neamt (360m) 1986-1995; Tg. Neamt 1965-1995.

Station Météorologique	Mois												Annuellement	Période
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Tg. Ocna	13,4	12,4	11,4	11,2	10,2	9,3	10,0	8,6	9,5	9,8	11,3	12,4	17,6	1975-1996
Piatra Neamt 314 m	17,1	14,1	12,6	12,1	12,8	12,9	13,1	10,2	10,9	12,6	12,9	16,2	21,3	1975-1985
Piatra Neamt 360m	19,3	11,5	13,4	11,6	11,4	9,6	9,6	9,6	9,9	10,2	11,0	16,7	22,9	1986-1993 1995-1996

Tableau 2. La moyenne des vitesses maxima mensuelles et annuelles (m/s)■

Les moyennes les plus élevées des vitesses maxima mensuelles ont été enregistrées au mois de janvier, avec une dynamique de l'atmosphère très active. Les vitesses maxima absolues mensuelles et annuelles se sont produites sur les directions des vents descendants, avec une seule exception, la vitesse maxima absolue du mois de juin, pour Piatra Neamt,

ancien emplacement, qui s'est produite sur la direction sud-SE. Les plus grandes vitesses absolues du vent se sont produites dans les Souscarpates de la Moldavie dans les mois d'hiver : les vitesses maxima enregistrées jusqu'à présent ont été dépassées dans toutes les stations par le vent du 7 mars 2002, qui a produit des dégâts importants dans l'aire étudiée. La vitesse maxima absolue, de 40m/s, détache cette station, par des valeurs analogues à celles du Plateau de la Moldavie situé à l'est. Les vitesses enregistrées le 7 mars 2002 dépassent les vitesses enregistrées pendant tout l'intervalle d'observation sur presque tout le territoire.

Catastrophe naturelle : les inondations exceptionnelles et dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 de l'algérois (Bab el Oued)

Y. DJELLOULI (1), A. SACI (2)

(1) Université du Maine, Le Mans, France ; (2) Office National de Climatologie, Alger

Après une longue sécheresse, les zones littorales Nord et NO de l'Algérie, ont connu une situation météorologique exceptionnelle les 9 et 10 novembre 2001. Il s'agit d'un événement pluviométrique important à caractère orageux, qui a touché plusieurs sites et en particulier les hauteurs de la partie Ouest de la ville d'Alger, avec un noyau sur la région de Bouzaréah. Une des plus anciennes stations météorologiques de l'algérois, Bouzaréah a connu des précipitations avec des cumuls en 24 heures de 262,2 mm (O.N.M., 2001), jamais enregistrés en un siècle de fonctionnement et représentant le 1/3 de l'eau reçue en moyenne, par an (durée de retour plus que séculaire ?).

Au cours de ce travail, nous tenterons une analyse de la situation météorologique synoptique en surface et en altitude durant ces deux jours. De plus, une étude historique nous permettra de voir si des événements de cette ampleur ont déjà touché ces régions et si ces inondations exceptionnelles ne présentent pas de périodicité. Nous examinerons également les différentes causes qui ont contribué aux impacts tragiques, notamment la position géographique détaillée de la région touchée, l'occupation du sol et les caractéristiques urbanistiques. En effet, la situation a provoqué une catastrophe nationale, par des pertes humaines avec plus d'un millier de morts et de nombreux disparus, mais aussi des dégâts matériels de quelques centaines de milliards de dinars algériens.

Aurait-on pu éviter de si grands dégâts ? avec quels moyens ? ■

Remarques à propos d'une géographie des risques climatiques

D. LAMARRE

Université de Bourgogne, Dijon.

Mots-clé : risque, accidents climatiques, tendances.

En introduction, on rappelle la notion de potentiel climatique (Lamarre et Pagney, 1999) qui sert de cadre à la réflexion.

L'intervention des sociétés humaines face aux risques climatiques se place à des échelons spatiaux multiples

- Ceux-ci sont plus ou moins bien identifiés selon les types de risques. Il y a des "milieux" à risques climatiques dont le niveau d'échelle spatiale est déterminé. On entend par milieu, en accord avec Gottmann (1954) et Pinchemel (1988), une entité géographique, un espace, dont le référent est le potentiel climatique.
- Ensuite, il est important d'établir la cohérence, ou l'incohérence, d'échelle entre l'espace à risque et le cadre d'intervention de la société face au risque. Il apparaît que le cadre national, nécessaire sans doute, n'est pas forcément le plus pertinent.
- La géographie des risques climatiques ne résulte pas seulement de la prise en compte de ces espaces à risque. Elle s'intéresse aussi à des types de risques liés au climat plus incertains dans l'espace et dans le temps. C'est donc une géographie floue.

Les modes d'intervention dans le temps sont eux aussi multiples. Pour simplifier, on distinguera :

- Les actions et réactions face à des "accidents climatiques" brutaux ou de courte durée. Provenant généralement d'événements météorologiques excessifs, ils ont pour la plupart une extension spatiale limitée. Celle-ci peut donner lieu à des mesures de prévention, voire à des ouvrages de protection si la société en a les moyens et si le phénomène est assez fréquent. En cas d'intensité exceptionnelle et de catastrophe inévitable, les hommes sont réduits à subir le fait accompli. Leur réaction dépend aussi de leur capacité d'organisation, mais dans une moindre mesure que leurs actions de prévention ou de reconstruction. Soumises à une force majeure subite, les sociétés humaines sont moins inégales entre elles.

- Le risque lié à un phénomène climatique de longue durée (tendance à la sécheresse par exemple). Dans ce cas, des adaptations et de nouvelles ressources sont élaborées par les sociétés, qui font évoluer leur potentiel climatique. En d'autres termes, la rapidité de l'évolution des sociétés dans le monde actuel, même dans les pays les moins avancés économiquement, est la principale réponse à ce type de risque.

En conclusion, la fluidité de la géographie des risques climatiques participe, beaucoup plus largement, d'une "géographie climatique" qui s'intéresse, par l'intermédiaire du potentiel climatique, aux rapports entre les sociétés et leurs espaces, et à la dynamique de ceux-ci ■

Climatologie d'événements « foudre » sur la France et détermination d'une échelle d'intensité

P. LASSEGUES, B. VINCENDON

Météo-France, 42 Avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, France

Tél. : (33) 05 61 07 83 63 ; Fax : (33) 05 61 07 83 09 ; Email : pierre.lassegues@meteo.fr

Tél. : (33) 05 61 07 83 12 ; Fax : (33) 05 61 07 83 09 ; Email : beatrice.vincendon@meteo.fr

Mots-clé : climatologie, foudre, échelle de risques, statistiques.

Météo-France est associée à un projet de définition des échelles de risques naturels en France. Dans ce cadre, les données d'impacts de foudre au sol du réseau Météo-France (Météorage) ont été utilisées pour réaliser une climatologie des événements foudre. La

période étudiée s'étend sur 5 ans de 1997 à 2001, où les données peuvent être considérées comme homogènes du point de vue du mode de mesure. Cette étude se focalise sur de petites échelles de temps, c'est-à-dire moins de 48 h.

Pour réaliser la climatologie, des calculs de nombre total d'impacts et de somme des amplitudes, par pavés géographiques et par pas de temps ont été effectués. Plusieurs pas de temps ont été testés allant de 1 heure à 2 jours. De même, on a fait varier la taille des pavés tout en restant aux alentours de quelques dizaines de kilomètres carrés. Des fonctions de répartitions peuvent alors être déterminées, et des quantiles calculés pour compléter la climatologie. Les résultats ont été interprétés région par région et saison par saison et comparés à des climatologies précédemment réalisées. La climatologie établie pourra par la suite servir de référence pour classer des situations particulières.

Le second objectif de l'étude était d'établir une échelle d'intensité d'événements foudre à partir de l'analyse des fréquences des événements. L'échelle pressentie devait avoir 5 niveaux et être simple, facilement mémorisable et utilisable. Elle devait faire appel à des critères accessibles en routine. Quelques épisodes caractéristiques ont été positionnés dans l'échelle. Cette échelle devait être commune à toutes les régions et saisons. Pour la déterminer, il a donc fallu considérer l'ensemble des événements. Ensuite, il fallait retenir les critères pertinents c'est à dire les moins corrélés. Divers critères ont été étudiés dont les suivants : impact d'intensité maximale par pavé et par 24h, intensité moyenne par pavé et par 24h, nombre d'impacts par pavé par 24h, etc. Enfin, une analyse statistique a été menée pour isoler et décrire des seuils caractéristiques■

Occurrence des précipitations et des accidents de la route au Gabon

J. D. MALOBA MAKANGA

Centre de Recherches de Climatologie, 6 bd Gabriel Dijon et département de Géographie de Libreville, BP. 1989, GABON

Mots-clé : précipitations, accidents de la route, Gabon, Afrique équatoriale atlantique.

La présente recherche s'inscrit dans le cadre de la climatologie urbaine. Il faut souligner que les études de climatologie à l'échelle locale sont rares au Gabon en raison, entre autres, de l'absence ou de la mauvaise qualité des données (séries chronologiques discontinues). Libreville se distingue des autres villes du pays par la régularité de l'enregistrement des éléments du temps. L'exploitation de ces données (Maloba, 1998) a permis de montrer, entre autres, que cette ville recueille 2 870 mm/an (sur la période 1951-1993) ; ce qui en fait la deuxième station la plus arrosée du Gabon après Cocobeach.

En outre, dans le domaine des transports terrestres, Libreville détient le parc automobile le plus important du pays. En raison de l'absence d'une étude fiable (qui prenne en compte les deux paramètres), l'opinion pense qu'il y a une recrudescence des accidents de la route en raison des pluies.

L'originalité de ce travail tient au fait qu'il s'agit de la première étude mettant en relation à la fois les précipitations et les accidents de la route sur une période de 10 ans. De même, elle

exploite des données de première main, recueillie à la FOPI, sur les accidents de la route à Libreville. Après avoir montré l'évolution des précipitations et des accidents de la route à l'échelle interannuelle, nous présentons les profils mensuels des pluies et des accidents qui nous permettent d'aborder les relations entre ces deux variables. Ce travail révèle que les accidents de la route survenus en temps de pluie ne représentent que 15 % du total des accidents de la route à Libreville et que ceux-ci ont lieu fréquemment sous de fines pluies. Ainsi le mois de septembre (caractérisé par l'absence de très forts abats pluvieux) qui marque le retour des précipitations se singularise par une augmentation considérable des accidents de la route■

**La tendance des orages et des inondations causées
par ce type d'aléa climatique en Haute Normandie ;
Etude statistique et analytique à partir de l'épisode du 6 au 12 mai 2000**

Z. NOUACEUR

*Université de Rouen, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, 76821 Mont Saint-Aignan
Cedex ; Tél. : 02 35 14 69 81 ; Fax : 02 35 14 62 00 ;
Email zineddine.nouaceur@univ-rouen.fr*

Mots-clé : Orage, Inondation, catastrophe naturelle, évolution climatique.

Depuis quelques années la Haute Normandie est caractérisée par une hausse prononcée des catastrophes naturelles de type inondation. Ces phénomènes découlent en général d'une situation pluviométrique excédentaire ou d'intensités remarquables des épisodes pluvieux. Par sa position géographique et son climat, la région présente les conditions favorables à l'existence de contrastes entre les masses d'air chaudes et froides qui favorisent la prépondérance de violents phénomènes climatiques (orages, trombes, tempêtes, tout ce qui caractérise les situations de conflits entre les masses d'air). Ces phénomènes sont connus depuis longtemps et ne cessent de sévir jusqu'à des dates très récentes. Le 4 mai 1961, un orage d'une rare violence a balayé entre 14 h et 21 h le Cotentin et le Pays de Caux. Le bilan humain et matériel s'est soldé par 3 morts et plus de 100 blessés et le déclenchement par le préfet du plan ORSEC. Plus récemment, les violents orages qui ont touché la Haute-Normandie sont devenus bien plus qu'occasionnels.

Le 16 juin 1997, toute la partie Ouest de la Seine-Maritime entre Rouen et Yvetot a été touchée par d'importantes pluies orageuses. Le sinistre a atteint son paroxysme à Saint-Martin-de-Boscherville où une vague déferlante s'est formée, emportant tout sur son passage. On a déploré 3 morts et des dégâts matériels importants. Qualifié « d'orage exceptionnel » par Météo-France, avec une durée de retour plus que centennale, ce phénomène a surpris par sa violence. En juillet 1999 et en mai 2000, les orages ont choisi encore la même région pour occasionner des dégâts considérables. Le quotidien « Paris-Normandie » qui relate le bilan dévastateur de ce dernier orage, souligne la recrudescence de ce type de phénomène et traduit la résignation des sinistrés par une phrase lourde de sens : « *Les orages ont rejoué un scénario déjà bien connu dans la région* ».

Le sujet de ce travail consiste dans un premier temps à faire une étude analytique et dynamique du dernier orage de l'épisode du 6 au 12 mai 2000. Cette analyse va permettre de dresser le schéma synoptique des orages et de traduire l'importance de l'intensité des pluies

qui provoquent les inondations. Dans un deuxième temps, grâce à une étude statistique, l'accent sera mis sur la tendance à la hausse des orages et des inondations causées par ce type d'aléa climatique (fig. 1). Enfin dans un troisième temps, une synthèse est proposée pour comprendre les causes de cette nouvelle situation climatique et expliquer la recrudescence de ce type de catastrophes naturelles.

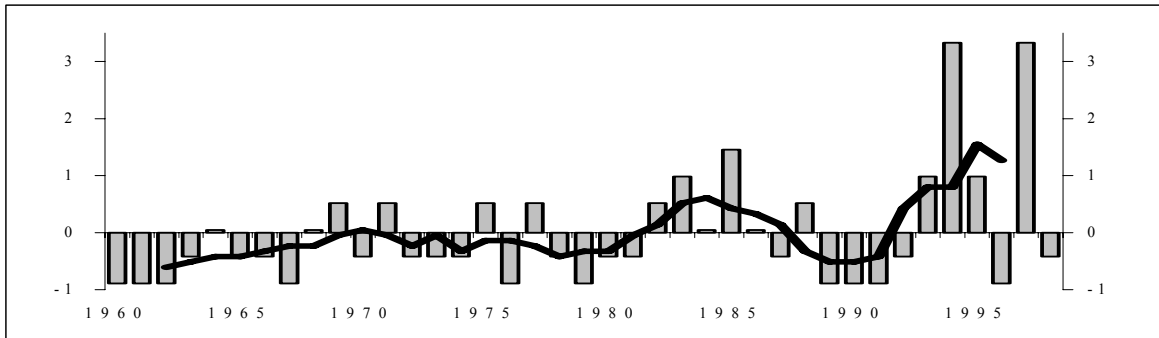


Figure 1 : Evolution des inondations causées par les orages en Haute Normandie (Ecart centré réduit sur la période, 1960 – 1998)■

PARTIE 2

LES PRECIPITATIONS

2.1. Tendances temporelles des précipitations

Etude des intempéries et des précipitations abondantes en Valais (Alpes suisses occidentales) durant le 20^{ème} siècle

S. ATTINGER, J.M. FALLOT

Institut de Géographie, Université de Lausanne, BFSH2, CH- 1015 Lausanne, Suisse

Tél. : ++41-21-93 23 06 ; Fax : ++41-(0)21-692 30 75

Email : Sylviane.Atinger@igul.unil.ch ; Jean-Michel.Fallot@igul.unil.ch

Mots-clé : intempéries, précipitations abondantes, classification météorologique de Hess-Brezowski, Valais, 20^{ème} siècle.

Plusieurs auteurs pensent que le réchauffement actuel et futur du climat devrait notamment s'accompagner d'une hausse des précipitations extrêmes (et moyennes) en Europe centrale, avec les conséquences que cela impliquerait pour les crues, les inondations ou les avalanches en hiver. Une étude réalisée pour l'ensemble de la Suisse (Fallot, 2000) a effectivement montré que le nombre de jours avec de fortes précipitations (> 50 mm en 24 heures) augmente sensiblement depuis 1975, notamment en Valais et dans les Préalpes orientales. D'autre part, des intempéries record ont affecté cette région et le Sud des Alpes en octobre 2000 après celles de septembre 1993. Sans parler des chutes de neige exceptionnelles tombées durant le mois de février 1999 qui ont provoqué de nombreuses avalanches en Valais. Une attention particulière a donc été portée à cette région intra-alpine sensible, qui comporte de surcroît plusieurs microclimats. En outre, il est prévu d'entreprendre une 3^{ème} grande correction des eaux du Rhône après les intempéries catastrophiques de 1993 et 2000, d'où l'utilité d'une telle étude.

Pour cela, nous avons d'abord analysé quelques épisodes et identifié les situations météorologiques ayant provoqué des intempéries importantes en Valais durant le 20^{ème} siècle : la situation la plus critique est celle avec un thalweg dépressionnaire sur l'Europe occidentale entraînant un afflux d'air humide de la Méditerranée à l'Europe centrale, ce qui provoque une situation de barrage active au Sud des Alpes avec des précipitations débordant sur le Valais.

Puis nous avons comptabilisé le nombre d'épisodes avec des précipitations abondantes supérieures à 100 mm en 72 heures durant le 20^{ème} siècle pour 8 stations réparties sur l'ensemble du Valais et ayant fonctionné sans interruption depuis 1901. Les observations montrent que les plus graves intempéries se produisent dans ce canton lorsque des précipitations abondantes tombent durant au moins 3 jours. Afin de mieux documenter les variations régionales et locales, cette analyse a inclus 22 autres stations pour une période plus courte (1961-2000). Le territoire étudié a été subdivisé en 3 grandes régions en fonction de leur régime pluviométrique, à savoir le Haut-Valais assez proche du Sud des Alpes, le Valais central et le Bas Valais & Chablais proche du Nord des Alpes suisses.

Les résultats montrent que le nombre d'épisodes avec des précipitations abondantes supérieures à 100 mm en 72 heures fluctue plus ou moins fortement durant le 20^{ème} siècle, mais qu'il augmente néanmoins sensiblement depuis 1973 dans le Haut-Valais. Cette augmentation est plus faible dans les 2 autres régions du Valais et elle résulte essentiellement

d'un accroissement de ces épisodes en hiver. Pour l'ensemble du 20^{ème} siècle, les précipitations abondantes tombent le plus souvent en automne, puis en hiver, et le plus rarement en été. On en déduit que les risques d'inondations sont les plus grands en automne en Valais. Une telle particularité ne se retrouve pas dans les autres régions de Suisse où l'été est également très exposé aux intempéries (violents orages) et aux inondations.

Nous avons ensuite identifié les situations météorologiques typiques les plus souvent à l'origine des précipitations abondantes mesurées dans les 3 grandes régions du Valais, sur la base de la classification de Hess-Brezowsky (HB) effectuée tous les jours par l'Institut allemand de Météorologie depuis 1881. Cette classification distingue 30 situations météorologiques typiques pour le temps en Europe centrale. Il apparaît que les situations cycloniques d'Ouest amènent le plus souvent des précipitations abondantes en Valais, suivies de celles du SO à SE, puis de celles du NO à Nord. Dans le Haut-Valais, les situations du SO à SE viennent même largement en tête devant celles d'Ouest, car elles provoquent une situation de barrage active au Sud des Alpes avec un débordement important des précipitations dans le Haut-Valais.

Nous avons ensuite examiné si l'augmentation des épisodes avec des précipitations abondantes observée en Valais durant le 20^{ème} siècle est liée à un accroissement de certaines situations de Hess Brezowski. 2 situations cycloniques du SO et du Sud tendent effectivement à augmenter depuis 1960 et elles touchent plus particulièrement le Haut Valais. Parmi ces 2 situations, on retrouve celle avec un thalweg dépressionnaire sur l'Europe occidentale qui a provoqué le plus grand nombre d'intempéries en Valais, notamment celles de 1993 et 2000 ! Cette augmentation se produit surtout en automne si bien que cette saison (la plus exposée aux inondations) se signale par une hausse sensible de la fréquence des précipitations abondantes provoquées par les situations cycloniques du SO à SE depuis le milieu des années 1970 dans le Haut-Valais.

Référence

FALLOT J.-M., 2000 : Evolution du nombre de jours avec des précipitations abondantes en Suisse durant le 20^{ème} siècle. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Volume 14, p. 100-109■

A quel point les actuelles tendances pluviométriques pluriannuelles sont-elles significatives ?

I. HAIDU

Univ. Babes-Bolyai de Cluj-Napoca, Faculté de Géographie, 5-7 rue Clinicilor, Cluj-Napoca, Roumanie ; Email : ionel_haidu@yahoo.com

Mots-clé : modélisation stochastique, tendances, précipitations, signification.

L'étude des tendances de variation des précipitations atmosphériques est un problème de grande actualité, dans les conditions où la littérature de spécialité signale pour différentes régions du globe des oscillations plus amples que celles habituelles et souvent contradictoires. Les nombreuses études parues dans les dernières années ne conduisent pas à une conclusion certaine en ce qui concerne la croissance ou la diminution des quantités annuelles de précipitations au niveau régional. Souvent, l'interprétation des différentes tendances citées est

influencée par **la méthode de travail** utilisée et par le mode de définition des composantes de la série temporelle. Il n'y a pas une opinion unanime sur la définition des tendances, ni une méthodologie adéquate d'analyse des séries chronologiques en fonction des caractéristiques statistiques et physiques du processus suivi.

Les séries pluviométriques annuelles sont les plus simples du point de vue des caractéristiques statistiques. Pour l'analyse statistique des sommes annuelles des précipitations atmosphériques il existe à l'heure actuelle plusieurs possibilités d'approche qui dérivent des **caractéristiques stochastiques** de ces séries. De telles séries d'observations annuelles, enregistrées ponctuellement dans une station, peuvent être considérées comme la réalisation de l'un des types suivants de processus stochastiques :

- processus stationnaire (a),
- processus stationnaire non-corrélé connu aussi comme bruit blanc (b),
- processus stationnaire non-ergodique (c),
- processus non-stationnaire (d).

La nécessité de différencier entre les hypothèses ci-dessus réside dans le fait que dans le cas d'un modèle à l'échelle de temps pluriannuelle, **l'effet de l'élimination de la tendance** sur les autres composantes de la série temporelle peut insérer artificiellement (en fonction de l'appareil mathématique utilisé) des effets non-naturels sur la série résiduelle et peut conduire à des conclusions erronées. En ce qui concerne le champ des précipitations, on a souvent signalé une **synchronicité régionale**, ce qui suggère l'idée de déterminisme spatial, même si, considérées individuellement, les séries des précipitations annuelles totales semblent aléatoires. Du point de vue stochastique, l'existence de la **tendance ponctuelle ou régionale** et son mode de définition sont liés aux hypothèses ci-dessus.

Dans ce contexte, qui reste non-conclusif malgré l'abondance de titres consacrés à la problématique mentionnée, cette étude analyse les sommes annuelles des précipitations atmosphériques dans les stations climatiques suivantes : Aberdeen (1871-1980), Athènes (1895-1980), Belgrade (1888-1980), Berlin (1851-1980), Bucarest (1858-1980), Budapest (1841-1980), Copenhague (1821-1980), Iasi (1858-1980), Jérusalem (1861-1980), Lisbonne (1864-1980), Lodève (France, 1902-1992), Madrid (1860-1980), Milan (1768-1980), Moscou (1881-1980), Nicosie (1900-1980), Paris (1874-1980), Petersbourg (1880-1980), Rome (1782-1980), Sibiu (1850-1980), Sulina (1858-1980), Vienne (1851-1980).

En examinant ces séries, on a observé entre autre que la **tendance globale**, déterminée par ajustement polynomial, ne coïncide pas toujours pour la dernière sous-période (10-20 ans) avec le sens de la tendance de la sous-période respective. La littérature spécialisée mentionne le fait que dans le cas du modelage stochastique, le choix de la tendance la plus adéquate est basé sur la grandeur de **l'ordre de différenciation successive** pour laquelle les résultats de cette opération sont constants. Cette méthode est avantageuse du point de vue technique (risque réduit d'erreur dû à la technique de travail), mais elle a l'inconvénient de ne pas permettre la visualisation et l'interprétation de la dynamique du **“niveau” moyen** de la série par sous-périodes. Nous apprécions le fait que la tendance globale polynomiale a une signification relative, son allure dépendant de la longueur de la série, et elle est souvent contradictoire aux extrémités. A la différence de la tendance globale polynomiale, qui représente une croissance ou une décroissance monotone continue du niveau général de la série, la composante des **tendances locales**, dans le cas d'une série pluriannuelle, modifie sur des intervalles courts (10-30 ans) le niveau général de la série. Les tendances locales successives n'ont pas de points communs, le passage d'une tendance à l'autre se réalise par un

petit saut au niveau de la série dans la sous-période respective. Dans ce contexte l'analyse des tendances locales doit être doublée par l'investigation des **sauts climatiques** ou des changements significatifs de la moyenne pluriannuelle.

Dans le cas des séries analysées, les sauts positifs ou négatifs suggèrent l'apparition de nouvelles tendances par rapport à celles existantes avant le moment de saut. Dans l'étude on mentionne le fait que les séries du **signal de bruit** (test de Iwashima), qui indiquent une **rupture de stationnarité** (saut climatique) et indirectement l'installation de nouvelles tendances, ont un caractère oscillatoire. Un groupe d'années à valeurs élevées (une – deux décades, rarement plus) est suivi d'un groupe d'années à valeurs basses, comme l'impose le "jeu" de la circulation générale de l'atmosphère. Les tendances locales de la série de précipitations annuelles suggèrent l'existence d'une **alternance** entre des périodes humides et sèches ou même de quasi-cycles climatiques.

C'est pour cette raison, aussi bien que pour avoir une image globale de la dynamique dans le temps du niveau de la série, que s'impose l'identification de la composante des tendances locales. Par l'élimination de la composante des tendances locales, afin de **stationnariser la série**, la tendance globale est éliminée automatiquement. Cette approche des tendances permet le modelage stochastique avec un moindre risque de produire des erreurs dues à la technologie de travail, en plus, elle a l'avantage de permettre la visualisation de la dynamique du niveau moyen de la série■

Pluviométrie moyenne annuelle : Choix de la période de référence (Algérie du Nord)

M. MEDDI, H. MEDDI

*Institut d'Hydraulique, Centre Universitaire de Mascara – 29000 Mascara – Algérie
Tél. / Fax : 213 45 80 41 62 ; Email : mmeddi@yahoo.fr*

Mots-clé : variabilité pluviométrique, période de référence, Algérie du Nord.

L'aménagement d'un bassin versant nécessite une étude hydrologique détaillée et approfondie basée sur des séries de précipitations, de températures, de débits liquide et solide représentatives de la réalité. Le choix d'une période de référence représentative, pour les précipitations, d'une longue série d'observation est très délicat. Cela est dû à la grande variabilité interannuelle des pluies et les lacunes d'observations rencontrées généralement dans les annuaires.

Par ce travail, nous essayerons de montrer la nécessité du choix adéquat de la période de référence. Pour se faire, dix stations pluviométriques ont été sélectionnées (période d'observation de 80 ans, 1915-1995). La moyenne annuelle est calculée en utilisant toutes les périodes de référence possibles de durées d'observations croissantes de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 et 80 ans. En étudiant la représentativité d'une période de référence pour dix stations pluviométriques du Nord de l'Algérie, nous avons montré que :

- une grande variabilité de l'écart entre la valeur minimale et maximale de la moyenne interannuelle d'une période de référence à une autre et cela pour l'ensemble des stations étudiées,

- les moyennes correspondantes aux périodes de référence trouvées montrent la difficulté d'estimer une période représentative unique d'une longue série pour l'ensemble des stations réparties sur l'ensemble du territoire,
- la mobilité de ces périodes, pour chaque tranche (10, 20, ..., 80 ans), d'une station à une autre,
- les écarts (entre la moyenne de la série 1968/95 et celle de 1915/95) montrent que la période de référence 1968/95 peut représenter convenablement la période 1915/95 sans grande erreur et cela pour la plupart des stations étudiées,
- la moyenne interannuelle des pluies pour la période 1968-95 explique 98 % de la variance de la moyenne pluviométrique de la période complète à savoir 1905-1995.

En conclusion, il serait judicieux, pour minimiser l'erreur, de trouver une période de référence pour un ensemble de stations homogènes (du point de vue topographie et climatique) et d'éviter de prendre une période pour l'ensemble du Nord de l'Algérie■

Tendances saisonnières des précipitations et des pressions de surface dans le Bassin Méditerranéen (1915-1988)

C. NORRANT, A. DOUGUEDROIT

*Institut de Géographie, Université de Provence, 29 avenue Robert Schuman 13621 Aix-en-Provence Cedex 1 ; Tél. : (33) 4 42 95 38 71 ; Fax : (33) 4 42 64 01 58
Email : cnorrant@hotmail.com ; annick.douguedroit@up.univ-aix.fr*

Mots-clé: précipitations, pressions de surface, tendances, Bassin méditerranéen.

Nous nous proposons d'étudier, à l'échelle saisonnière, les tendances des précipitations et des pressions de surface du Bassin méditerranéen et de les mettre en relation les unes avec les autres. L'étude des précipitations est fondée sur des observations effectuées de 1915 à 1988 dans la région du Bassin Méditerranéen. Au pas de temps de la saison pluvieuse, et qui se maintiennent au cours des trois autres saisons, quoiqu'avec de légères modifications, six sous-régions pluviométriques ont été déterminées à partir de 40 stations réparties sur l'ensemble du pourtour méditerranéen et du proche Atlantique à la même latitude, grâce aux saturations d'une Analyse en Composantes Principales avec Rotation (ACPR) de type Varimax, qui conserve l'orthogonalité des facteurs. Il s'agit de : la sous-région atlantique, les golfes de Valence et du Lion, le Maghreb (excepté le Maroc), le golfe de Gênes, la Grèce, et le Moyen-Orient. Afin de parfaire les limites de certaines régions, nous avons effectué des corrélations avec 15 stations supplémentaires aux séries plus courtes (Fig. 1). Nous n'insisterons pas sur cet aspect du travail qui recoupe des résultats déjà publiés.

Nous avons calculé une tendance sur les scores de chaque facteur représentant les précipitations régionales standardisées de chacune de ces régions, à tous les pas de temps. Le Bassin Méditerranéen apparaît ainsi divisé en deux aires au pas de temps de la saison pluvieuse : au cours du XX^{ème} siècle, les précipitations diminuent dans le Nord et l'Est de la Méditerranée (golfes de Valence et du Lion, golfe de Gênes, Grèce et Moyen-Orient), et augmentent dans le Sud et l'Ouest (sous-région atlantique et Maghreb). Toutes ces évolutions sont données comme non significatives par le test de Kendall à 5 % d'erreur (test non paramétrique sur les rangs), sauf celle représentant la diminution des pluies en Grèce.

En utilisant un champ de pressions de surface en points de grille de 5° lat. x 5° long. allant de 30°N à 45°N et de 30°E à 45°O, nous avons calculé, pour chaque point, la tendance des pressions de surface sur les données brutes, et les tests de Kendall associés aux tendances. Puis, par interpolation linéaire par triangulation entre les points, nous avons établi la tendance du champ de pressions dans son ensemble. Sur l'ensemble du Bassin, les pressions ont augmenté entre 0,5 et 2hPa en moyenne au cours du siècle, sauf dans le bassin occidental en hiver et printemps. Ces augmentations sont en général significatives.

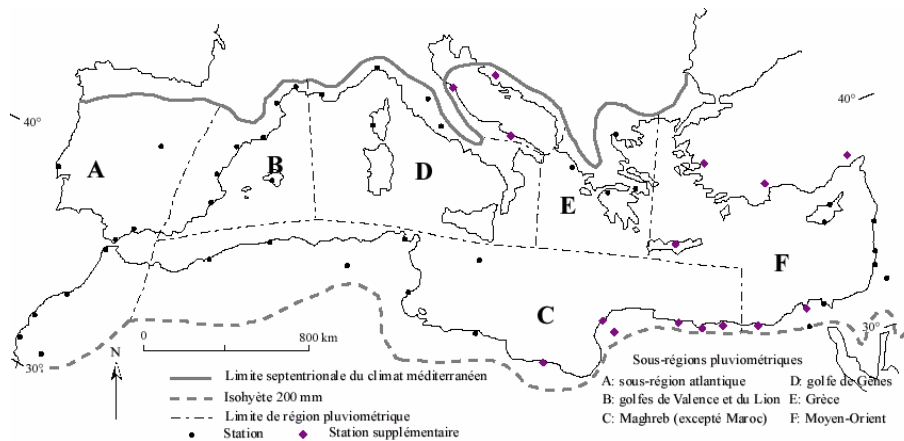


Figure 1: Sous-régions pluviométriques, saison pluvieuse.

Cette évolution des pressions de surface au-dessus de la région est cohérente avec les évolutions observées des précipitations. En effet, un lien physique existe entre ces deux paramètres : nous pouvons supposer qu'une augmentation des pressions de surface serait associée à une diminution des précipitations. Les augmentations des pluies dans le bassin occidental en hiver et printemps sont donc cohérentes avec l'évolution des pressions au même endroit, tout comme les diminutions des précipitations aux autres saisons alors que les pressions de surface augmentent. Les cas moins évidents se présentent lorsque les tendances des précipitations et des pressions sont dans le même sens dans une même sous-région (golfs de Valence et du Lion en hiver, sous-région atlantique en saison pluvieuse...), cependant, les évolutions des précipitations y sont non significatives.

Pour toutes les saisons, nous avons calculé les corrélations entre les précipitations de chaque région et les pressions de surface en points de grille, à l'échelle du siècle. Par exemple dans les sous-régions pluviométriques du Maghreb, du Moyen-Orient et des golfs de Valence et du Lion, les corrélations sont négatives avec les points de grille ayant la même extension géographique que la sous-région pluvieuse, mais non significatives, à toutes les saisons sauf en hiver pour le Moyen-Orient et au printemps pour les golfs de Valence et du Lion. Les sous-régions de Grèce et du golfe de Gênes sont négativement corrélées de façon significative avec les pressions en points de grille les surplombant, ce qui est cohérent, associant les diminutions des précipitations aux augmentations des pressions de surface.

Ainsi, dans le Bassin Méditerranéen, les tendances des précipitations saisonnières se combinent pour aboutir, lors de la saison pluvieuse, à une diminution entre 1915 et 1988 sur une moitié nord et est, significative en Grèce, et une augmentation non significative sur une moitié Sud et Ouest. Au même pas de temps s'observe une augmentation significative des pressions de surface allant jusqu'à plus de 1hPa dans le bassin. Celle-ci est négativement corrélée de façon significative, mais faible, aux évolutions des précipitations in situ ■

2.2. Variabilité temporelle des précipitations

Intensité horaire de la pluie

Z. BENZARTI

Faculté des Lettres de Manouba, Tunisie ; Tél. : 216 71 521 175; Email : zbnzarti@planet.tn

Mots-clé : pluviographie, averse, hyétogramme, Tunisie.

L'intensité horaire de la pluie fait partie des paramètres climatiques liés aux conditions atmosphériques. Cependant son étude est plus rattachée aux sciences hydrologiques qu'à la climatologie. Son analyse est complètement absente dans les manuels de climatologie. Or, comme l'analyse de la pluie mensuelle ou journalière est un agrandissement d'échelle de l'analyse des précipitations annuelles et saisonnières, la pluie horaire est également un agrandissement d'échelle de l'analyse des précipitations quotidiennes. Actuellement le nombre de pluviographes en fonctionnement a augmenté, les séries d'observation sont plus longues, les dépouillements de pluviogrammes sont facilités par les moyens matériels (ordinateurs, tables à digitaliser, cartouches, lecteur de cartouches, imprimantes...) et les logiciels informatiques. Mieux encore, les nouveaux pluviographes sont automatisés et les intensités sont obtenues rapidement et parfois même en temps réel. Habituellement la pluviographie est formulée par la hauteur de pluie, la durée de l'averse, la succession des averses et leur fréquence mais la répartition dans l'espace est totalement ignorée.

D'autre part, il faut signaler que l'intensité des pluies a un impact direct sur :

- l'écoulement et l'infiltration de la pluie, donc sur l'état des ressources hydrauliques du pays : eaux de surface (niveau d'eau dans les cours d'eau et dans les barrages) et eaux souterraines (alimentation des nappes souterraines).
- l'efficacité de l'apport pluviométrique pour les différents types de cultures pluviales ou irriguées (estimation du moment et du volume de l'apport complémentaire en eau pour les plantes), donc sur l'importance des rendements et des récoltes et par conséquent sur l'économie du pays.
- l'érosion des sols et l'envasement des barrages, donc sur la durée de vie des ouvrages hydrauliques et sur la nécessité des aménagements pour la conservation des eaux et des sols.

Ainsi la nature des intensités horaires des pluies affecte à la fois l'environnement et l'économie du pays■

Variabilité interannuelle des précipitations dans les Alpes du Sud de 1951 à 2000 et analyses statistiques multivariées sur la décennie 1990/2000

M. BERTHELOT (1), A. GENIN (2)

*(1) DEA « Dynamique des milieux naturels et anthropisés, passés et actuels » USTL Lille 1
22 rue de Cambraie, 37800 Marcilly sur Vienne
Tél. : 02 47 65 27 24 ; Fax : 06 87 10 28 01 ; Email : berthelot@nomade.fr*

L'étude des précipitations dans les Alpes du Sud avait fait l'objet d'une première analyse dynamique lors de l'année de Maîtrise. Cette année, l'objectif du DEA est de compléter cette étude avec de nouvelles méthodes statistiques et une base de données plus longue. Le premier point sera axé sur la variabilité des précipitations depuis 1951 à partir des données mensuelles de 22 postes répartis dans les Préalpes et dans les Alpes internes. La méthode retenue consiste à tester l'homogénéité des séries chronologiques (Test de Pettitt, Test de Buishand, Test de Student). Les résultats obtenus sont convaincants, deux échéances apparaissent comme des dates de rupture : 1978 et 1992. Toutefois, l'information la plus importante concerne le volume des précipitations durant la dernière décennie qui vient rompre l'homogénéité des données depuis 1951.

Le début des années 1990 est une période importante dans l'interprétation de la variabilité des précipitations depuis 1930. Au cours du XX^{ème} siècle, le monde méditerranéen aurait eu une baisse des précipitations de 20 % (C. Ghislain et B. Henrion, 2001). Sur la période 1930 / 1990, la moyenne des stations du SE de la France donne également une diminution de l'ordre de 7 % sur trente ans (J. P. Béthoux, 1999). A l'échelle de la basse vallée du Rhône, la baisse du cumul annuel et du nombre de jours de précipitations (> 0,1 mm) serait significative (S. Aubert, 1993). Ces conclusions sont basées sur des études qui prennent en compte des périodes antérieures à 1990. En revanche, en incluant les valeurs de 1990 / 2000, les résultats diffèrent et mettent en évidence les excédents des précipitations de cette décennie. En se tenant à l'exemple de Digne, la courbe de tendance linéaire marque une baisse des précipitations de 1951 à la fin des années 1970. Après 1978, on observe un accroissement très net des précipitations qui semble se renforcer au début de la décennie 1990. Ces conclusions sur le poste de Digne se retrouvent sur les 22 stations étudiées des Alpes du Sud. De plus, cette tendance annuelle, et en particulier la rupture de 1978, se vérifie sur l'ensemble de la France.

Coïncidence ou corrélation, la période 1990/2000 est considérée comme la plus chaude du XX^{ème} siècle. De nombreux travaux sont effectués sur la corrélation entre la variabilité des précipitations et l'élévation de la température (C. Ghislain et B. Henrion, 2001). L'indice de l'Oscillation Nord-Atlantique est aussi un paramètre à prendre en compte pour mesurer la variabilité de la pluviométrie en Europe. Le mode négatif a prédominé entre 1953 et 1977 (H. Wanner, 1999), période pendant laquelle les hivers en Europe ont été rigoureux (1956 et 1962). Depuis 1977, le mode positif est prépondérant, s'accompagnant de pluies abondantes surtout en Europe du Nord.

La variabilité mensuelle des pluies dans les Alpes du Sud se distingue par sa très grande hétérogénéité depuis 1978. Cette date marque le début d'un renforcement des précipitations en avril (seulement sur le SE de la France) ainsi qu'en octobre sous forme de fortes averses (G. Staron, 1993). Une analyse approfondie fera l'objet d'un second point. Il s'agit ici, sur la période 1990/2000, d'interpréter l'origine des précipitations à travers les situations atmosphériques, leur variabilité dans l'espace et dans le temps. Les analyses statistiques multivariées ont été utilisées pour obtenir un grand nombre d'information des différents tableaux de données. Tout d'abord, l'application de l'A.F.C. sur les données quotidiennes de 32 postes de 1992 à 1999. Puis l'utilisation de l'A.C.P. sur 22 stations de 1990 à 2000.

Les résultats se rejoignent et laissent entrevoir plusieurs ensembles pluviométriques : les Alpes Maritimes et leur caractère typiquement méditerranéen, la vallée de la Durance comme zone de transition, la vallée du Rhône avec la mixité des influences et enfin les Alpes internes où l'altitude et la position d'abri nuancent les caractères méridionaux. De la même manière, l'origine des précipitations a pu être approchée à travers deux outils : une typologie quotidienne des situations atmosphériques adaptée aux Alpes du Sud (1992/1999) et par la classification automatique de P. Bénichou (1995), appliquée à l'échelle mensuelle, plus généralement adaptée à l'ensemble de l'Europe occidentale. Chacune de ces bases de données a été mise en corrélation avec les données pluviométriques de 32 stations (quotidiennes et mensuelles) en utilisant l'A.F.C.V.I. et une méthode de classification automatique. L'objectif est de caractériser au mieux les précipitations sur la décennie grâce à ces deux approches qui peuvent être critiquées l'une par rapport à l'autre■

Identification des dates de démarrage et de fin de la saison des pluies : applications à l'Afrique de l'Est et au Sénégal

P. CAMBERLIN (1), R. OKOOLA (2), M. DIOP (3)

(1) UMR 5080 CNRS Centre de Recherches de Climatologie, Univ. de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon, France ;

Tél. : 03 80 39 38 21 ; Fax : 03 80 39 57 41 ; Email : camber@u-bourgogne.fr

(2) Department of Meteorol., University of Nairobi, P.O.Box 30197, Nairobi, Kenya

(3) Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG), Campus universitaire de l'ESP, BP 25275 Dakar-Fann, Sénégal

Mots-clé : précipitations journalières, saison des pluies, analyse en composantes principales, Afrique tropicale.

En zone tropicale sèche, l'identification des dates de démarrage et de fin de saison des pluies est souvent garante de la réussite d'une campagne agricole. En général, les définitions retenues souffrent cependant du caractère trop local de leur application, ce qui obère sérieusement les possibilités de prévision. En prenant les exemples du Kenya et du Sénégal, une méthode simple est proposée pour arriver à définir des dates de démarrage et de fin ayant une assise régionale et non purement locale, sur la base de données pluviométriques journalières. Les scores cumulés, année par année, de la première composante principale présentent un minimum et un maximum qui sont proposés respectivement comme date de démarrage et date de fin des pluies. Dans le cas du Kenya et de la Tanzanie du Nord, pour la saison des pluies principale ("*long rains*" de mars-mai), ces dates sont bien représentatives de l'évolution des précipitations dans la majorité des 34 stations. La robustesse de la méthode est testée à partir d'un échantillon de stations complètement indépendantes. Des résultats également satisfaisants sont obtenus pour le Sénégal.

Sur la période 1958-1987, au Kenya, la date moyenne du démarrage des pluies s'établit au 25 mars, et la fin au 21 mai. La méthode permet un suivi interannuel, qui montre une relative stabilité de la durée de la saison sur le long terme. La variabilité interannuelle de la fin de saison est moins prononcée que celle du début des pluies. En revanche, la représentativité spatiale des dates moyennes de démarrage est plus grande que celle des dates de fin ; ceci traduit une installation assez soudaine et généralisée, tandis que le retrait concerne d'abord les basses-terres, et que des averses peuvent continuer à être observées sur les hautes-terres de

l'Ouest et sur la côte. Dans le cas du Sénégal, on retrouve une variabilité interannuelle plus grande du démarrage (4 juillet en moyenne) que de la fin des pluies (2 octobre). Les deux séries présentent par contre des tendances significatives, témoignant d'un raccourcissement de la saison des pluies entre 1950 et 1992. Les corrélations entre dates de démarrage et de fin, durée de la saison et pluviométrie totale sont généralement significatives mais pas aussi élevées qu'attendu.

La bonne représentativité spatiale des dates ainsi déterminées permet d'en étudier la prévisibilité, en les mettant en relation avec les variations interannuelles des températures de surface et de la circulation atmosphérique■

Les épisodes de précipitations abondantes dans l'Oltrepò de Pavie et de Plaisance (Italie du Nord) au cours de la période 1951 – 1991 ; analyse spatio-temporelle

I. MAGGI

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, Via Abbiategrasso, 2, 27100 Pavia, Italie; Emails : cottone@manhattanunipv.it ; iremaggi@manhattanunipv.it

Mots-clé : précipitations abondantes, précipitations journalières, instabilité des versants, analyse en composants principaux, Apennins de Pavie-Plaisance, Italie du Nord

L'apparition d'épisodes de précipitations abondantes est l'un des aspects significatifs du rythme pluviométrique et son importance, en l'espèce, doit être prise en considération en fonction de la potentialité de sursaturation - due à ces pluies - des horizons déjà intrinsèquement (en raison de leurs caractéristiques géolithologiques–techniques) sensibles à des phénomènes d'instabilité des versants, pouvant tous être ramenés à la typologie "coulée", qui caractérisent la zone étudiée.

L'objectif de cette recherche, qui s'insère dans une enquête interdisciplinaire de grande envergure menée auprès du Département des Sciences de la Terre de l'université de Pavie et qui constitue une tesselle du cadre climatique que les auteurs entendent fournir pour étayer les intérêts d'application, consiste à effectuer une analyse de la distribution spatio-temporelle du nombre de jours de précipitation abondante, ainsi que de leur fréquence.

La recherche prend en considération plus de 10 stations pluviométriques bien distribuées dans la zone en question, pour lesquelles on dispose de données journalières relatives à la période 1951-1991 ; après avoir soumis ces séries à des tests préalables de vérification et d'homogénéité, on essaie de déterminer, à l'aide d'instruments statistiques, le seuil qui définit le mieux les précipitations abondantes.

Puis, après identification de la matrice initiale, on analyse la fréquence d'apparition de ces épisodes dans chaque station et pour chaque année, au cours des différentes saisons, afin de décrire de façon synthétique (analyse en composantes principales) l'ensemble des données. Pour finir, on effectue une comparaison entre les stations en identifiant le caractère essentiellement local ou de régionalité des épisodes pluvieux de précipitations abondantes■

Précipitations extrêmes sur l'espace centrafricain ; estimation de leur durée de retour

S. NDJENDOLE

*Département de géographie, Université de Bangui, BP. 1037 - BANGUI
Tél. : 00.236.61.74.16 ; Fax : 00.236.61.72.19*

Mots-clé : pluies extrêmes, méthode de Kimball.

L'étude des pluies extrêmes en République Centrafricaine est réalisée à partir des données journalières sur la période 1951-1990. On a retenu 36 échantillons de 40 maxima journaliers annuels correspondant aux 36 stations étudiées fournissant chacune une fréquence expérimentale $F_e(x)$. Cette fréquence traduit la probabilité de non-dépassement de la valeur pluviométrique journalière x en un an.

Pour chaque station, on a déterminé, par la méthode de Kimball, une loi théorique F la plus proche possible de F_e pour estimer la durée de retour d'une valeur pluviométrique X .

L'analyse a montré qu'avec cet ajustement, on obtient de meilleurs résultats pour de faibles durées de retour de 2, 5 et 10 ans pour l'ensemble des stations de la République Centrafricaine. En revanche, pour des durées de retour élevées (50, 100 ans), les valeurs attendues sont relativement basses■

Rapports probables entre pluie extrême observée et pluie maximale probable ; application à un cas réel : Versilia 1996

P. POINSOTTE (1), S. CAVAZA (2)

(1) Centre de Recherches de Climatologie, UMR5080 CNRS – Université de Bourgogne, 6 Bd Gabriel, 21000 Dijon – Franc ; Email : p.poinsotte@infol.it

(2) Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Gabba 22, 56100 Pisa – Italia; Email : s.cavazza@ing-unipi.it

Mots-clé : risque hydrométéorologique, événement pluviométrique extrême, pluie maximale probable, Toscane.

Le Nord de la région Toscane, secteur montagneux à orographie très découpée en petits bassins versants, se trouve particulièrement exposé au risque hydrométéorologique regroupant le risque de pluie extrême, le risque d'inondation et le risque de glissement de terrain, risque induit souvent lié au phénomène de crue torrentielle (flash flood). Effectivement, de fortes précipitations convectives se produisent chaque année, le plus souvent en automne, et les hauteurs maximales précipitées en 24 heures dépassent souvent les 120 mm et peuvent même parfois atteindre les 450 mm.

La question qui se pose dans de tels cas est de connaître le temps de retour d'un tel phénomène de manière à évaluer sa gravité, et c'est ainsi que des séries de précipitations extrêmes journalières sont habituellement ajustées à des modèles de distribution statistique comme la Loi de Gumbel ou la Loi combinaison de deux exponentielles (TCEV). Cependant,

ces Lois n'ont pas de limite supérieure alors que, physiquement, lorsque l'on étudie un secteur géographique particulier, une pluie extrême d'une certaine durée à une période déterminée de l'année, nous pouvons postuler qu'une telle limite existe. Ce postulat s'appuie sur le fait que les mécanismes thermodynamiques générant des précipitations ont des prestations limitées car la quantité d'eau qui converge à l'intérieur des cellules orageuses n'est pas infinie. Nous pouvons ainsi raisonnablement nous attendre à ce que les pluies le soient également car leur quantité dépend essentiellement de deux facteurs : l'apport d'humidité dans le système et la vigueur des mouvements convectifs. Une question importante se pose alors : sur un secteur géographique donné et pour une période de l'année déterminée, qu'elle est la quantité maximale de pluie que l'on peut attendre, autrement dit qu'elle est la valeur de la Pluie Maximale Probable (PMP) ?

La réponse dépend bien entendu des caractéristiques initiales de la masse d'air. Maintenant posons-nous un problème simple et supposons qu'un orage, de durée de vie de 12 heures, s'abatte sur une zone couvrant une superficie de 25 km². Nous savons, d'après les mesures effectuées in situ par les stations météorologiques, que ce phénomène est caractérisé par un certain taux d'humidité. Nous nous demanderons donc quelle quantité de pluie aurions nous mesuré si l'humidité de l'air avait atteint sa valeur maximale pour cette période de l'année. La résolution de ce problème revient à maximiser le taux d'humidité mesuré au cours de l'événement en introduisant le concept "d'eau précipitable", paramètre météorologique représentant la hauteur d'eau recueillie à la base d'une colonne d'air (supposant que la totalité de l'eau contenue dans la colonne se condense puis précipite au sol). Analytiquement, la valeur de l'eau précipitable est obtenue en calculant l'intégrale de l'humidité spécifique sur la verticale tel que :

$$W = 0.01 \int_{P_e}^{P_0} q dp$$

avec, W la quantité d'eau précipitable en mm et q l'humidité spécifique en g/kg. Il suffira ensuite de déterminer le coefficient de maximisation de l'événement en rapportant l'eau précipitable maximale calculée à partir des maxima de température et d'humidité spécifique mesurés au cours de la période étudiée (par exemple le mois de Juin) et la quantité d'eau précipitable relative à l'événement pluviométrique puis de multiplier la pluie effective par cet indice tel que :

$$P_m = P_e \times \frac{W_m}{W_e} \quad \text{avec :}$$

P_m : pluie maximisée

P_e : pluie effective

W_m : eau précipitable maximale

W_e : eau précipitable effective

Cette méthodologie a été appliquée en vue de la définition, dans les Alpes Apuane, de la Pluie Maximale Probable en s'appuyant sur l'événement du 19 juin 1996, événement pluviométrique d'une intensité extrême au cours duquel les cumuls en 24 heures ont dépassé les 450 mm dans plusieurs stations de mesures. Dans deux stations, au cours de l'orage, l'intensité a même dépassé les 100 mm/h.

Les résultats ont permis d'évaluer de façon très réaliste l'entité de ce phénomène météorologique très puissant dont le temps de retour a été estimé, à plus de 500 ans avec la

Loi de Gumbel, à 135 ans avec la TCEV, par rapport à la valeur de la PMP, et de nous interroger, dans ce contexte, sur la signification de la notion de "temps de retour", notion souvent mal interprétée par les décideurs et les populations■

La pluviométrie et les systèmes convectifs aux alentours des montagnes du Fouta Djallon en Guinée

S.M. SALL

*Laboratoire de Physique de l'Atmosphère Siméon Fongang (LPASF), Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Sénégal B.P. 5085
Email : smsall@ucad.sn*

Mots-clé : relief, systèmes convectifs, pluie.

Dans le but de mieux comprendre l'influence de l'orographie sur la dynamique des précipitations en Afrique, nous avons observé simultanément les précipitations journalières et la dynamique des systèmes convectifs au niveau des montagnes du Fouta Djallon en Guinée.

Nous avons ainsi calculé la densité d'apparition et de disparition de ces systèmes en fonction de la hauteur du relief, ainsi que l'évolution de la taille, la température minimale, l'écart entre la température maximale et minimale et de la variation diurne de ces systèmes. Ces résultats montrent que ces montagnes sont une source potentielle de systèmes convectifs. L'analyse de l'énergie statique humide et de l'énergie statique saturée montre que l'atmosphère au dessus des montagnes est une zone fortement perturbée. Cependant, à cause de l'importance de la vitesse du vent dans les couches moyennes sur la zone, ces systèmes sont entraînés à l'Ouest des montagnes où ils donnent beaucoup de précipitations■

La variabilité des précipitations saisonnières au Sud du Congo (1950-1998)

G. SAMBA ET M. MPOUNZA

Centre de recherches sur les tropiques humides, Faculté des Lettres et Sciences Humaines Université Marien Ngouabi, BP2642 Brazzaville, Congo ; Email : crth50@hotmail.com

Mots-clé : déficits pluviométriques, agroclimatologie.

Au cours des trois dernières décennies, d'importants déficits pluviométriques ont caractérisé l'évolution climatique des principales régions agricoles du sud de la République du Congo (Vallée du Niari et le Plateau des Cataractes) qui représente 95000 km² soit 28 % du territoire congolais. Le déficit pluviométrique est d'environ 10 % et s'est accompagné d'une désorganisation dans le temps et dans l'espace des précipitations saisonnières. De plus en plus, la grande saison sèche (de juin à septembre) s'allonge, ce qui induit le raccourcissement du premier épisode pluvieux (en moyenne d'octobre à décembre) ou des retards de démarrage des pluies. Au Sud du Congo, comme partout ailleurs sous les tropiques humides l'agriculture est essentiellement pluviale est fortement tributaire de la distribution

saisonnaire des précipitations. Les caractéristiques des précipitations telles que le début, la fin et la longueur des saisons pluvieuses et le total pluviométrique, ainsi que les différentes longueurs des séquences sèches pendant la saison végétative ont d'importantes répercussions sur le développement des cultures.

Le but principal de cette étude après avoir défini les dates de début et de fin des pluies à partir des critères agroclimatiques est l'analyse de leur variabilité (raccourcissement ou allongement du cycle agricole). Cette instabilité nous conduit vers une proposition des mesures d'adaptations des opérations culturales et du choix des variétés à cycle long ou court.

Les contrastes de la répartition des précipitations dans l'Est du Massif Central français selon les types de régimes perturbés

J. B. SUCHEL (1), G. BLANCHET (2)

(1) CRENAM Université Jean Monnet-Saint-Etienne ; Email : jbsuchel@minitel.net

(2) Société Météorologique de France ; Email : blanchet.guy@wanadoo.fr

La partie orientale du Massif Central français, entre les vallées de l'Allier et du Rhône, constitue un domaine de choix pour analyser l'hétérogénéité des apports pluviométriques dus aux différents types de régimes perturbés. D'une part, elle juxtapose une série de massifs montagneux atteignant 1 200 à 1 600 mètres (Monts de la Madeleine, Bois noirs, Monts du Forez, Pilat) exaltant la pluviométrie et d'amples bassins (Limagnes, Plaine du Forez) où s'affirme le phénomène d'abri ; d'autre part, elle fait figure de véritable carrefour climatique, où les courants perturbés atlantiques d'Ouest et de SO interfèrent avec les flux de Nord et de NO, comme avec ceux originaires de Méditerranée, aisément canalisés par le relief (Vallée du Rhône). Il en résulte des inégalités très significatives dans la répartition des précipitations, qui dépend aussi bien de la plus ou moins grande facilité d'accès offerts aux flux par le relief que des conditions topographiques locales : localisation en montagne ou en fond de cuvette, orientation des pentes...

Ces contrastes peuvent être parfaitement mis en évidence par l'analyse de la pluviométrie journalière d'un nombre limité de stations judicieusement choisies le long d'un axe NO-SE reliant l'Allier au Rhône, en coupant les grandes unités de relief (transect Vichy-Valence). Pour la partie septentrionale du domaine, très perméable aux régimes d'Ouest et de NO, il s'agit de Vichy (Charmeil) dans la Limagne bourbonnaise et de La Tuilière dans le massif des Bois Noirs. Dans la partie centrale, où l'enclavement topographique se renforce, nous avons choisi Savigneux, près de Montbrison, au pied oriental des Monts du Forez et Saint-Etienne (La Dame Blanche), sur les premières pentes du Pilat. Plus au Sud, où se fait sentir davantage l'influence des perturbations méditerranéennes, Tarentaise est représentatif du versant septentrional du Pilat, Bourg-Argental du versant méridional, Annonay du piémont rhodanien et Valence (St-Marcel-lès-Valence) de la moyenne Vallée du Rhône.

Les précipitations journalières de ces huit stations ont été réparties mois par mois en fonction des régimes perturbés observés durant la décennie 1991-2000. La classification de ceux-ci, établie par Guy Blanchet et expérimentée avec rigueur depuis 1970 repose essentiellement sur l'identification du type de circulation atmosphérique grâce aux cartes synoptiques en surface et en altitude et à l'axe de déplacement du corps des perturbations ;

elle inclut en outre les situations de front stationnaire, de goutte froide et de marais barométrique.

Trois critères peuvent être utilisés pour évaluer les apports pluviométriques des différents types de régimes perturbés :

- les hauteurs de précipitations (en mm) pour chaque type,
- les pourcentages par rapport au total des précipitations de la période considérée,
- les apports moyens (en mm) par types de régimes, en rapportant la hauteur relevée pour chacun d'eux au nombre de jours où il a été observé. C'est ce dernier critère, que l'on peut appeler « efficacité pluviométrique » (E.P.) qui paraît le plus pertinent pour faire ressortir les différences d'un point à l'autre.

- Dans toutes les stations, ce sont les régimes de SO, présents en moyenne 42 jours par an, qui déversent la part la plus importante des précipitations (entre 26 % à La Tuilière et 46 % à Valence) ; l'efficacité pluviométrique (E.P.) moyenne est comprise entre 5,2 mm/jour à Montbrison et 10,1 à Valence.
- Les régimes d'Ouest, les plus fréquents (65 jours par an), fournissent moins d'eau, surtout dans la Vallée du Rhône (11 % à Valence, mais 25 % à La Tuilière) ; l'E.P. est comprise entre 1,4 mm/jour à Montbrison et 4,7 à La Tuilière.
- Les régimes de NO (25 jours par an) donnent moins de 10 % du total, sauf à La Tuilière (15 %) ; à Valence, ils ne participent que pour moins de 6 % ; leur E.P. est plus importante que celle des régimes d'Ouest ; elle s'échelonne de 1,7 mm/jour à Montbrison à 7,4 à La Tuilière.
- Les régimes de Nord (12 jours par an) n'apportent que 1,5 % des précipitations à Valence, mais plus de 4 % à Tarentaise et à La Tuilière, bien exposés ; l'E.P. est plutôt élevée dans ces deux postes (plus de 4 mm/jour).
- Les régimes de Sud (15 jours par an) voient leur part augmenter du NO au SE (6 % à Vichy, 13 % à Valence) ; l'E.P. est la plus forte de tous les régimes, sauf dans les deux stations septentrionales (5,7 mm/jour à Vichy par exemple) ; elle dépasse 10 mm/jour dans les quatre stations méridionales (jusqu'à 12,9 mm/jour à Valence).
- Les régimes de SE (retour d'est) ne sont pas très fréquents (10 jours par an) et ne contribuent que pour 3,4 % (à La Tuilière) à 7 % (à Tarentaise) à la pluviométrie annuelle ; leur E. P. est généralement en troisième position, après les régimes de S et de SO.

D'une manière générale, les sites de montagne et de versant se distinguent nettement des sites de cuvette et de vallée, représentés par Vichy et surtout Montbrison, dont la pluviométrie moyenne est la plus faible de toute la région Rhône-Alpes. Dans ces dernières stations, tous les régimes perturbés y sont sensiblement moins efficaces que dans les stations d'altitude les plus proches ; cela tend d'ailleurs à donner un certain avantage relatif aux fronts stationnaires et aux gouttes froides. Le fait est particulièrement frappant à Montbrison, surtout en saison chaude, la chaleur accumulée dans la plaine du Forez étant susceptible de renforcer l'instabilité et de provoquer des orages. Ainsi en été, dans cette station, la part des précipitations due aux deux situations évoquées atteint 27 % du total contre 16 % à Vichy ou La Tuilière et 22 % à Tarentaise. Quant à la plaine de Valence, elle se singularise par des précipitations moyennes relativement abondantes, une part très importante des régimes de SO et de Sud (la plus forte des huit stations) et un rôle modeste des régimes de NO (le plus faible de nos huit stations). En fin de compte, cette analyse du rôle discriminant du contexte

topographique par rapport aux régimes perturbés se révèle très riche d'enseignement dans cette partie du territoire français■

Fréquences et quantités des précipitations journalières sur le territoire camerounais

M. TSALEFAC, T. DJOUMESSI, W. NKWAMBI

*Département de géographie, Equipe de Recherche sur l'Environnement et le Développement au Cameroun (EREDCA), Université de Yaoundé I, Cameroun, s/c IRD-Yaoundé BP 1857 Yaoundé, Cameroun ; Tél. : (237) 231 04 35 ; Fax : (237) 220 18 54
Emails : eredca.cew@camnet.cm ou mtsalefac@hotmail.com*

Mots-clé : fréquences, quantités des précipitations journalières, Cameroun.

La répartition journalière des pluies sur le territoire camerounais est mal connue. Les études menées par différents auteurs ont jusqu'ici abordé le problème de la répartition des pluies au Cameroun sur les plans saisonnier ou annuel. La connaissance de la variation diurne des précipitations permet non seulement d'aller plus loin dans la connaissance des mécanismes qui régissent le temps sur le pays, mais aussi, autorise une planification rationnelle des activités humaines : choix des heures de vol, de décollage des aéroports, détermination des périodes de traitement phytosanitaire des cultures, programmation des activités récréatives de plein air et le loisir etc.

Les données que nous utilisons, les Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM), proviennent de la Météorologie Nationale du Cameroun. Elles concernent uniquement les stations dites synoptiques placées sous le contrôle direct de la Météorologie Nationale. Les données des postes pluviométriques bien que plus nombreuses souffrent de nombreuses lacunes. A partir de ces documents, les fréquences et les quantités des précipitations journalières sont étudiées dans treize stations camerounaises de 1985 à 1990, le but étant de déterminer le moment de la journée qui recueille le plus de précipitation en termes de fréquence et de quantité.

L'analyse des données montre qu'il existe deux grands types de stations : les stations à maximum pluviométrique diurne dominant et celles où prévalent les précipitations nocturnes; entre ces deux grands types existent des stations intermédiaires à tendance soit diurne, soit nocturne. Par ailleurs, on note que, durant la journée (6h-18h), la corrélation entre les fréquences et les quantités des précipitations est fortement significative ($r > 0,6$) dans les stations d'altitude où dominent les pluies convectives et orographiques associées à la mousson atlantique et aux venues d'humidité par l'est. En revanche, cette corrélation est moins significative ($r < 0,4$) dans les stations sahéniennes du nord Cameroun. Sur le littoral où dominant alternativement la brise de mer et la brise de terre ainsi que dans l'Est du pays où prévaut l'air équatorial, la corrélation entre les deux paramètres est négative ($r < -0,4$). Durant la nuit, la corrélation entre les fréquences et les quantités est forte dans toutes les stations au sud du 4° N ($r > 0,6$). Elle est peu significative au nord de cette limite ($r < 0,4$).

Ainsi, l'étude de la fréquence et des quantités journalières de pluie permet une meilleure approche de la répartition spatio-temporelle du phénomène à l'intérieur du territoire camerounais et des facteurs qui l'expliquent■

Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest)

E. VISSIN (1), M. BOKO (1), J. PERARD (2), C. HOUNDENOU (1)

*(1) Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en eau et de la Dynamique des Ecosystèmes, Université d'Abomey-Calavi. 03- BP. 1122. Jéricho, Cotonou-03, Bénin
Email : mboko@syfed.bj.refer.org ; exlaure@hotmail.com ; const@syfed.bj.refer.org*

(2) Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, 6, boulevard Gabriel, Dijon. Email : perardj.@u-bourgogne.fr

Mots-clefs : déficit pluviométrique, hydrologie, Bassin du Niger, Bénin, Afrique tropicale.

L'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger porte sur les chroniques de la période 1955-1992. Les données hydrométriques des bassins du Mékrou, de l'Alibori et de la Sota ont été soumises à deux tests non paramétriques afin de déterminer les ruptures de stationnarité et leur degré de signification.

L'analyse révèle que la modification du régime des précipitations s'est traduite plus nettement par une diminution brutale des quantités d'eau précipitée au cours de la décennie 70. La baisse pluviométrique concerne les hauteurs mensuelles des mois de juin, juillet, août et septembre (donc au cœur de l'hivernage) qui sont de moins en moins arrosés. Par ailleurs, les effets de cette importante baisse pluviométrique sur les écoulements sont très remarquables. Le déficit pluviométrique est largement amplifié dans les écoulements et les recharges des rivières du bassin. Il représente environ le tiers (1/3) du déficit d'écoulement dans chacun des sous bassins du fleuve Niger au Bénin.

Dans le contexte pluviométrique déficitaire de l'Afrique intertropicale des dernières décennies, les cours d'eau du bassin béninois du fleuve Niger, à l'instar de ceux de l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, connaissent de ce fait une dégradation de leur écoulement dont l'amplification par rapport au déficit pluviométrique peut être reliée à des paramètres d'état de surface (en particulier évapotranspiration accrue du fait de l'indigence de la couverture végétale) et aux caractéristiques du substratum géologique■

2.3. Etude des échos RADAR

Analyse des variations du signal radar à l'échelle de la demi-heure ; estimation des précipitations pour la région de Sétif (Algérie)

**A. ADANE (1), O. RAAF (1), R. NAILI (2), F. YUCEF ETTOUMI (1),
B. HADDAD (1), H. SAUVAGEOT (3)**

(1) *Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (U.S.T.H.B.), Faculté de Génie Electrique, B.P. N° 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie ; Email : aadane@lycos.com*

(2) *Office National de la Météorologie, Centre National Technique et du Matériel, Bd Khemisti, Dar El Beida, Alger, Algérie*

(3) *Université Paul Sabatier, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France.*

Mots-clé : météorologie, précipitations, radar, étalonnage.

En Afrique du Nord, les dérèglements actuels du climat de la planète se sont répercutés par une irrégularité des précipitations et une sécheresse qui s'est instaurée depuis plusieurs années. Une gestion rationnelle des ressources en eau nécessite alors l'évaluation précise des quantités de pluies qui tombent dans cette région. En combinant les observations effectuées par un radar météorologique aux mesures réalisées à l'aide de pluviomètres, il est possible de localiser les nuages de pluie, de les suivre dans leur déplacement et de réaliser une bonne estimation de l'intensité des précipitations. A cet effet, nous disposons d'images prises toutes les quinze minutes dans la région de Sétif à l'aide d'un radar météorologique AWSR – 81 doté d'une chaîne SANAGA (Système d'Acquisition Numérique et d'Analyse des Grains Africains) et de mesures effectuées toutes les six minutes autour du radar par des stations automatiques équipées de pluviomètres.

Les images radar que nous avons étudiées, sont des images PPI prises au cours de tout le mois janvier 2001. Elles sont formées de 512 x 512 pixels dont les niveaux de gris s'échelonnent sur seize couleurs. Ces images comportent des échos atmosphériques accompagnés d'échos perturbateurs causés par la rétrodiffusion des ondes par les montagnes des Babors et des Bibans, la chaîne du Djurdjura, les constructions de la ville de Sétif et les collines avoisinantes. Les échos atmosphériques marquent la présence de champs de précipitation dans la région couverte par le radar. Pour identifier les deux sortes d'échos, nous avons procédé à une animation des images. Puis, les échos en provenance de la surface terrestre ont été éliminés à l'aide d'un programme de masquage. Les méthodes que nous avons utilisées pour estimer les précipitations, sont basées soit sur la détermination de la surface occupée par les échos de précipitations dans toute l'image radar, soit sur la mesure de la réflectivité de ces échos.

Dans une première étape, les images filtrées et les mesures au sol ont respectivement été employées pour évaluer toutes les demi-heures la surface (S) des échos atmosphériques et l'intensité (R) des précipitations. On trouve que la surface des échos de pluie varie de la même manière que l'intensité de pluie mesurée au sol. Cependant, la surface de ces échos devient maximum à des instants différents de ceux où le maximum de précipitation est

recueilli. Un tel décalage est lié au déplacement des nuages et au processus de convection qui provoque le déclenchement de la pluie avant que le nuage n'ait atteint sa surface maximum. Nous avons aussi constaté que certains maxima de surface d'échos sont plus atténués que les pics de précipitation. Ce résultat peut s'expliquer par la présence de nuages à développement vertical très important. Il signifie que l'intensité des précipitations doit être estimée en pondérant la surface des échos radar par un facteur exprimant le type de nuages ayant produit de tels échos.

Pour évaluer l'intensité des précipitations, une relation initialement établie par Stout, Martin et Sikdar (1979), a été utilisée. Cette relation qui s'écrit : $R = a S + b (dS/dt)$, fait intervenir un terme qui traduit, à la fois, la perte de surface nuageuse par unité de temps et l'inertie du nuage. En pratique, nous avons déterminé les coefficients a et b en considérant les mesures au sol de l'intensité des précipitations et les surfaces des zones de pluie évaluées sur plusieurs images successives. Malgré le décalage de temps existant entre les valeurs mesurées et celles résultant du traitement des images, on obtient alors une assez bonne estimation de l'intensité des précipitations. Dans une phase finale, nous avons étudié les variations de la réflectivité des échos des précipitations, demi-heure par demi-heure, à l'aide d'une fenêtre d'analyse de 7×7 pixels. On trouve que les variations du facteur de réflectivité (Z) sont pratiquement identiques à celles de l'intensité de pluie mesurée au sol et que les maximums de réflectivité coïncident avec les maximums de pluie. Cependant, les pics du facteur (Z) sont anormalement réduits dans certains cas. Une telle anomalie est probablement causée par le fait qu'au cours de son trajet entre le radar et la zone d'étude, le signal radar a traversé des régions de l'atmosphère où l'atténuation est devenue forte. Tous les résultats de cette étude forment une base de données utiles à l'étalonnage du radar de Sétif ■

Analyse de la dimension fractale des échos de précipitations : cas des inondations d'Alger

B. HADDAD (1), L.SADOUKI (1), R. NAILI (2), A. ADANE (1), H. SAUVAGEOT (3)

*(1) Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (U.S.T.H.B.), Faculté de Génie
Electrique, B.P. N° 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie*

Email : hboualem@hotmail.com

*(2) Office National de la Météorologie, Centre National Technique et du Matériel, Bd
Khemisti, Dar El Beida, Alger, Algérie*

*(3) Université Paul Sabatier, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique,
14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France*

Mots-clé : analyse fractale, précipitations, Alger.

Ce papier porte sur la caractérisation des échos des précipitations par la dimension fractale. A travers cette étude, nous voulons savoir si ce paramètre varie en fonction du type d'événement pluvieux. Pour traiter cette question, nous disposons d'une série d'images du nord est de l'Algérie collectées par le radar de Sétif durant les mois de janvier et novembre 2001. Ces images, qui décrivent divers types de pluies, sont enregistrées toutes les quinze minutes selon le format 512×512 pixels avec une résolution de 1 km par pixel. Elles représentent, soit des pluies stratiformes, soit des pluies convectives, observées au cours du mois de Janvier 2001. De telles pluies décrivent une situation très fréquente pour la côte algérienne. A cette base de données, s'ajoutent des images radar décrivant un événement

exceptionnel qui a été à l'origine de dégâts considérables le 10 Novembre 2001 dans la région d'Alger. En effet, la situation météorologique du 9 et 10 Novembre a été caractérisée par une infiltration d'air froid sur l'Espagne puis sur le golfe de Gibraltar. Ceci a engendré une baisse de pression aussi bien aux bas niveaux de l'atmosphère qu'en surface où la valeur de la pression atmosphérique a chuté de 9,1 hPa en l'espace de 24 heures. Cette dépression qui s'est créée, a évolué du SO vers le nord pour se positionner sur l'Algérois pendant plusieurs heures avec une pression à son centre de 996 hPa.

Les mesures relevées dans les stations météorologiques de la zone affectée montrent que les quantités de pluies sont exceptionnelles et constituent un record. A Alger, une quantité de 261 mm a été enregistrée pendant une durée de 18 heures (entre 18h00 le 09 novembre et 12h00 le 10 Novembre). Ce phénomène a pu être détecté par le radar de Setif, bien que celui-ci se trouve à près de deux cents kilomètres du lieu de la catastrophe. La dimension fractale des échos de précipitations a été estimée en considérant un domaine d'étude de 240x240 km² dont le centre est l'emplacement du radar. Un seuil de 0,2 mm/h du taux de précipitation a été fixé pour définir les échos à analyser. Nous avons étudié l'influence de ce seuil sur la dimension fractale des échos. Durant la période d'observation de la catastrophe d'Alger, nous avons trouvé que le nombre, la taille et la forme des échos changent notablement et que pour le seuil fixé, le nombre d'échos enregistrés varie entre 23 et 53. La surface totale occupée par les échos de précipitations fluctue entre $4,7 \times 10^3$ à $10,3 \times 10^3$ km² et devient maximum à midi.

La dimension fractale D_p , a été calculée pour chacun des échos de précipitations. Pour ce faire, nous avons utilisé l'approche aire/périmètre et ensuite la méthode des boîtes (box-counting). L'estimation de la dimension fractale des échos heure par heure, montre que les valeurs de ce paramètre varient entre 1,36 et 1,40. Cette dimension vaut, en moyenne, 1,37 pour les précipitations du mois de janvier 2001 et 1,38 pour les pluies qui se sont déversées pendant les journées des 9 et 10 novembre 200. Les propriétés des échos de précipitations ont été réexaminées en choisissant des seuils égaux à 1, 5 et 10 mm/h. Lorsque le seuil croît, les échos de faible réflectivité disparaissent et la dimension fractale diminue. Les valeurs de ce paramètre deviennent élevées lorsque la surface des échos radar sont grandes. Il ressort de notre étude que la dimension fractale relative aux pluies exceptionnelles du 10 novembre 2001 est pratiquement identique à celle obtenue pour les précipitations du mois de janvier 2001. Un tel résultat montre que la dimension fractale des échos de précipitations est, en moyenne, invariante quel que soit le type de précipitations et le lieu considéré■

Etude du caractère stochastique des précipitations à partir des données RADAR météorologiques

N. LEHITHET (1), F. YUCEF-ETTOUMI (1), A.-EL-HAMID ADANE (1), SAUVAGEOT (2)

(1) *Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène, Faculté d'Electronique et d'Informatique, Département Télécommunications, Laboratoire Traitement d'Images et Rayonnement, BP N° 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie*

Tél./Fax : 213 21 24 71 87; Email : lehtihet.nouria@caramail.com ; youcefettoumi@yahoo.fr

(2) *Université Paul Sabatier Toulouse, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique, Centre de Recherches Atmos., 8, route de Lannemezan, 65300 Campistrous, F.*

Mots-clé : radar météorologique, précipitations, modèle stochastique.

Les inondations, les phénomènes causés par les déboisements excessifs de certaines régions ou tout simplement par les feux de forêts, la désertification de certaines zones, la réduction de la diversité des espèces et l'explosion démographique nous conduisent à réfléchir à la gestion rationnelle et à l'utilisation efficace des ressources en eau sur la planète. En effet, les possibilités de développement dans certaines régions sont freinées par le manque d'information relative à une quantification des potentialités hydriques. Notamment, la gestion raisonnable des aménagements hydrauliques permettrait d'alléger de nombreux problèmes.

En fait, l'évaluation des ressources en eau reçues au sol au moyen de pluviomètres est assez difficile, car l'indication enregistrée est spécifique de l'endroit où la mesure est effectuée. Or ce phénomène est assez complexe. En effet, cette évaluation accuse une variation spatio-temporelle selon le déplacement de la perturbation, le lieu de l'averse, la topographie et les obstacles géographiques locaux. Dans ce cas, l'utilisation du radar-météorologique serait judicieuse pour la détermination des quantités de précipitations reçues au sol. En effet, les données des radars météorologiques permettent de localiser et de suivre des champs de précipitations, et sont maintenant largement utilisées pour les besoins hydrologiques de la prévision. Dans ce contexte, la revalorisation des données météorologiques acquises en 1996 par le radar de Bordeaux fait l'objet d'une analyse statistique. Le radar pulsé à 2,8 GHz est installé sur une tour de 18 m de hauteur à l'aéroport de Bordeaux – Mérignac (situé au SO de la France). A partir de ce site, des images radar de format 512 x 512 pixel / image et d'une résolution 1 km/ pixel, ont été prises régulièrement toutes les 5 mn, de jour en jour pour l'ensemble des mois de l'année 1996. Ensuite, ces images ont été classées par dépouillement en deux catégories selon le type d'échos, à savoir les images contenant les précipitations et celles constituées des échos Anaprops. Rappelons que les échos Anaprops sont dus aux anomalies de propagation, qui se produisent quand l'atmosphère se trouve dans un état stable.

Les échos fixes, présents dans les deux types d'échos, sont observés à faible distance (inférieure à 20 km) autour du radar ; ils sont quasiment permanents et peuvent être filtrés ou masqués. Une analyse préalable portée sur l'autocorrélation des séries chronologiques issues des échos de précipitation, a montré l'effet de mémoire du processus étudié et sa persistance. Par conséquent, ce caractère stochastique de la variable hydrologique est étudié par la méthode de Box et Jenkins pour identifier un modèle statistique adéquat. La méthode de Box et Jenkins est effectuée au moyen du logiciel STATISTICA (version 5.1).

Lorsque les surfaces de précipitation sont calculées et cumulées à l'échelle de la journée, on trouve que la série chronologique des surfaces moyennes journalières au cours de l'année est décrite correctement par un processus auto régressif d'ordre un. Pour rendre compte davantage de la variabilité temporelle du processus, une amélioration de l'approche est obtenue par l'utilisation de différentes fenêtres, à savoir l'échelle mensuelle, bimensuelle et saisonnière d'une part et l'application de modèles stochastiques les mieux adaptés d'autre part. On trouve, par exemple, que le mois de janvier est toujours bien décrit par un modèle auto régressif d'ordre un. Cependant, le mois de février est plutôt décrit par un ARMA(1,1). Cela varie pour l'ensemble des séries considérées. De façon générale, on trouve que les modèles AR et ARMA de différents ordres décrivent convenablement ces séries.

Nous avons également travaillé à une échelle plus fine. A l'échelle d'un pas de temps de 5 mn, on extrait, des données brutes, une journée type, la plus représentative de la journée la plus pluvieuse. Le modèle mixte intégré ARIMA(1,1,0) permet une bonne description de cette journée. Les prévisions sont directement produites par STATISTICA, après estimation des

paramètres caractérisant chaque modèle, sans avoir recours à d'autres variables. Ce type d'identification donne des résultats satisfaisants. Grâce à cette démarche, nous obtenons un meilleur suivi de l'évolution des précipitations. Ceci permet de construire un modèle de prédiction et de simulation des données de pluie dans la région considérée et une meilleure planification des ressources en eau ■

Ergodicité du champ de précipitation sur la côte sénégalaise

A. NZEUKOU (1), H. SAUVAGEOT (2), F. KEBE (3), D. BADIANE (3)

(1) *Université de Dschang, IUT-FV, BP 134 Bandjoun, Cameroun*

Tél. (237) 991 13 0 ; Email : nzeukou@ifrance.com

(2) *Université Paul Sabatier, Laboratoire d'Aérodynamique, Av Edouard Belin 31400 Toulouse, F*

(3) *Université Cheikh Anta Diop, LPASF, BP 5085 Dakar, Sénégal*

Mots-clé : champ de précipitation, distribution lognormale, ergodicité de la précipitation et radar météorologique.

Une densification de la zone d'étude avec les appareils de mesures in situ tels que les pluviomètres et pluviographes serait une meilleure approche pour estimer un champ de précipitation. Cependant, en plus de l'inaccessibilité de certaines zones cela demanderait d'importants moyens financiers et une mobilisation importante du personnel qui rendrait la gestion trop lourde. Toutefois, d'autres instruments basés sur les télédétections passive et active tels que les satellites et les radars météorologiques peuvent être utilisés en complément des données issues du réseau lâche constitué de pluviomètres et pluviographes. La mesure de la précipitation par radar offre d'importants avantages tels que : des observations spatiales en continu avec une bonne résolution spatio-temporelle ; l'amélioration de l'observation de la variabilité de la précipitation ; la possibilité de surveillance en temps réel d'une grande surface à partir d'un point de mesure unique; la facilité d'acquisition, de stockage et de traitement des données.

Nous avons étudié les caractéristiques de la structure du champ de pluie à partir des données du radar météorologique de Dakar-Yoff (Sénégal), collectées sur 7 campagnes de mesure (de 1993 à 1999). La localisation de ce radar en zone côtière nous offre la possibilité de faire une étude comparative terrestre et maritime. Pour caractériser les précipitations, nous avons utilisé la hauteur de pluie moyenne annuelle (H), la durée moyenne annuelle des précipitations (T), l'intensité de pluie moyenne annuelle (μ_R) et l'écart-type moyen annuel (σ_R) sur l'intensité de pluie R. Nous avons montré que H est plus importante sur terre que sur mer avec une différence de près de 112 %. Un fort gradient nord-sud est observé avec environ 500 % sur 400 km. Egalement sur le paramètre T, nous avons observé que la durée des précipitations est plus longue sur terre que sur mer avec une différence d'environ 97 %.

Nous avons montré que les paramètres μ_R et σ_R sont chacun très homogènes dans notre zone d'étude réduite à une échelle locale. En intégrant les paramètres μ_R et σ_R dans l'espace, nous trouvons des résultats identiques à ceux de l'intégration par rapport au temps. Nous avons montré aussi que la distribution de la densité de probabilité de l'intensité de pluie, caractérisée par les paramètres μ_R et σ_R , peut être représentée par une fonction lognormale. La stabilité des paramètres μ_R et σ_R à travers les champs de précipitation, malgré une forte hétérogénéité de la distribution du paramètre H, telle qu'observée dans cette étude, laisse supposer la même

stabilité pour la distribution de la fonction de probabilité $P(R)$. On montre que les champs de précipitation étudiés sont approximativement ergodiques. Cette propriété n'a jamais été discutée auparavant. Cette propriété justifie la validité de $P(R)$ comme un paramètre caractéristique signifiant du champ de précipitation■

PARTIE 3

LES TEMPERATURES

3.1. Tendances temporelle des précipitations

Evolution des températures dans les Alpes du Nord depuis 1960 ; influence des facteurs locaux

D. DUMAS, C. ANTUNES

*Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, 14 bis, avenue MarieReynoard
38 100 Grenoble ; Tél. : 04 76 82 20 66 ; Fax : 04 76 82 20 01
Emails : Dominique.Dumas@ujf-grenoble.fr ; antunes_celine@hotmail.com*

Mots-clé : températures, gradients, facteurs locaux, Alpes du Nord.

La compréhension de l'évolution des températures, sur une période de 40 ans, dans un secteur de haute montagne n'est pas simple. En effet, même très proches, des stations présentent des réponses parfois très éloignées les unes des autres. Il convient d'essayer d'extraire de ces informations une logique générale, voire une tendance significative. Dans cette optique, à partir de plus d'une centaine de postes de mesure et de données journalières, nous nous attachons à cerner précisément l'évolution thermique dans les Alpes du Nord par une prise en compte à la fois des facteurs locaux et de l'altitude des mesures.

Dans un premier temps, les gradients régionaux sont déterminés à partir des températures minimales et maximales, à différentes échelles de temps allant de la journée à la décennie. L'examen de ces gradients permet ainsi de dégager assez distinctement l'évolution des conditions thermiques au cours de ces dernières décennies et de mieux comprendre, voire de définir, les changements climatiques s'opérant actuellement dans l'ensemble des vallées alpines. Signalons que de nombreux indices et marqueurs environnementaux semblent montrer pour ces dernières années une tendance au réchauffement : remontée de la limite forestière, modification des volumes englacés... La connaissance des gradients offre l'avantage de synthétiser, même imparfaitement, l'ensemble de l'information issu des enregistrements climatiques (matrice avec plus d'un million et demi de données). Cependant, ces gradients ne peuvent pas toujours saisir la grande variabilité spatiale des températures. Dans les Alpes du Nord, l'évolution est loin d'être uniforme ; des secteurs montrent sur ces dernières décennies une hausse des températures alors que d'autres enregistrent une diminution sensible de ce même facteur.

Aussi dans un second temps, pour affiner cette étude, des paramètres plus locaux ont été pris en compte. Cette approche répond à un raisonnement quelque peu différent du précédent. Il s'agit cette fois d'apprécier en détail les singularités des sites de mesure pouvant expliquer des évolutions différenciées. Il est aujourd'hui bien connu que l'altitude n'est pas le seul facteur explicatif dans la répartition spatio-temporelle des températures, des effets locaux peuvent jouer et influencer très fortement cette composante. Si la température présente généralement un bon coefficient de corrélation avec l'altitude, des résidus importants peuvent apparaître sur certaines stations. Dans ce cas, la prise en compte du contexte topographique et géographique des différentes stations permet d'expliquer en grande partie ces écarts. Ainsi, pour chaque station, les descripteurs retenus sont la latitude, la longitude, l'orientation de la vallée, l'orientation du versant, l'altitude du sommet et l'altitude du fond de vallée. Au total, la connaissance des gradients thermiques et de l'influence respectif des facteurs locaux permet de mieux cerner l'évolution thermique dans les Alpes du Nord et de réactualiser les

gradients souvent utiles dans bien des approches disciplinaires qu'elles soient fondamentales ou appliquées■

Fluctuations du climat dans l'Arctique durant le XX^{ème} siècle

J. Litynski, C. Genest, F. Bellemare

Laboratoire de climatologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières

Tél. : (514) 620 789 ; Fax : (514) 626 7594 ; Email : litynski @ total.net

Mots-clé : changement climatique, température, Arctique.

L'Arctique est une région sensible aux changements climatiques. D'après la théorie de l'effet de serre, c'est la région où le réchauffement devrait être le plus marqué. L'analyse de la température d'une trentaine de stations du cercle polaire (latitude > 66°N) permet de vérifier cette hypothèse. Pour cela, on a analysé 16 stations du Grand Nord canadien, 7 stations groenlandaises, 3 stations norvégiennes, 2 stations sibériennes et 2 stations de l'Alaska.

La partie est du Nord canadien présente trois périodes avec une anomalie positive : dans les années 1950, aux alentours de 1980 et à la fin des années 1990. Le maximum absolu a eu lieu en 1981. Dans cette partie il y a deux anomalies négatives : dans les années 1970 (minimum absolu en 1972) et dans les années 1990 (1992-93). Si on compare les moyennes de deux périodes climatologiques (1941-1970 et 1971-2000), de cette partie du Nord canadien, la deuxième période est plus froide que la première (moyenne des $\Delta T = -0,7$ °C).

Dans le centre du Nord canadien, le dernier maximum est plus prononcé (2-3°C plus haut que les valeurs normales) et tombe en 1998. Ensuite les températures descendent près des valeurs normales. La deuxième période climatique (1971-2000) présente une température moyenne légèrement plus basse (moyenne des $\Delta T = 0,1$ °C).

L'Ouest du Nord canadien se caractérise par un fort réchauffement (env. 4° C) avec le maximum atteint en 1995 (Alert) ou en 1998 (Sachs Harbour) suivi d'un très brusque refroidissement. La deuxième période climatique est plus chaude que la première (moyenne des $\Delta T = 0,5$ C).

Les stations du Groenland ont une tendance au refroidissement, surtout du côté ouest. L'Arctique norvégien s'est refroidi surtout durant la période 1950-1970. Au Svalbard ce refroidissement a atteint 4° C.

En Sibérie un refroidissement très marqué a eu lieu pendant la période trentenaire 1940-1970 (-3°C) et la tendance négative se maintient toujours, mais elle est moins marquée. En Alaska il y a un réchauffement marqué surtout à l'intérieur du territoire (+ 2°C). A Point Barrow la tendance positive est limitée (+ 0,2° C).

Conclusion : la majorité des stations arctiques présente une tendance au refroidissement. La seule partie qui s'est réchauffée est l'Alaska et la partie ouest du Nord canadien■

L'évolution des températures au sud du Congo (1950-1998)

M. Mpounza, G. Samba, M. Masouengui

Centre de recherches sur les tropiques humides, Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, BP2642 Brazzaville, Congo ; Email : crth50@hotmail.com

Mots-clé : changement climatique, saison sèche.

Des latitudes équatoriales considérées comme des zones de faibles amplitudes thermiques montrent quand même sur la période de 1951 à 1998 une augmentation de température. Cette évolution est parfaitement en phase avec ce qui s'observe à l'échelle du globe. Dans une zone à faible gradient climatique (entre 1° et 5°S), les observations des 30 dernières années présentent toute à la fois une augmentation et une persistance. C'est le test de Mann-Kendall qui a été utilisé pour identifier la « rupture » en moyenne dans les séries chronologiques des températures annuelles étudiées, avec un niveau de signification qui varie d'une station à l'autre. Ainsi, on observe dans les années 1980, une hausse généralisée pouvant atteindre plus de 0,5°C. Seules quelques régions des plateaux (Batéké et Bembé) apparaissent comme moins touchées. Du point de vue saisonnier, la saison sèche (juin juillet et août) normalement fraîche enregistre un réchauffement, particulièrement dans la vallée du Niari ; ce qui risque d'aggraver les déficits hydriques observés en saison chaude mars-avril-mai.

Du littoral jusqu'au plateau Batéké les chroniques traduisent une évolution de la distribution de fréquence des températures extrêmes sous deux types : l'évolution de la moyenne, l'évolution de la variance. On peut également observer à la différence des températures minimales, les températures maximales connaissent une hausse tardive avec un décalage de 2 à 3 ans■

La variation de la température de l'air dans la région de Strasbourg ; changement climatique ou effet de l'urbanisation ?

P. PAUL (1), I. HAIDU (2)

(1) Université Louis Pasteur, Faculté de Géographie, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex ; Email : paul@geographie-strasbg.fr

(2) Université Babes-Bolyai de Cluj-Napoca, Fac de Géographie, 5-7 rue Clinicilor, Cluj-Napoca, Roumanie ; Email : ionel_haidu@yahoo.com

Mots-clé : température de l'air, urbanisation, changement climatique, Strasbourg.

On évoque couramment un changement climatique global et un réchauffement anthropique dans de nombreuses régions du globe. Quoique la grande majorité des spécialistes n'en doutent plus, peu nombreux sont ceux qui explorent les mécanismes possibles des éventuels changements. Les prémisses du travail de cet article consistent dans le fait qu'entre l'effet climatique du processus d'urbanisation et l'éventuel réchauffement global, des similitudes devraient exister, mais aussi un décalage dans le temps. Dans les grandes villes devenues des "oasis de chaleur" dans les années 50-70, la température de l'air (minimum, maximum, moyenne) aussi bien que d'autres éléments climatiques ont enregistré des sauts ou des tendances explicables. S'il y avait réellement un changement climatique récent,

caractéristique des 10 à 20 dernières années, comme l'affirment de nombreux spécialistes, les séries temporelles enregistrées dans des stations climatiques non-urbanisées devraient relever des tendances similaires à celles signalées dans des environnements urbanisés.

Dans ce contexte, on a pris en considération les températures mensuelles de l'air (minimum, moyenne, maximum) de Strasbourg-ville et de Strasbourg-aéroport (Entzheim). L'étude caractéristique de ces séries a conduit à quelques conclusions intéressantes :

- Dans les deux stations, à partir de 1960, les températures minimales présentent une tendance linéaire croissante, légèrement plus accentuée à Strasbourg-ville.
- L'effet d'urbanisation est ressenti à partir de 1967 à Strasbourg-ville. Il est possible que l'effet d'urbanisation ne soit en fait que l'accumulation dans le temps d'une non-homogénéité due aux constructions hautes à proximité de la station.
- A partir des années 60, il apparaît une tendance vers une désorganisation de la saisonnalité des paramètres extrêmes, tant du point de vue de la magnitude des valeurs que du point de vue du moment d'apparition durant l'année.

Ainsi, la simulation des séries par le modèle de Thomas-Fiering met en évidence des différences appréciables entre les paramètres du modèle élaboré pour l'échantillon de série temporelle jusqu'en 1960 et après cette année. Des tests ont été effectués pour déceler une différence entre l'effet de l'urbanisation et l'éventuel changement climatique. Bien que certains changements des caractéristiques statistiques des séries temporelles soient évidents, surtout pour les minimums, on ne peut être certain de détecter un changement climatique avant que ces conclusions ne se confirment au niveau régional ■

Analyse du réchauffement contemporain et des types de temps observés dans le NE de la France et le SO de l'Allemagne de 1980 à 2000

L. WAHL

*Université de NANCY 2, UFR des sciences historiques, géographiques et de musicologie,
3, Place Godefroy de Bouillon, B.P. 3397- 54015 NANCY-Cedex
Email : laurent.wahl@wanadoo.fr*

Mots-clé : réchauffement, type de temps, évolution climatique, NE de la France.

L'analyse détaillée de longues séries de températures permet d'identifier un réchauffement climatique au cours du XX^{ème} siècle qui s'est accentué durant la dernière décennie. A partir de quelques stations synoptiques placées dans des sites variés, nous avons essayé de déterminer l'ampleur du réchauffement climatique contemporain dans le NE de la France et le SO de l'Allemagne.

En l'espace de 40 ans (1961-2000), on relève une augmentation significative des températures moyennes annuelles de l'ordre de +0,9°C à +1,4°C ce qui est considérable. La hausse la plus sensible (0,4°C à 0,7°C) s'est manifestée entre la décennie 1980 et 1990. Ce réchauffement est pratiquement aussi marqué en plaine qu'en moyenne (Feldberg, 1500 m) et haute montagne (Säntis, 2490 m). Les stations rurales connaissent un réchauffement de même ampleur que les stations urbaines. L'analyse des écarts mensuels de température observés entre les deux dernières décennies, montre un accroissement sensible des températures durant

les mois de janvier, février et août. Par contre, on note un léger refroidissement durant les mois de septembre et d'octobre qui tend à s'accroître en altitude (jusqu'à $-1,3^{\circ}\text{C}$ pour la station du Feldberg). Il en résulte une baisse sensible du nombre de jours de gel et une augmentation du nombre de jours de chaleur.

A partir de la classification journalière des types de temps établie par Patrice Paul, des fréquences d'occurrence ont été calculées pour certaines situations météorologiques au cours des 20 dernières années (1981 à 2000). Les situations perturbées d'Ouest (PO) restent prédominantes avec près de 27 % des cas recensés suivies des situations anticycloniques de type AM (Anticyclone Maritime) et des situations perturbées de SO (PSO) avec respectivement 12 et 11,8 %. L'élévation des températures au cœur de l'hiver pourrait s'expliquer par une augmentation des situations perturbées de SO (PSO) et une régression des situations de type PRE (retour d'Est). Les situations de type AC (Anticyclone Continental) qui ne représentent, que 10 % des cas, ne montrent aucune évolution significative. Durant l'été, on ne note pas de variations importantes au niveau de la fréquence des types de temps observés. Les années froides se caractérisent par un nombre relativement élevé de situations avec un retour d'Est (PRE) et les années chaudes par une recrudescence des situations perturbées de SO (PSO)

La succession des types de temps au-dessus d'un lieu ou d'une région semble expliquer en partie l'ampleur du réchauffement observé durant l'hiver au cours des 2 dernières décennies. Dans l'avenir, il conviendra de déterminer si l'évolution constatée au cours des années 1990 tend à perdurer ou s'il s'agit d'une simple fluctuation climatique■

3.2. Environnement et changement climatique

Impact des changements climatiques passés sur l'évolution de la végétation du massif jurassien central

C. BEGEOT

*Laboratoire de Chrono Ecologie, UMR 6565, UFR Sciences et Techniques, 16 route de Gray
25030 Besançon Cedex*

Tél. : 03.81.66.65.14 ; Fax : 03.81.66.65.68 ; Email : carole.begeot@univ-fcomte.fr

Mots-clé : palynologie, paléoclimatologie, végétation, tardiglaciaire.

Dans la perspective actuelle du réchauffement brutal de la planète, les scientifiques tentent de comprendre les mécanismes des variations climatiques et de leurs conséquences sur l'environnement. Une des clés nécessaire à la compréhension de ces phénomènes est l'étude des changements passés. Ces dernières années, de nombreuses recherches paléo environnementales portèrent une attention toute particulière à la période de transition entre la dernière période glaciaire et le présent interglaciaire, épisode connu sous le nom de Tardiglaciaire (17000-11000 ans). Cet intérêt s'explique par l'ampleur des bouleversements climatiques que notre planète a connus durant ce laps de temps réduit comparé à l'échelle du Quaternaire. Les enregistrements isotopiques détaillés issus des milieux marins et glaciaires montrent que cette période fut entrecoupée de nombreuses phases de refroidissements et de réchauffements brutaux, les unes de quelques centaines d'années et les autres n'excédant pas le siècle.

L'analyse à haute résolution des grains de pollen et des macrorestes végétaux piégés dans les sédiments de quatre lacs jurassiens permet d'évaluer la réponse des écosystèmes végétaux aux vicissitudes du climat au cours du tardiglaciaire. L'étagement altitudinal de ces sites, depuis les seconds plateaux jusqu'à la Haute Chaîne, permet notamment de mettre en évidence des variations de la limite supérieure de la forêt en relation étroite avec des changements climatiques de forte amplitude.

Suite au retrait glaciaire, les végétations herbacées steppiques colonisent progressivement l'ensemble du territoire. Il y a 15000 ans le réchauffement brutal connu sous le nom de Bølling déclenche l'extension de groupements arbustifs pionniers dominés par le bouleau en dessous de 800 m d'altitude et par le genévrier jusqu'à 1000 m d'altitude. Un refroidissement de 100-150 ans (Dryas moyen) interrompt ce processus de recolonisation et provoque le recul des peuplements arborés. Durant l'Allerød, le climat est à nouveau plus clément et permet la migration de forêts de pins sur le territoire. Ces dernières, en mélange avec le bouleau, se cantonnent toutefois en dessous de 1000-1200 m d'altitude, le Haut Jura plissé restant encore majoritairement asylvatique.

Il y a 12500 ans environ, le dernier sursaut glaciaire du Dryas récent entraîne une baisse de la limite supérieure de la forêt. Les peuplements arborés se retranchent dans les zones de basse altitude, au moins au-dessus de 800 m, tandis que les pelouses, peut-être parsemées d'arbres isolés, s'étendent sur une grande partie du massif. Un peu plus de 1000 ans plus tard,

le réchauffement du Préboréal favorise le développement des forêts de pins et de bouleaux sur tout le territoire étudié, excepté, peut-être, sur les crêtes.

Au-delà de cette tendance générale, les analyses à haute résolution révèlent, au cours des différentes périodes, une très grande irrégularité des courbes polliniques. Celles des arbustes héliophiles, au Bølling, accusent un léger fléchissement en milieu de zone, perceptible sur la quasi-totalité des sites jurassiens. Durant l'Allerød, les pourcentages de pins décroissent à plusieurs reprises en faveur de ceux du bouleau et des herbacées héliophiles. Ces événements reflètent des perturbations de la pollinisation des espèces plus qu'une transformation réelle du paysage végétal. Ils sont à mettre en parallèle d'épisodes de refroidissement dont la durée n'excède pas le siècle. Ces enregistrements démontrent donc l'extrême sensibilité de la végétation du massif jurassien qui réagit très rapidement aux changements climatiques passés.

Des quantifications climatiques réalisées grâce à la méthode des meilleurs analogues développée par J. Guiot (CEREGE, Aix-Marseille) ont été mises en œuvre à partir des données polliniques. Elles tentent d'établir la nature et l'amplitude des variations climatiques responsables des modifications du paysage végétal observées■

Impact du climat sur la croissance du hêtre dans les Pyrénées occidentales depuis la fin du Moyen Age

O. GIRARDCLOS (1), C. BOURQUIN-MIGNOT (2),

(1) Centre d'Etude en Dendrochronologie et de Recherche en Ecologie et Paléoécologie, (C.E.D.R.E.), 1A Grande rue, 25170 Emagny

Tél. : 03 81 66 65 14; Email : olivier.girardclos@univ-fcomte.fr

(2) Laboratoire de Chrono-Ecologie, UMR 6565 CNRS, UFR Sciences, 16 Route de Gray, 25030 Besançon ; Tél. : 03 81 66 64 49, Email : christine.bourquin-mignot@univ-fcomte.fr

Mots-clé : dendrochronologie, hêtre, Petit Age Glaciaire, Pays Basque.

L'analyse des variations interannuelles des largeurs de cernes de hêtres et de leurs relations avec le climat a déjà montré que cette essence est extrêmement sensible aux facteurs météorologiques. L'étude dendrochronologique de populations prélevées dans le massif d'Iraty (Pays basque français), a permis de découvrir les plus vieux hêtres vivants connus jusqu'ici en France : ils sont âgés de plus de 450 ans, alors qu'en règle générale, la durée de vie de cette espèce dépasse rarement 350 ans. La chronologie, qui débute en 1521 et se termine en 1998, présente des successions de cernes étroits ou larges. Ces signaux sont confrontés à diverses sources dendroclimatiques et historiques.

L'examen de la courbe des largeurs moyennes de cernes montre une augmentation pratiquement constante de la production de bois depuis 1521. En théorie, l'accroissement radial des arbres est affecté par une loi de sénescence qui se traduit par des cernes de plus en plus minces avec l'âge. Au Pays Basque, des individus âgés de plus de trois cents ans affichent une reprise de croissance importante dès la deuxième moitié du 19ème siècle et de manière encore plus évidente depuis 1950. Cet accroissement est attesté sur d'autres espèces et dans d'autres régions. Il peut être mis en relation à la fois avec la fin du Petit Age Glaciaire et avec l'augmentation de la production des gaz à effet de serre, dont le CO₂ atmosphérique.

L'analyse de la largeur des cernes et de ses relations avec les données météorologiques, au pas de temps annuel, montre qu'au Pays Basque, comme dans d'autres stations d'altitude, les arbres sont beaucoup plus sensibles aux températures qu'aux précipitations. Des phases de refroidissement, qui se traduisent par des successions de cernes minces, sont ainsi mises en évidence. Elles sont identiques à celles déjà décrites, dans les Alpes, par d'autres auteurs à partir de l'étude des variations de la densité maximale de cernes de mélèzes et de pins. Une relation a été établie entre ces périodes de refroidissement et les avancées glaciaires, comme celles de 1645 et de 1815.

Si nous replaçons ces événements dans le contexte du Petit Age Glaciaire et de son influence sur la croissance des hêtres pyrénéens, nous observons que les dépressions observées dans la courbe de croissance radiale entre 1560-1600, 1640-1660, 1680-1710, 1810-1840 correspondent à des périodes froides, parfois associées à un enneigement important et tardif, favorables aux extensions glaciaires. Il paraît donc évident que les hêtres ont été de bons enregistreurs des périodes froides du Petit Age Glaciaire. Ici, le début de ce rafraîchissement se situe entre 1560 et 1570, il se poursuit jusqu'aux environs de 1840, date à partir de laquelle les indices de croissance sont en permanence supérieurs à la moyenne.

Une autre relation a pu être établie entre les variations de largeur des cernes et des données historiques : dates de vendanges, années de peste et de famine, périodes d'expansion ou de récession démographique et montre dans certains cas le déterminisme climatique de ces événements■

Quantifier le climat du passé à partir de données paléo-environnementales : l'Europe et l'Afrique il y a 18000 et 6000 ans, l'Atlantique nord de 25000 ans à nos jours

O. PEYRON (1), J. GUIOT (2), D. JOLLY (3), A. DE VERNAL (4)

*(1) Laboratoire de Chrono-Ecologie, UMR 6565, UFR Sciences, 25030 Besançon, F
Tél. : +33-(0) 381666669 ; Fax : +33-381666568 ; Email : Odile.Peyron@Univ-FComte.fr*

*(2) CEREGE, Europôle de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence, France
Tél. : +33-(0)4 42971532 ; Fax : +33 (0)4 42971540 ou 1595 ; Email : guiot@cerege.fr*

*(3) ISEM, Département Paléoenvironnements & Palynologie, Case 61, Université
Montpellier II, 34095 Montpellier, France*

Tél. : +33(0)467143270 ; Fax : +33(0)467042032 ; Email : jolly@isem.isem.univ-montp2.fr

*(4) GEOTOP, Dép. des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, UQAM-BP 8888, succ.
Centre-Ville, Montreal, H3C 3P8, Canada*

Tél. : 1-514-987-300 ; Fax : 1-514-987-3635 ; Email : r21024@er.uqam.ca

Mots-clé : paléoclimats, quantification, modèle, bio indicateurs.

Dans une perspective de réchauffement global, des modèles climatiques atmosphériques sont testés pour des périodes clé du passé caractérisées par des conditions climatiques très différentes de celles d'aujourd'hui, afin de les rendre plus performants pour la prédiction des climats futurs, sans doute eux-mêmes très différents d'aujourd'hui. Or, les climats simulés par les modèles doivent toujours être testés et validés, car même s'ils modélisent bien les climats d'aujourd'hui, rien ne garantit leur fiabilité dans des contextes climatiques très différents, susceptibles de se réaliser dans le futur. Seules certaines périodes du passé peuvent servir de

cadre à des simulations assez différentes des conditions climatiques actuelles. Le climat de l'Europe et de l'Afrique a été reconstitué à partir de données polliniques pour deux périodes clé du passé : l'Holocène moyen (il y a 6000 ans) et le dernier maximum glaciaire (il y a 18000 ans). Ces résultats ont permis de tester les simulations des modèles de circulation générale atmosphérique dans des contextes climatiques différents du mode actuel.

La végétation de l'Europe au dernier maximum glaciaire n'ayant pas d'analogues polliniques actuels parfaits, une nouvelle méthode basée sur le groupement des taxons polliniques en types fonctionnels de plantes a été mise au point et a permis de reconstruire pour l'Europe, quatre paramètres bioclimatiques : l'humidité relative, le montant annuel des précipitations, la température moyenne annuelle ainsi que celle du mois le plus froid. Le climat de l'Europe au dernier maximum glaciaire était plus froid et plus sec qu'aujourd'hui. Un gradient spatial de température et d'humidité allant du NO au SE a été mis en évidence. Le climat de l'Afrique au dernier maximum glaciaire était significativement plus froid que le climat actuel sous les tropiques, plus sec autour de l'équateur et plus humide en Afrique du Sud. La comparaison avec les modèles montre qu'à l'exception de deux modèles, tous sous-estiment les variations climatiques reconstruites d'après les données polliniques à 6000 et 18000 ans BP.

Le même type d'approche a été développé pour le domaine marin afin de reconstituer de façon quantitative les changements au cours du temps de certains paramètres océaniques : température et salinité moyennes du mois le plus froid et du mois le plus chaud, durée du couvert de glace de mer, aux hautes latitudes de l'Atlantique nord. Ces paramètres sont estimés à partir de la distribution actuelle de différents traceurs microfloristiques, en particulier les kystes de dinoflagellés. Cette méthode a été testée sur 2 carottes prélevées dans l'Atlantique nord et a permis de reconstituer les changements océaniques au cours des derniers 25000 ans■

PARTIE 4

CLIMATOLOGIE A ECHELLE REGIONALE

4.1. Précipitations, vents

Prédétermination régionale des pluies d'occurrence fréquente à rare ; application sur le pourtour méditerranéen français.

C. FOUCHIER (1), B. SOL (2), J. LAVABRE (1), Y. GREGORIS (2), C. DESOUCHES (2)

(1) Cemagref, B.P. 31, Le Tholonet, 13612 AIX-EN-PROVENCE cedex 1, France

Tél. : 04 42 66 99 49 ; Fax : 04 42 66 88 65

Emails : catherine.fouchier@cemagref.fr ; jacques.lavabre@cemagref.fr

(2) Météo-France, Direction interrégionale Sud-Est, Bureau d'études et de développement, 2, boulevard du Château Double, 13098 Aix-en-Provence

Tél. : 04 42 95 90 71 ; Fax : 04 42 95 90 19

Emails : bernard.sol@meteo.fr ; yves.gregoris@meteo.fr ; christine.desouches@meteo.fr.

La connaissance des débits de crue est une information nécessaire à toute étude d'aménagement et à l'établissement de documents réglementaires telles que les plans de prévention des risques inondation. Elle se limite toutefois aux bassins versants jaugés du réseau de mesure hydrographique. En comparaison, la densité du réseau de mesure pluviométrique est beaucoup plus importante. Le Cemagref a développé la méthode SHYPRE (Simulation d'HYdrogrammes pour la PREDétermination des crues) qui permet d'exploiter les informations pluviométrique et hydrométrique pour proposer une estimation des débits de crue. Un générateur stochastique de pluies horaires est associé à une modélisation simple de la pluie en débit pour obtenir des chroniques de débits simulés sur lesquelles peuvent être effectués des ajustements statistiques.

Le générateur de pluies horaires a été mis au point par le Cemagref sur la région méditerranéenne française. Son principe repose tout d'abord sur une description géométrique de la pluie au pas de temps horaire. Cette description a permis de définir 5 variables explicatives du signal de pluie et leurs lois de probabilité. Des épisodes de pluie réalistes peuvent ensuite être simulés à volonté par simple tirage aléatoire dans ces lois de distribution. Des ajustements statistiques simples (selon la méthode de Hazen) sont ensuite effectués sur ces chroniques simulées pour estimer les quantiles de pluie de différentes durées (1 heure à 72 heures ainsi que la journée) pour des périodes de retour allant de 2 à 1000 ans. Dans l'objectif d'une régionalisation du modèle et du fait de la bonne disponibilité de l'information pluviométrique journalière, les cinq variables explicatives ont été reliées à deux caractéristiques de la pluie journalière sans altération majeure des résultats de la modélisation.

Ces caractéristiques sont le nombre d'événements pluvieux par saison et un paramètre de calage du modèle PRIMS (Paramètre Régional Indicateur du Modèle de Simulation), issu des quantiles de la pluie journalière de période de retour 2, 5 et 10 ans. Les valeurs de ces paramètres journaliers ont été déterminées sur 556 postes pluviométriques des régions Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur et des départements limitrophes dans le cadre d'une étude cofinancée par le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Météo-France et le Cemagref. Leur régionalisation a été effectuée par Météo-France sur la base d'une Analyse en Composante Principale de caractéristiques

géographiques (relief, distance à la côte, ...). L'échelle retenue peut être qualifiée de fine puisque la valeur des paramètres est déterminée en chaque km² de la zone d'étude.

Au total, 1000 chroniques de 500 ans sont simulées pour une valeur unique de NE et pour différentes valeurs du paramètre PRIMS couvrant la gamme de variation des valeurs régionales. Il est ensuite possible d'en déduire les différents quantiles de pluie, pour chaque maille de 1 km², par recalage et interpolation à partir de la valeur de ses paramètres, respectivement NE et PRIMS.

Les performances du modèle ont été évaluées sur sa capacité à reproduire les quantiles de pluie ajustés localement aux postes de calage. Elles sont jugées satisfaisantes puisqu'un peu plus de 85 % des quantiles journaliers décennaux estimés se retrouvent dans une gamme de plus ou moins 20 % autour des ajustements locaux. La confrontation des quantiles estimés de la pluie journalière et horaire avec les ajustements effectués dans d'autres études atteste d'un comportement satisfaisant du modèle. Ces résultats encourageants ont motivé l'extension de la méthode. Un travail d'adaptation aux régimes tempérés et tropicaux français est en cours de réalisation■

Les indicateurs climatiques de grande échelle et la variabilité des tempêtes sur le territoire français

D. JOUAN

Laboratoire Costel-LETG UMR 6554 du CNRS, Université de Rennes 2 / CSTB département Climatologie, Aérodynamique, Pollution et Epuration, 11 rue H. Picherit, BP 82341, 44323 Nantes cedex 03 ; Tél. : 02 40 37 20 5 ; Fax : 0 2 40 37 20 60 ; Email : jouan@cstb.fr

Mots-clé : tempêtes, variabilité interannuelle, analyse statistique, NAO.

La variabilité interannuelle du climat rend difficile la détection de tendances. L'origine de cette variabilité réside dans les interactions complexes au sein du système climatique constitué de composantes qui ont des pas de temps différents. Les composantes interactives du système climatique sont au nombre de cinq : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la lithosphère. En outre, aux incertitudes concernant la variabilité naturelle du climat viennent s'ajouter celles induites par l'augmentation d'origine anthropique des concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

La fréquence et l'intensité des tempêtes qui peuvent frapper l'Europe de l'Ouest demeurent mal connues à ce jour. Les raisons sont nombreuses et proviennent principalement de la jeunesse des séries de mesures qui ne permettent pas de remonter suffisamment loin dans le temps. Pour faire face à ce problème, il est nécessaire de rechercher des paramètres qui sont statistiquement reliés à ces phénomènes extrêmes afin de pouvoir mieux estimer leur variabilité. Des études précédentes ont permis de développer des techniques de reconstitution des vents forts, comme les valeurs de vent géostrophique, mais les résultats obtenus ne permettent pas d'établir de tendances significatives concernant l'évolution du nombre et de la force des tempêtes.

Des indices climatiques de grande échelle de type ENSO pour le Pacifique ou NAO pour l'Atlantique Nord décrivent la variabilité atmosphérique avec des corrélations qui sont assez

bonnes en ce qui concerne les précipitations ou les températures, mais on cerne plus difficilement la manière dont ces indices peuvent décrire la variabilité d'événements extrêmes. Dans cette étude, la variabilité des tempêtes qui touche le territoire français va être analysée afin de voir si ces indices climatiques sont statistiquement reliés à ces phénomènes extrêmes. L'intérêt de ces paramètres est qu'ils se produisent à plus grande échelle et qu'ils sont donc identifiables dans des modèles de basse résolution. En outre, ils offrent l'avantage de pouvoir être calculés sur des périodes relativement longues.

Les données utilisées pour l'étude proviennent de sources différentes. Le premier type de données est constitué par un fichier établi par Météo-France répertoriant les dates et caractéristiques des tempêtes en France entre 1962 et 1999. Ce fichier des événements de vents violents a été établi sur des critères météorologiques et des observations humaines (fichier de tempêtes répertoriées par les assurances.) Ce fichier repose sur les données de 67 stations uniformément réparties sur le territoire français métropolitain. Les indices climatiques utilisés, Oscillation Nord Atlantique et Oscillation Arctique sont ceux calculés par Hurrell (1995) et par Thompson et Wallace (2000).

La variabilité des événements de vent fort est tout d'abord abordée indépendamment des indices climatiques, puis les liens statistiques qui existent avec ces indices sont étudiés selon différents paramètres. Cependant, derrière le terme de "tempête" se cachent parfois des réalités bien différentes avec des tempêtes d'intensités inégales, avec des surfaces affectées différentes. Par la suite, il s'avère nécessaire de les étudier plus en détail, que ce soit en terme d'épisodes consécutifs ou de grande ampleur (plusieurs dizaines de stations concernées par les vents forts pendant plusieurs jours).

Les premiers résultats confirment la difficulté à déceler des tendances face à la variabilité des valeurs observées. Il s'avère que le lien statistique avec les indices climatiques étudiés existe, mais il s'exerce de manière indirecte et reste beaucoup moins significatif que ce qui a pu être observé pour d'autres paramètres climatiques■

Le système mondial d'observation du climat

R. JUVANON DU VACHAT

Météo-France, D2I/ENV

L'observation météorologique se réfère à la mission générale d'observation de Météo-France, dont la politique est cadrée par un schéma directeur d'observation (1999), et par un schéma directeur pour la climatologie spécifiquement dédié au climat (2001). Cependant l'aspect composite de SMOC en fait un système où les opérateurs proviennent d'autres institutions : laboratoires dépendant du Ministère de la Recherche, du Ministère de l'environnement, institutions océanographiques et outre-mer. La politique générale de diffusion des données est encadrée par la Résolution 40 de l'OMM, pour ce qui est de la diffusion des données météorologiques. Dans le cadre du système mondial d'observation du climat se pose la question des longues séries de données et de la pérennisation des réseaux d'observation. Les observatoires (opérationnels ou recherche) tentent de répondre à cette question.

Le réseau météorologique de surface (GSN) comprend depuis 1999 six stations en France métropolitaine. En France d'outre-mer le réseau GSN comprend les 14 stations suivantes : Cayenne-Rochambeau (Guyane), Le Raizet (Guadeloupe), Dzaoudzi-Pamanzi (Mayotte), Martin de Vivies (île Amsterdam), Port-aux-Français (île Kerguelen), Dumont d'Urville (Terre Adélie), Koumac et Nouméa (Nouvelle Calédonie), Hififo (île Wallis) et, pour la Polynésie Française : Atuona, Tahiti-Faaa, Rikitea, Tubuai, Rapa.

La contribution française à l'observation océanographique pour le climat se décline sous le système GOOS, qui comprend les éléments suivants : navires d'observation volontaires (VOS) et occasionnels (SOOP), marégraphes, bouées météorologiques dérivantes et ancrées, enfin flotteurs de sub-surface (projet Coriolis). On notera l'orientation pré-opérationnelle de cette observation de l'océan, avec les projets de modélisation MERCATOR, d'observation CORIOLIS et la future expérience d'assimilation de données GODAE (2002-2004). Les sept agences françaises concernées par l'océanographie (CNES, CNRS, Ifremer, IFRTP, IRD, Météo-France, SHOM), unissent leurs efforts pour développer un système complet et cohérent d'océanographie opérationnelle portant sur trois axes : l'altimétrie satellitaire (JASON), la modélisation numérique globale avec assimilation (MERCATOR), les mesures in situ (CORIOLIS). Le projet CORIOLIS vise à construire une structure pré-opérationnelle d'acquisition, de collecte, de validation et de diffusion de données océaniques mondiales (profils de température et salinité, et de courants) répondant aux besoins des modélisateurs (comme MERCATOR) et de la communauté scientifique (dans le cadre de CLIVAR).

Le réseau d'observations terrestres (GTN) comprend des observations de glaciers de montagne, le suivi à long terme des gaz à effet de serre (RAMCES), enfin des mesures de flux de carbone en lien avec les écosystèmes terrestres (FLUXNET). Les glaciers de montagne sont ainsi étudiés dans de nombreuses régions en France et à l'étranger, en particulier par le LGGE, l'IRD, le CEMAGREF. Le réseau RAMCES vise à comprendre le cycle des gaz à effet de serre et à en établir le bilan au plan régional. La France participe également aux mesures de flux de carbone dans les écosystèmes terrestres effectuées dans le cadre du programme international Fluxnet et des divers programmes associés au groupe de projets Carboeurope.

Les écosystèmes forestiers font également l'objet d'observations systématiques par l'Inventaire Forestier National (IFN), réalisé tous les 10-12 ans depuis près de 40 ans. Un dispositif de suivi des influences environnementales a également été mis en place à la suite des dégâts causés par les pluies acides.

Dans le domaine de l'observation spatiale, le CNES a été l'un des organismes pionniers de l'observation spatiale de la Terre. Son programme en la matière occupe près d'un tiers de son budget. Il le conduit en coopération internationale, dans un cadre bilatéral, mais aussi en participant de façon importante aux projets de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Ce programme s'organise en "filières", séries de projets répondant à des objectifs communs ou faisant appel à des techniques spécifiques, avec le souci de l'innovation, de la satisfaction des besoins scientifiques et du développement des applications. Les trois filières : observation terrestre, observation météorologique, et recherche ont contribué de manière croissante à la connaissance du climat. La France contribue également à un niveau élevé à l'agence européenne des satellites météorologiques EUMETSAT, qui gère les satellites METEOSAT, ainsi que la future plate-forme en orbite polaire METOP■

Oscillation Centre Africaine-Caspienne (OCAC) : une téléconnexion atmosphérique influençant la Mer Rouge et ses environs

H. KUTIEL ET I. HELFMAN

Département de Géographie, Université de Haïfa, Haïfa 31905, Israël

On utilise les données moyennes mensuelles des géopotentiels de l'hémisphère nord au niveau de la mer présentant une analyse de 2.5° par latitude et par longitude pour une période de 41 ans (1960-2000). On utilise également les données mensuelles des températures et des précipitations de 30 stations dans la région de la Mer Rouge.

Une téléconnexion atmosphérique entre les points de grille : 20°E, 7.5°N; 22°30'E, 7.5°N; 25°E, 7.5°N (Afrique Centrale) et 52°30'E, 45°N; 55°E, 45°N ; 57°30'E, 45°N (Mer Caspienne) a été identifiée. Cette téléconnexion a été calculée par la différence des valeurs de la pression atmosphérique entre l'Afrique centrale et la Mer Caspienne au niveau de la mer (OCAC) et à ce propos un indice mesure la différence de pression entre les deux pôles mentionnés ci-dessus. Cet indice est plus évident durant l'hiver ainsi que les saisons intermédiaires. On présente et on analyse les séries chronologiques de l'indice.

On définit les phases négatives (-) et les phases positives (+) de l'OCAC par l'utilisation des scores standardisés. On prépare et on analyse le calendrier des mois de la période étudiée (1960-2000) en accord avec les valeurs négatives (-), positives (+) ou normales de l'indice OCAC. On définit les conditions de la circulation durant les phases positives et négatives de l'OCAC et on discute l'influence de ces phases sur les climats régionaux. Les résultats préliminaires montrent que l'OCAC peut avoir des influences très importantes sur le régime des températures dans la région de la Mer Rouge. La phase positive de ce champ est liée à des températures et des précipitations au-dessous de la normale tandis que la phase négative est associée à des températures et précipitations plus élevées que la normale. On a observé, pendant les années 1960-1975, une dominance de la phase négative, puis une dominance de la phase positive pendant les années 1976-1994■

Les champs des anomalies pluviométriques durant la saison humide en Grèce et leurs relations avec le géopotiel à 500 hPa

P. MAHERAS, M. VAFIADIS, F. KOLYVA-MACHERA, C. ANAGNOSTOPOULOU, K.TOLIKA

Mots-clé : anomalies pluviométriques, géopotentiels à 500hPa., Grèce.

Cette analyse a pour but principal l'étude des anomalies climatiques par le moyen de la construction et de la description des champs pluviométriques, durant la saison humide (octobre-mars), des années humides et des années sèches en Grèce. Ces dernières sont mises en évidence par une analyse en composantes principales des données pluviométriques issues d'un réseau de 20 stations distribuées de façon relativement uniforme sur le terrain, pour la période 1958-1997.

A partir des précipitations mensuelles de 20 stations, nous avons calculé les totaux de la saison humide (octobre-mars) et on a ensuite appliqué la technique de l'analyse en

composantes principales aux données mentionnées ci-dessus. La représentation et l'étude des anomalies pluviométriques positives et négatives se fait par l'examen des scores Pcli correspondant à la première composante principale qui est une composante de taille. A des valeurs positives de Pcli (l =nombre des composantes significatives retenues et i = nombre des années, $i=40$) correspondent des précipitations excédentaires et aux valeurs négatives de Pcli correspondent des précipitations déficitaires. Nous avons construit deux ensembles des cartes illustrant les champs des anomalies :

- Le premier a été construit par la cartographie des rapports entre (1) les précipitations moyennes de la période humide des 4 années présentant les scores positifs les plus forts et (2) les précipitations moyennes correspondantes sur la période étudiée. Il est évident que dans ce cas toutes les valeurs de ces rapports doivent être supérieures ou au moins égales à 1. De la même façon ont été construites les anomalies pluviométriques négatives, de la période humide (4 années présentant les valeurs absolues les plus fortes des scores négatifs).
- Le second ensemble a été construit de la même façon que le premier mais on a choisi uniquement l'année la plus humide (score positif le plus fort) et également l'année la plus sèche (score négatif dont la valeur absolue est la plus forte).

En règle générale, l'excès pluviométrique est plus important dans les stations qui reçoivent le maximum des précipitations moyennes au cours de la période humide (le long des côtes Ioniennes) et il diminue dans la mer Egée méridionale (Cyclades). De même, le déficit pluviométrique est plus important le long des côtes Ioniennes mais également dans les stations qui se trouvent au Nord du 39^{ème} parallèle.

L'étude des relations des anomalies pluviométriques avec les géopotentiels à 500 hPa a été étudiée par le moyen de la construction des composites des anomalies du niveau 500 hPa comprenant les années des anomalies pluviométriques positives et des anomalies négatives. L'étude de ces composites montre que les anomalies pluviométriques positives sont liées à la présence d'un champ avec des anomalies négatives des géopotentiels relativement fortes centrées sur l'Europe centrale et occidentale. Au contraire, les anomalies pluviométriques négatives sont liées à la présence d'un champ avec des anomalies positives centrées également sur l'Europe centrale et occidentale.■

Caractérisation des vents de sables en Tunisie à partir des mesures in-situ et de l'imagerie NOAA-AVHRR

T. MELKI (1), Y. CHARABI (1), S. BIGOT (2)

(1) Laboratoire de Biogéographie et de Climatologie Appliquée, Université de la Manouba, Tunisie ; Tél : (216) 72 33 20 25 ; Fax (216) 74 67 05 40, Email : tmelki2002@yahoo.fr

(2) *Laboratoire de Géographie des Milieux anthropisés UMR-CNRS, Université des Sciences et Technologies de Lille, France*

Mots-clé : vents de sable, milieux arides, sondages verticaux, Tunisie.

La Tunisie méridionale est parfois recouverte d'une brume brunâtre. L'activité industrielle et le trafic routier ne sont pas seuls en cause. En effet, un phénomène naturel, le vent, soulève du sable dans le Sahara pour le répandre à une échelle régionale plus large. Cette poussière en suspension agit comme un aéro-contaminant potentiellement dangereux. Les aérosols dont le

diamètre est inférieur à $2,5\mu\text{m}$ se déposent facilement dans les poumons et peuvent provoquer des troubles respiratoires. De plus, la mauvaise visibilité induite par les particules en suspension perturbe l'activité économique.

Dans notre étude, le phénomène de vents de sable est entendu dans un sens large. Cette terminologie englobe les vents de sable proprement dits, les brumes de sable et les tempêtes de sable. Le phénomène de vent de sable est relevé par le réseau des stations synoptiques de la météorologie nationale (23 stations). L'analyse des données sur la période 1990-2000 montre que le phénomène touche principalement la Tunisie méridionale et centrale (12 stations). Ces régions correspondent aux milieux arides et semi-arides présentant des conditions climatiques (précipitations faibles et irrégulières, températures élevées avec de grandes amplitudes thermiques et vents violents et assez fréquents) et écologiques (des sols squelettiques constitués de roches mères friables et facilement mobilisables par le vent) propices au déclenchement du phénomène. Les observations et les analyses statistiques conduites sur cette période de 11 ans montrent que les vents de sable constituent un phénomène fréquent assez caractéristique du climat aride de la Tunisie méridionale. Durant la période étudiée, on a enregistré une moyenne de 76 jours par an affectés par les vents de sable, c'est-à-dire qu'un jour sur cinq enregistre une mauvaise visibilité liée à ces aérosols. La répartition mensuelle des jours de vents de sable montre que la période comprise entre les mois de mars et août correspond aux plus fortes fréquences de journées dites avec vents de sable.

Un autre aspect de ce travail consiste à analyser les structures verticales de l'atmosphère par situation de vent de sable afin de comprendre l'enchaînement des processus qui interviennent au cours de la formation du vent de sable. Les observations issues des stations synoptiques nous ont permis de cartographier les régions touchées par ce phénomène. Pour donner une idée précise de son extension spatiale, l'apport de la télédétection spatiale est nécessaire, notamment l'imagerie satellitaire NOAA-AVHRR relative aux journées de vents de sable généralisés. Ces investigations montrent la nécessité d'élargir la zone d'étude, car l'ampleur spatiale du phénomène dépasse largement le cadre de la Tunisie méridionale■

4.2. Etat de surface, évapotranspiration

ECOCLIMAP : une base de données globales de paramètres de surface à la résolution kilométrique et son utilisation dans les modèles météorologiques

J. L. CHAMPEAUX, V. MASSON

Météo-France/CNRM, 42, Av Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, France

Tél. : (0)5 61 07 93 55 ; Fax : (0)5 61 07 96 26 ; Email : Jean-louis.champeaux@meteo.fr

Mots-clé : végétation, paramètres de surface, indice foliaire, modèles météorologiques.

Depuis quelques années, un effort a été entrepris pour améliorer la paramétrisation des processus de surface dans les modèles de prévision globaux et à méso-échelle ainsi que dans les modèles de climat. Noilhan et Planton (1989) ont développé un schéma de paramétrisation des processus de surface, dénommé ISBA, 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, l'albédo, la longueur de rugosité, la résistance stomatique.

L'objectif du papier est de décrire la manière de dériver des paramètres de surface mensuels à partir de cartes d'occupation des sols, de carte de climat et des données d'indice de végétation NDVI. 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 ».

Hors Europe, la carte d'occupation des sols en 15 classes à la résolution du kilomètre, élaborée par l'Université du Maryland à partir des données NOAA/AVHRR, a été utilisée. 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 250 m est utilisée ; les zones non totalement couvertes par CORINE ont été complétées par les données « land cover » issues du projet européen PELCOM. 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 savane). Les cartes d'occupation des sols ont donc été combinées avec la carte des climats en 16 classes présentée par Koppe et De Long hors Europe et avec un zonage climatique plus précis sur l'Europe issu du projet FIRS. Cela conduit à un très grand nombre d'écosystèmes sur les six continents que nous avons regroupés en respectant la règle majeure suivant laquelle on n'agglomère pas des types de végétation différente. Ces agglomérations sont basées sur l'analyse des profils temporels de l'indice de végétation NDVI pour le biome considéré. Notre carte finale contient 220 « écosystèmes » dont 90 sur l'Europe.

Chaque écosystème sera décomposé en fonction de 3 types majeurs : surface boisée, surface herbeuse et sol nu ; cela permettra lors de la modélisation une approche « patch » (traitement séparé de la surface dans la maille pour chaque type de végétation) ou agrégation des paramètres de surface suivant des règles de moyenne. Le paramètre principal en entrée du

schéma de surface est l'indice foliaire (LAI) qui détermine la transpiration de la plante. 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. Les valeurs des autres paramètres de surface (rugosité, résistance stomatique minimale, profondeurs de sol, émissivité) sont elles aussi prescrites pour chaque écosystème. Les deux composantes de l'albédo, l'albédo du sol nu et de la végétation, sont calculées séparément en utilisant une carte des sols établie par la FAO.

La validation des cartes mensuelles de LAI obtenues, faite en premier lieu par rapport à un jeu de mesures in situ collectées dans tous les continents, montre un bon accord général. Une deuxième validation est faite par rapport aux données de LAI issues du programme ISLSCP2 et par rapport au jeu de données dérivées du satellite POLDER. Enfin, pour valider l'apport du nouveau jeu de données, deux simulations climatiques de 10 ans ont été réalisées avec le modèle de climat ARPEGE en utilisant la base de données Henderson-Sellers d'une part et la nouvelle base de paramètres de surface d'autre part ; l'apport à l'échelle globale est montré.

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, et présentent un grand avantage de cohérence pour les modèles emboîtées■

Le dilemme de la détermination de l'évapotranspiration

L. JAEGER

*Meteorologisches Institut, Der Universität Freiburg, Werderring 10, D-79098 Freiburg
Tél : +49 761 203 3587 ; Fax : +49 761 203 3586; Email : lutz.jaeger@meteo.uni-freiburg.de*

Mots-clé : évaporation, évapotranspiration, bilan énergétique, bilan d'eau.

Il est toujours difficile de déterminer précisément et proprement le bilan énergétique du système terre – atmosphère à l'échelle globale. Ci-après, on trouvera exposé le problème de l'estimation du flux de chaleur latente, autrement dit, de l'évapotranspiration à cette échelle.

Le volume de vapeur de l'eau, qui est transporté dans l'atmosphère étant vaporisé à la surface de la terre entière, forme réciproquement les précipitations mondiales (= 1000 mm par année). De ce point de vue il est intéressant de demander si l'on observe avec une meilleure précision, la mesure des précipitations ou le calcul de l'évapotranspiration. Ensuite on présentera diverses méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration, décrivant ces processus d'évaluation et les risques d'erreur, par rapport à l'hydrologie (bilan d'eau) et par rapport au bilan d'énergie (flux turbulent de la chaleur latente). On survole également des principes et quelques méthodes de l'évaporation potentielle.

La conclusion consiste en une présentation de quelques résultats de la détermination de l'évapotranspiration, cette fois non seulement à l'échelle du temps, mais encore en considérant le cadre régional■

Estimation de l'ETP PENMAN avant et après la mise en eau du futur lac des Côtes de Champagne (Marne) ; différences en fonction des valeurs minimale et maximale de l'albédo par type d'occupation du sol

C. LE MOULLEC, G BELTRANDO

*UMR 8586 PRODIG – équipe Dynamique des Milieux et Risques DYNAMIRIS, Université Denis Diderot Paris VII (CC 7001), 2 Place Jussieu, 75251 Paris CEDEX 05
Email : clmoullec@club-internet.fr ; beltrando@paris7.jussieu.fr*

Mots-clé : modélisation, ETP Penman, albédo, changement d'état de surface.

Le projet d'intérêt général du barrage-réservoir des Côtes de Champagne (2880 ha), lancé il y a 10 ans, a offert un terrain d'étude intéressant pour évaluer, dans l'espace et dans le temps, l'effet de sa mise en exploitation sur les variations locales de l'évaporation. L'objet de cette étude est d'évaluer la différence d'évaporation entre l'état actuel (site humide, étangs, bois, ...) et l'état futur, plan d'eau dont la cote, et par conséquent l'étendue, varient saisonnièrement (par exemple 100 hm³ pour 2880 ha au maximum à la cote 127 mètres en été ; 70 hm³ pour 1345 ha, à la cote 120 mètres au printemps).

Les évaporations calculées à partir de la formule de Penman (Penman, 1948 ; Météorologie nationale, 1975 ; Choissnel, 1988) en utilisant une valeur moyenne d'albédo par type de surface (adaptée de Guyot, 1997), ont fait l'objet d'une première présentation (AIC, Nice). Or, les valeurs d'albédo fournies pour les moyennes latitudes varient parfois sensiblement d'un auteur à l'autre et c'est un des paramètres qui intervient dans la formule de Penman. Une modélisation de l'évaporation, à partir de cette même formule, est présentée, mais en utilisant une valeur minimale, maximale et moyenne de l'albédo (Demolon, 1956 ; Kondratiev, 1969 ; Torrès, 1975 ; Maetzler, 1980 ; Dickinson et al, 1981, Guyot, 1997).

Les séries de mesures quotidiennes de la station du réseau synoptique la plus proche, Saint-Dizier à 25 km au SE du futur barrage-réservoir sont utilisées, pour chaque décade des mois de mars à septembre sur une période de 1966 à 1995. La formule de Penman fait appel aux valeurs quotidiennes relevées sous abri de la température moyenne de l'air en °C (moyenne des températures minimale et maximale) et de l'humidité relative de l'air en % pour la détermination de la tension de vapeur d'eau exprimée en hPa. La vitesse du vent moyen, en m/s, à 10 mètres du sol et la durée réelle d'insolation en heure et dixième mesurées à l'air libre sont aussi employées. La formule prend également en compte l'albédo, expression partielle du bilan radiatif qui permet de tenir compte du type de surface.

L'évaporation Penman est modélisée en appliquant la formule à l'espace différencié en grands types d'occupation du sol renseignés à partir d'une image Landsat Thematic Mapper d'avril 1994 (Bureau d'étude Stratégis pour le compte de l'IIBRBS, 1994) et regroupés ici en 8 classes. Une matrice géoréférencée, découpant l'espace en pixels de 100 mètres de côté permet le calcul et la présentation cartographique des résultats.

Les données climatiques de Saint-Dizier (température, vent, insolation, humidité) sont affectées au calcul de l'ETP en chaque pixel, indépendamment du type d'occupation du sol. Le terme du bilan radiatif est calculé, en chaque pixel, notamment suivant les variations de

l'albédo par grand type d'occupation du sol. C'est l'albédo qui fait varier l'évaporation d'une décade à l'autre.

En moyenne sur les 30 années étudiées, l'analyse de la somme des évaporations des mois de mars à septembre, que ce soit en l'état actuel ou après la mise en eau, montre que l'ETP modélisée avec de faibles valeurs d'albédo est 10 % plus forte que dans le cas d'une modélisation à partir de fortes valeurs d'albédo.

L'écart d'évaporation entre un état actuel (sans barrage) et un état futur (avec barrage) est, en valeur absolue, d'environ 4 fois plus important, lorsque l'ETP est modélisée avec de fortes valeurs d'albédo (ETP état initial = 23,99 hm³ ; ETP cote 127 mètres = 24,48 hm³ ; ETP = 0,49 hm³) comparativement à une modélisation de l'ETP avec de faibles valeurs d'albédo (ETP état initial = 26,95 hm³ ; ETP cote 127 mètres = 27,08 hm³ ; ETP = 0,13 hm³) ■

Intégration des images GOES et NOAA pour les applications hydrométéorologiques

A. A. VIAU, K. S. HAN

Laboratoire de géomatique agricole et d'agriculture de précision, Département des sciences géomatiques, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada G1K 7P4

Tél. : 418-656-2072; Fax : 418-656-5837;

Emails : Alain.viau@scg.ulaval.ca ; Kuyng-soo.han@scg.ulaval.ca

Mots-clé : hydrométéorologie, télédétection, évapotranspiration, indice forêt-météo.

Cette communication porte sur l'utilisation des valeurs de température de l'air et d'humidité relative extraites à partir d'images satellitaires GOES et NOAA pour estimer l'évapotranspiration et l'indice forêt météo dans la partie occidentale de la province de Québec au Canada, pendant les mois de juin et juillet 1997. Le premier objectif de cette recherche consiste à évaluer la précision de la combinaison d'observations sur le terrain avec celles extraites d'images satellitaires dans le calcul de l'évapotranspiration ainsi que dans la régionalisation de l'indice forêt-météo pour des régions agricoles et forestières. Le deuxième objectif consiste à évaluer le potentiel de cette combinaison d'observations pour satisfaire aux applications hydrométéorologiques.

Deux équations empiriques sont proposées. Ces équations exploitent une régression multiple par polynôme de troisième ordre entre les intrants considérés. La première équation comporte six variables (température de surface, NDVI, altitude, latitude, jour julien et heure locale) et permet de calculer la température de l'air. La deuxième équation comporte huit variables (température de surface, température de l'air estimée, NDVI, eau précipitable, altitude, latitude, jour julien et heure locale) et permet de dériver l'humidité relative. Les erreurs d'estimation sont de 2.2°C et de 10 % respectivement pour la température de l'air et l'humidité relative. Le succès obtenu lors de l'extraction de ces paramètres a permis de développer une nouvelle méthode pour estimer l'évapotranspiration et l'indice forêt-météo.

Une méthode simplifiée est ainsi proposée pour estimer les valeurs horaires et journalières d'évapotranspiration à partir d'images satellitaires. La distribution de la valeur horaire du coefficient B (B_h) est exprimée par un modèle Gaussien à trois dimensions pour le jour et par un modèle cartésien à trois dimensions pour la nuit. Les valeurs B_h estimées ont une bonne

corrélation avec les valeurs originales. Les erreurs d'estimation sont de $0.002 \text{ mm.h}^{-1}.\text{K}^{-1}$ pour les valeurs horaires et journalières. De plus, le coefficient de corrélation et l'erreur d'estimation entre les valeurs journalières d'évapotranspiration calculées en utilisant la méthode modifiée (avec la valeur de B_h à midi), et celles calculées en utilisant la méthode originale (modèle du rayonnement net instantané) sont de 0.99 et 0.18 mm/j respectivement.

L'indice forêt-météo est calculé à partir de quatre jeux de données différents. Le premier jeu de données comporte seulement des données météorologiques (observations sur le terrain). Le second contient seulement des valeurs issues d'un modèle de prévision météorologique. Le troisième inclut des données météorologiques ainsi que des données extraites d'images satellitaires. Le quatrième contient des valeurs issues d'un modèle de prévision météorologique ainsi que des données extraites d'images satellitaires. La variation de l'erreur quadratique moyenne normalisée entre l'indice du premier jeu de données et la moyenne glissante calculée à partir de fenêtres de dimensions variées appliquées au troisième jeu de données indique que la représentativité spatiale moyenne d'une station déterminée par le troisième jeu de données est de 6 km. Les meilleurs résultats de régionalisation de l'indice forêt-météo ont été obtenus à partir du troisième jeu de données. Les calculs effectués à partir du quatrième jeu de données sont plus précis que ceux effectués à partir du deuxième jeu de données. Les valeurs de l'erreur quadratique moyenne normalisée sont de 0.09 % et de 2.19 % respectivement■

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1 : CLIMATOLOGIE AUX ECHELLES FINES

P. CARREGA : le climat aux échelle fines	9
------------------------------------------	---

1.1. Bioclimatologie

S. BELLIA, A. DOUGUEDROIT, R. DELECOLLE : La sensibilité de l'agriculture aux changements climatiques : le cas du blé d'hiver en Beauce	11
H. BEN BOUBAKER, Y. CHARABI, H. QUENOL, A. M. GAMMAR, G. BELTRANDO : caractérisation topothermique des terroirs viticoles dans la presqu'île du Cap-Bon (Tunisie) sur la base d'observations phénologiques	12
O. CANTAT : la diversité climatique aux échelles fines en « suisse normande » : une clé d'explication à la présence paradoxale d'espèces thermoxérophiles sous climat océanique tempéré	13
A. DOUGUEDROIT, V. CESARI : diminution altitudinale du stress hydrique de la végétation méditerranéenne en été	15
M. FEKI, A. DOUGUEDROIT : relations entre les rendements du blé dur et les précipitations en Tunisie semi-aride	16
F. GREGOIRE, E. DAS GRAÇAS, J. C. HAUGUEL : zones humides et contraintes climatiques : l'exemple des landes de Versigny (Aisne, Bassin parisien, France)	17
J. EL HAJRI : répartition des températures et culture des tomates en Tunisie	18
I. H. HOLOBACA, V. SOROCOVSCHI, V. DUBREUIL : suivi par télédétection de la sécheresse de l'année 2000 dans la dépression de la Transylvanie	19
M. LONNEUX, M. VANDIEPENBEECK : incidence de la météorologie locale sur les fluctuations de population du petit coq de bruyère	20
R. MOREL : les graminées indicatrices du climat	21
M. M. DOS PASSOS : diagnostic bioclimatique de la région semi-aride brésilienne	23

1.2. Topoclimatologie

1.2.1. Variations topoclimatologiques du climat

M. FAZZINI, C. BISCI, F. DRAMIS, G. PAMBIANCHI : Paramétrisation topo-géographique et situations météorologiques locales dans les Alpes orientales italiennes	25
B. OLECHNOWICZ-BOBROWSKA, J. GACEK : Etude topoclimatique d'une région touristique subcarpatique (Pogórze-Tuchowskie)	26

1.2.2. Variations topoclimatologiques des températures

C. BISCI, M. FAZZINI, N. COCCIA : Analyse spatio-temporelle des séries de températures dans l'Apennin centre-méridional italien par rapport aux paramètres topo-géographiques	29
S. BRIDIER, G. BELTRANDO : Simulation du potentiel de refroidissement en situation radiative dans le vignoble de Champagne : exemple dans les Fonds de Sillery (NO de la Montagne de Reims)	30
M. MADELIN, G. BELTRANDO, F. LANGELLIER : Modélisation spatiale à une échelle fine des températures minimales printanières dans le vignoble marnais	31
G. NEAMU : L'influence climatique de la Mer Noire sur le régime de la température de l'air sur le littoral roumain	33
M. VANDIEPENBEECK : Estimation des températures minimales dans les vallées des Ardennes belges	34

1.2.3. Variations topoclimatologiques du rayonnement et de l'insolation

S. AMEUR, A. AKIR, D. IDRES, A. ADANE, H.SAUVAGEOT : Corrélation entre température et insolation pour la région de Tizi Ouzou (Algérie): application au chauffage solaire	37
R. ANTONIOLETTI : Le rayonnement solaire sur pentes comme facteur de caractérisation des topoclimats	38
G. BRANCUCCI, G. PALIAGA : Rôle de l'ensoleillement dans la dégradation des monuments ; résultats préliminaires	39
S. HARROUNI, A. MAAFI : Etude du rendement du silicium mono-cristallin en milieu désertique	40
B. LOUNIS, A. MAAFI : Utilisation de l'indice d'enneigement pour la détermination de l'irradiation solaire à partir des images météosat	42
M. SANON, H. NICOLAS : Estimation du rayonnement atmosphérique dans la plaine du Sourou au NO du Burkina Faso	43

1.2.4. Variations topoclimatologiques de la neige

G. BLANCHET : Neige et avalanches dans les Alpes françaises en janvier-février 1999	45
S. FRATIANNI, L. MOTTA : Nivométrie dans la Vallée d'Aoste et ses implications touristiques	47
C. GENEST, J. LITYNSKI, F. BELLEMARE : 100 années d'histoire de la vallée du verglas ; étude comparative des événements	48
J. TOUPIN : Perception de l'hiver au Canada : une comparaison entre Edmonton (Alberta) et Montréal (Québec)	48
R. TWARDOSZ : Variabilité des fortes précipitations de neige à Cracovie	49
B. VERMOT-DESROCHES : L'enneigement dans le massif du Jura ; observations et analyse de la variabilité	50

1.2.5. Variations topoclimatologiques du vent

A. DUDOUIT : Essai de prévision locale des conditions aérologiques de surface ; exemple de la Baie de Sallenelles à Ouistreham en Basse-Normandie	53
R. FURY, D. JOLY : Analyse microclimatologique du vent à partir de la campagne de mesures effectuée à Ny Ålesund (Spitsberg) au cours de l'été 1999	55
P. KASTENDEUCH : Classification tridimensionnelle de la circulation atmosphérique	55

C. LAC, J. GUILHOT, L.VALLET, J. L. CHAMPEAUX, F. FAVOT, P. LACARRERE, P. LASSEGUES, P. LE MOIGNE, G.THERRY, B.VINCENDON : Reconstitution d'une climatologie de vent à échelle fine à l'aide de simulations numériques	57
F. YUCEF-ETTOUMI, J. M. FALLOT, H. SAUVAGEOT, A. EL HAMID ADANE : Analyse des propriétés statistiques du vent en Algérie et pour la station de Chasseral (Jura suisse)	58
1.3. L'homme et le climat	
A. HUFTY : Climatologie appliquée, de sa modestie à sa nécessité	61
1.3.1. Le climat urbain	
J. ADJIZIAN-GERARD, V. EL-LAKISS, R. ZAAROUR : L'application du système d'information géographique dans la connaissance des problèmes climatologiques urbains (cas de Beyrouth ; Liban)	65
M. J. ALCOFORADO, H. VIEIRA : La place du climat dans les plans d'aménagement	65
R. CARVALHO, V. PRIOR, R. DEUS : Réseau météorologique pour l'étude du climat urbain	67
Y. CHARABI, T. MELKI, S. BIGOT : Etude du climat urbain de la ville de Sfax	68
L. F.NUNES, J. NETO, F. CARVALHO, R. CARVALHO, V. PRIOR : Caractérisation et validation des données climatologiques obtenues par stations météorologiques automatiques	69
1.3.2.La pollution	
J. C. GALLARDO, D. A. PARRA, J. L. PONCHE : Impact des brises thermiques sur le transport des polluants atmosphériques dans la vallée de la ville de Mexico	71
H. QUENOL,S. BRIDIER, G. BELTRANDO : Mise en évidence de la forte variabilité spatiale et temporelle du CO à partir de mesures ponctuelles (itinérantes et statiques) dans les rues de Paris	72
C. ROUILLARD, Y. DJELLOULI : Pollution atmosphérique en milieu urbain : approche épidémiologique des pics de pollution par l'ozone sur la santé dans l'agglomération du Mans	73
S. THIAM, P. SAGNA : Impacts de la pollution de la cimenterie de Rufisque sur la santé des populations : cas des quartiers de Gouye-Moutide	74
1.3.3. Le risque climatologique	
L. APOSTOL : Certains aspects concernant le risque climatique produit par le vent dans les Sous-Carpathes de la Moldavie	77
Y. DJELLOULI, A. SACI : Catastrophe naturelle : les inondations exceptionnelles et dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 de l'algérois (Bab el Oued)	79
D. LAMARRE : Remarques à propos d'une géographie des risques climatiques	79
P. LASSEGUES, B. VINCENDON : Climatologie d'événements « foudre » sur la France et détermination d'une échelle d'intensité	80
J. D. MALOBA MAKANGA : Occurrence des précipitations et des accidents de la route au Gabon	81
Z. NOUACEUR : La tendance des orages et des inondations causées par ce type d'aléa climatique en Haute Normandie : étude statistique et analytique à partir de l'épisode du 6 au 12 mai 2000	82

PARTIE 2 : VARIATIONS DES PRECIPITATIONS

2.1. Tendances temporelles des précipitations

- S. ATTINGER, J. M. FALLOT : Etude des intempéries et des précipitations abondantes en Valais (Alpes suisses occidentales) durant le 20^{ième} siècle 87
- I. HAIDU : A quel point les actuelles tendances pluviométriques pluriannuelles sont-elles significatives ? 88
- M. MEDDI, H. MEDDI : Pluviométrie moyenne annuelle : Choix de la période de référence (Algérie du Nord) 90
- C. NORRANT, A. DOUGUEDROIT : Tendances saisonnières des précipitations et des pressions de surface dans le Bassin Méditerranéen (1915-1988) 91

2.2. Variabilité temporelle des précipitations

- Z. BENZARTI : Intensité horaire de la pluie 93
- M. BERTHELOT, A. GENIN : Variabilité interannuelle des précipitations dans les Alpes du Sud de 1951 à 2000 et analyses statistiques multivariées sur la décennie 1990/2000 93
- P. CAMBERLIN, R. OKOOLA, M. DIOP : Identification des dates de démarrage et de fin de la saison des pluies : applications à l'Afrique de l'Est et au Sénégal 95
- I. MAGGI : Les épisodes de précipitations abondantes dans l'Oltrepò de Pavie et de Plaisance (Italie du Nord) au cours de la période 1951 – 1991 ; analyse spatio-temporelle 96
- S. NDJENDOLE : Précipitations extrêmes sur l'espace centrafricain ; estimation de leur durée de retour 97
- P. POINSOTTE, S. CAVAZA : Rapports probables entre pluie extrême observée et pluie maximale probable ; application à un cas réel : Versilia 1996 97
- S. M. SALL : La pluviométrie et les systèmes convectifs aux alentours des montagnes du Fouta Djallon en Guinée 99
- G. SAMBA, M. MPOUNZA : La variabilité des précipitations saisonnières au Sud du Congo (1950-1998) 99
- J. B. SUCHEL, G. BLANCHET : Les contrastes de la répartition des précipitations dans l'Est du Massif Central français selon les types de régimes perturbés 100
- M. TSALEFAC, T. DJOUMESSI, W. NKWAMBI : Fréquences et quantités des précipitations journalières sur le territoire camerounais 102
- E. VISSIN, M. BOKO, J. PERARD, C. HOUNDENOU : Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du Bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest) 103

2.3. Etude des échos RADAR

- A. ADANE, O. RAAF, R. NAILI, F. YUCEF ETTOUMI, B. HADDAD, H. SAUVAGEOT : Analyse des variations du signal radar à l'échelle de la demi-heure ; estimation des précipitations pour la région de Sétif (Algérie) 105
- B. HADDAD, L. SADOUKI, R. NAILI, A. ADANE, H. SAUVAGEOT : Analyse de la dimension fractale des échos de précipitations : cas des inondations d'Alger 106

N. LEHITHET, F. YOUCEF-ETTOUMI, A. ADANE, H. SAUVAGEOT : Etude du caractère stochastique des précipitations à partir des données RADAR météorologiques	107
A. NZEUKOU, H. SAUVAGEOT, F. KEBE, D. BADIANE : Ergodicité du champ de précipitation sur la côte sénégalaise	109

PARTIE 3 : VARIATIONS TEMPORELLES DES TEMPERATURES

3.1. Tendances des températures

D. DUMAS, C. ANTUNES : Evolution des températures dans les Alpes du Nord depuis 1960 ; influence des facteurs locaux	113
J. LITYNSKI, C. GENEST, F. BELLEMARE : Fluctuations du climat dans l'Arctique durant le xx ^{ème} siècle	114
M. MPOUNZA, G. SAMBA, M. MASOENGU : L'évolution des températures au sud du Congo (1950-1998)	115
P. PAUL, I. HAIDU : La variation de la température de l'air dans la région de Strasbourg ; changement climatique ou effet de l'urbanisation ?	115
L. WAHL : Analyse du réchauffement contemporain et des types de temps observés dans le NE de la France et le SO de l'Allemagne de 1980 à 2000	116

3.2. Environnement et variations séculaires des températures

C. BEGEOT : Impact des changements climatiques passés sur l'évolution de la végétation du massif jurassien central	119
O. GIRARD-CLOS, C. BOURQUIN-MIGNOT : impact du climat sur la croissance du hêtre dans les Pyrénées occidentales depuis la fin du Moyen Age	120
O. PEYRON, J. GUIOT, D. JOLLY, A. DE VERNAL : Quantifier le climat du passé à partir de données paléo-environnementales : l'Europe et l'Afrique il y a 18000 et 6000 ans, l'Atlantique Nord de 25000 ans à nos jours	121

PARTIE 4 : CLIMATOLOGIE A ECHELLE REGIONALE

4.1. Précipitations, vents

C. FOUCHIER, B. SOL, J. LAVABRE, Y. GREGORIS, C. DESOUCHES : Prédétermination régionale des pluies d'occurrence fréquente à rare ; application sur le pourtour méditerranéen français	125
D. JOUAN : Les indicateurs climatiques de grande échelle et la variabilité des tempêtes sur le territoire français	126
R. JUVANON DU VACHAT : Le système mondial d'observation du climat	127
H. KUTIEL, I. HELFMAN : Oscillation Centre Africaine-Caspienne (OCAC) : une téléconnexion atmosphérique influençant la Mer Rouge et ses environs	129
P. MAHERAS, M. VAFIADIS, F. KOLYVA-MACHERA, C. ANAGNOSTOPOULOU, K. TOLIKA : Les champs des anomalies pluviométriques durant la saison humide en Grèce et leurs relations avec le géopotiel à 500 hpa	129
T. MELKI, Y. CHARABI, S. BIGOT : Caractérisation des vents de sables en Tunisie à partir des mesures in-situ et de l'imagerie NOAA-AVHRR	130

4.2. Etat de surface, évapotranspiration

J. L. CHAMPEAUX, V. MASSON : <i>ECOCLIMAP</i> : une base de données globales de paramètres de surface à la résolution kilométrique et son utilisation dans les modèles météorologiques	133
L. JAEGER : Le dilemme de la détermination de l'évapotranspiration	134
C. LE MOULLEC, G. BELTRANDO : Estimation de l'etp PENMAN avant et après la mise en eau du futur lac des Côtes de Champagne (Marne) ; Différences en fonction des valeurs minimale et maximale de l'albédo par type d'occupation du sol	135
A. A. VIAU, K. S. HAN: Intégration des images GOES et NOAA pour les applications hydrométéorologiques	136
Table des matières	139

Imprimé par l'imprimerie
commune
de l'Université de Franche-Comté
25030 BESANÇON Cedex

Dépôt légal 4e trimestre 2002
Imprimeur N° 493

