

ANALYSE CRITIQUE SUR LES TENDANCES PLUVIOMÉTRIQUES AU 20^{ème} SIECLE EN BASSE- NORMANDIE : RÉFLEXIONS SUR LA FIABILITÉ DES DONNÉES ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

O. CANTAT

*U.F.R. de Géographie, Géophen, UMR 6554 CNRS LETG
Université de Caen Basse-Normandie cantat@geo.unicaen.fr*

Résumé

Les archives climatologiques permettent d'analyser l'évolution des précipitations sur quelques sites de Basse-Normandie depuis la fin du 19^{ème} siècle. Mais l'historique des différents postes révèle de nombreux facteurs directs et indirects de « dérive » pluviométrique qui entraînent une certaine hétérogénéité dans ces séries. La fragmentation spatiale et temporelle des séries nuit alors à la mise en évidence de l'évolution pluviométrique à long terme, et a fortiori sa modélisation. Lorsque les séries comportent trop de lacunes, la reconstitution devient délicate et les valeurs nécessairement plus incertaines... Ainsi, en appliquant le « principe de précaution » à la qualité des données, l'examen des cumuls pluviométriques annuels dans la région de Caen s'est limité aux années postérieures à 1926. Pour la période « sûre » 1927-2000, on ne discerne pas de tendances particulières (- 0,012 mm/an). Si nous avons considéré l'ensemble du 20^{ème} siècle, nos conclusions auraient été toute autres en raison de la sous évaluation chronique des précipitations avant 1927 qui crée artificiellement une nette tendance croissante (+ 0,478 mm/an). Au pas de temps mensuel, en revanche, l'analyse révèle pour la décennie 1991-2000 une nette augmentation de la fréquence des mois pluvieux et des mois secs, avec respectivement 31,7% et 29,2% au lieu des 25% théoriques (quartiles supérieur et inférieur) pour l'ensemble des 74 années de référence.

Mots-clés : changement climatique, évolution régionale, fiabilité des données, variabilité, tendance, précipitations, Basse-Normandie.

Abstract

**Critical analysis of rainfalls trends during the 20th century in Low-Normandy.
Considerations about reliability of data and climate change.**

Climatic records allow to analysis the evolution of rainfalls over some sites of Low-Normandy since the end of the 19th century. But the historical records of different weather stations reveal many direct and indirect factors of rainy drift which lead to a certain heterogeneity of data sets. This spatial and temporal fragmentation doesn't allow underlining objectively trend over a century. When data sets include too many deficiencies, the homogenization of long series of climatological data becomes difficult and the results very risky. For the example of Caen, the analysis confines itself to the period 1927-2000. During these last 74 years, we don't see particular trends (-0.012

mm/year). In return, if we take the 20th century entirely, the conclusions are totally different with an increase of 0.478 mm/year. These contradictions are the result of the non reliability of data before 1927 and their decrease (important reconstitution due to 48% of deficiencies). Inversely, monthly scale shows significant increase of the frequency of rainy and dry months during the last decade 1991-2000, with respectively 31.7% and 29.2% instead of the theoretical 25% (upper and lower quartiles) for this period of 74 years.

Keywords : climate change, regional evolution, validity data, variability, trend, rainfalls, Low-Normandy.

Introduction

Les précipitations constituent la variable climatique la plus anciennement et la plus couramment enregistrée. Pour ces raisons, elles sont un précieux indicateur pour étudier l'évolution du climat. Mais derrière l'attrait des longues séries pluviométriques parfois disponibles, quelles sont les limites dans l'interprétation de ces valeurs ? Données manquantes, changement de matériel, déplacements et fermetures de postes occasionnent de nombreuses ruptures de continuité dans les séries, ce qui ne facilite pas le travail du climatologue... Pour pallier ces problèmes, depuis quelques années un effort considérable a été entrepris à Météo-France pour constituer une base de séries mensuelles de températures et de précipitations en France. Mais quelle est la marge d'erreur du modèle d'homogénéisation ? Peut-on interpréter en terme de tendances sur le long terme des séries issues d'une forte reconstitution ? Dans un premier temps, nous nous interrogerons sur la fiabilité des séries et le travail de reconstitution. Dans un deuxième temps, nous expliquerons comment nous avons choisi une station de référence et sur quelle période nous travaillerons. Enfin, d'un point de vue climatique, il conviendra de distinguer ce qui revient au caractère changeant mais « normal » du climat (variabilité) et ce qui pourrait s'interpréter comme un changement climatique (variation). Les précipitations en Basse-Normandie au cours du 20^{ème} siècle, et plus précisément la série mensuelle continue de 1888 à nos jours disponible sur Caen, illustreront notre propos.

1. Quelques réflexions préliminaires à propos de la fiabilité des séries climatiques

« Les études des variations climatiques à long terme doivent s'appuyer sur des séries exemptes de données manquantes et d'hétérogénéité » (Bigot, 2002). Cette affirmation constitue le fondement même sur lequel repose la crédibilité de toute analyse sur les changements climatiques. Comme il n'existe pas de série de données parfaitement fiables et continues, une part d'incertitude demeurera toujours dans la quantification des évolutions climatiques... Pour minimiser cette « inconnue », les statistiques permettent de construire des outils

capables de combler les lacunes d'observations et de vérifier la fiabilité des données. La validation statistique des séries temporelles est donc le préalable fondamental pour établir une recherche objective à partir des bases de données climatiques fournies par divers organismes.

1.1 La détection des discontinuités temporelles dans les séries climatiques

Les logiciels de détection des discontinuités temporelles s'appuient sur l'usage de divers tests que l'on peut classer en quatre groupes principaux : tests d'ajustement, de conformité, d'autocorrélation et d'homogénéité. Ces tests ne détectent pas des « erreurs » mais relèvent, en fonction d'un seuil de détection donné, des anomalies par rapport à des hypothèses de distribution statistique. A Météo-France, la Direction de la Climatologie procède actuellement à l'homogénéisation des séries pluviométriques et thermiques centenaires (programme Prodiges : recherche de données anciennes et homogénéisation). Ce travail repose sur l'adaptation des recherches récentes de Mestre (2000), elles-mêmes inspirées de la règle bayésienne invariante optimale, dite de Causinus et Lyazrhi (1997). Cette nouvelle méthodologie détecte un nombre inconnu de ruptures et de points aberrants dans un échantillon gaussien et permet ensuite de définir un nouveau modèle de correction. Grâce à ces traitements, les longues séries proposées par Météo-France se prêtent mieux à une analyse évolutive (Moisselin *et al.*, 2002). Cependant, ces procédures automatisées présentent aussi des limites. Pour une même série, excepté pour les ruptures visibles « à l'œil nu », l'emploi des différentes méthodes de détection des discontinuités temporelles ne donne pas toujours des résultats identiques (dates charnières différentes)... Par ailleurs, d'un point de vue appliqué, l'outil statistique n'est pas conçu pour déterminer la cause de ces ruptures : naturelles - significatives d'un changement climatique réel – avec une modification généralement lente et progressive des variables climatiques, ou artificielles - pouvant être considérées comme un artéfact de la chronique - matérialisées par des ruptures plus franches ? Là intervient la connaissance des métadonnées, c'est-à-dire des « données qui décrivent les données ».

1.2 Les diverses causes de discontinuité temporelle dans les séries climatiques

1.2.1 les risques de discontinuité dans la chaîne d'acquisition des données

Il existe quatre phases durant lesquelles peut survenir le « parasitage » des séries climatiques : lors de la mesure, lors de la transmission, lors du stockage et/ou lors du traitement des données. L'ensemble des travaux effectués à ce sujet met en évidence le rôle essentiel du stade de la mesure pour expliquer les discontinuités temporelles. Le changement d'emplacement de la station serait la cause majeure à l'origine des ruptures d'homogénéité statistique pour les précipitations, mais aussi pour les températures et la force du vent (Heino, 1996).

Ces constats illustrent l'importance capitale de l'archivage des métadonnées stationnelles (changements des caractéristiques instrumentales et environnementales du site) pour pouvoir interpréter convenablement les ruptures d'homogénéité des séries climatiques. Ceci explique l'effort de collecte des données et des métadonnées anciennes par Météo-France pour mieux cerner la diversité régionale des évolutions du climat. La dispersion, et parfois même la disparition des archives (destruction du support papier lors de la fermeture de la station ou de la retraite du technicien), constituent alors des pertes d'informations essentielles et irremplaçables.

1.2.2 l'influence des facteurs géographiques locaux sur l'homogénéité des séries

Dans les milieux soumis à d'importantes mutations paysagères, la modification des facteurs géographiques locaux peut induire des dérives parfois supérieures aux tendances naturelles (Escourrou, 1981). Les études de climatologie urbaine prouvent à quel point le développement des surfaces et des volumes bâtis altère le bilan d'énergie et le bilan d'eau local (Escourrou, 1991). En France, comme dans beaucoup de pays à travers le monde, nombre de stations à l'origine rurale sont aujourd'hui en position péri-urbaine, voire intra-urbaine. Les conséquences climatiques du changement des facteurs géographiques locaux viennent alors se greffer sur des évolutions régionales réelles. Une connaissance précise de l'évolution du contexte géographique général et du site de la station météorologique permet ainsi d'expliquer des contrastes climatiques spectaculaires mais totalement indépendants du *Global Change* ou d'une modification régionale de la circulation atmosphérique générale. A Paris, par exemple, la présence de l'« îlot » de chaleur urbain nocturne provoque une réduction par deux du nombre de jours de gelées (30/60) et une disparition quasi-totale des brouillards dans le centre de l'agglomération (Cantat, 2004)...

1.3 La reconstitution des séries climatiques

En remontant dans le temps, le taux de remplissage des bases de données présente souvent des faiblesses qu'il faut combler artificiellement : la reconstitution s'effectue à partir de diverses procédures fondées sur des lois mathématiques et les relevés des stations voisines.

D'un point de vue statistique, les méthodes de comblement permettent « *de remplacer les valeurs manquantes par des estimations présentant des qualités (vraisemblance) et des indices de confiance (variance d'estimation), mais toujours sous réserve de validité du modèle statistique retenu* » (Laborde, 2002). D'un point de vue spatial, ces méthodes qui reposent sur le caractère a priori semblable de la pluviométrie dans un espace proche de la station de référence comportent des « risques » puisque, au gré de la topographie et de la nature des masses d'air, la proximité géographique n'est pas forcément le critère le plus pertinent à prendre en compte (Cantat et Brunet, 2001). Ces remarques

techniques et géographiques rappellent clairement, s'il en était encore besoin, que rien ne peut remplacer les mesures « vraies »...

Au total, les chaînes de travail pour la détection des anomalies et le comblement des lacunes permettent d'éliminer une grande part des variations artificielles dans les séries climatiques. Cependant, « *l'objectivité de ces outils n'est qu'interne à la modélisation statistique des phénomènes* » (Laborde, 2002) : quelque soit l'amélioration des sciences et des techniques, aucun procédé ne pourra jamais retrouver « exactement » les mesures manquantes ou erronées. C'est pourquoi, même après correction, Météo-France estime actuellement à 10% l'ordre de grandeur des variations résiduelles possibles, soit l'équivalent des plus fortes tendances enregistrées sur un siècle (Moisselin *et al.*, 2002)... Pour garantir le minimum d'incertitudes lors de l'interprétation des séries, il est donc nécessaire de travailler à partir de chroniques certifiées (bases de données *Banques Pluvio* et *Transclim* de Météo-France, par exemple), enregistrées sur des sites stables du point de vue des protocoles de mesures et des conditions d'observation (matériel homologué, absence de déplacement des postes, préservation des conditions de sites). Ensuite, en fonction des objectifs de recherche, le climatologue pourra opter soit pour les données originelles, soit pour des séries homogénéisées... Mais rappelons-le, comme le souligne Bigot (2002) dans son article de synthèse sur la détection des discontinuités temporelles au sein des séries climatiques, « *rien n'est plus dramatique pour le climatologue que d'obtenir des séries corrigées, homogénéisées, sans retour possible en arrière lorsqu'on ne connaît ni les procédures utilisées ni les données sources* ».

2. Approche qualitative des longues chroniques pluviométriques en Basse-Normandie

Ces quelques réflexions préliminaires incitent donc à beaucoup de prudence dans le choix des données à valider pour constituer une « série de référence ». Dans la mesure où le climatologue dispose de métadonnées pouvant permettre une interprétation géo-historique des séries, n'est-il pas, parfois, plus souhaitable de travailler sur les données originelles que sur des séries homogénéisées ? Une « expertise » métrologique et géographique des données disponibles en Basse-Normandie guidera notre sélection.

2.1 Le choix de la station de référence bas-normande

2.1.1 L'historique des postes pluviométriques

En Basse-Normandie, l'historique des postes pluviométriques démontre l'existence des premières mesures disponibles peu avant 1870 (figure 1). Les données les plus anciennes sont celles de Caen (1865) pour le département du Calvados, d'Alençon (1865) pour l'Orne et de Mortain (1861), St-Lô (1865) et Ste-Marie-du-Mont (1868) pour la Manche.

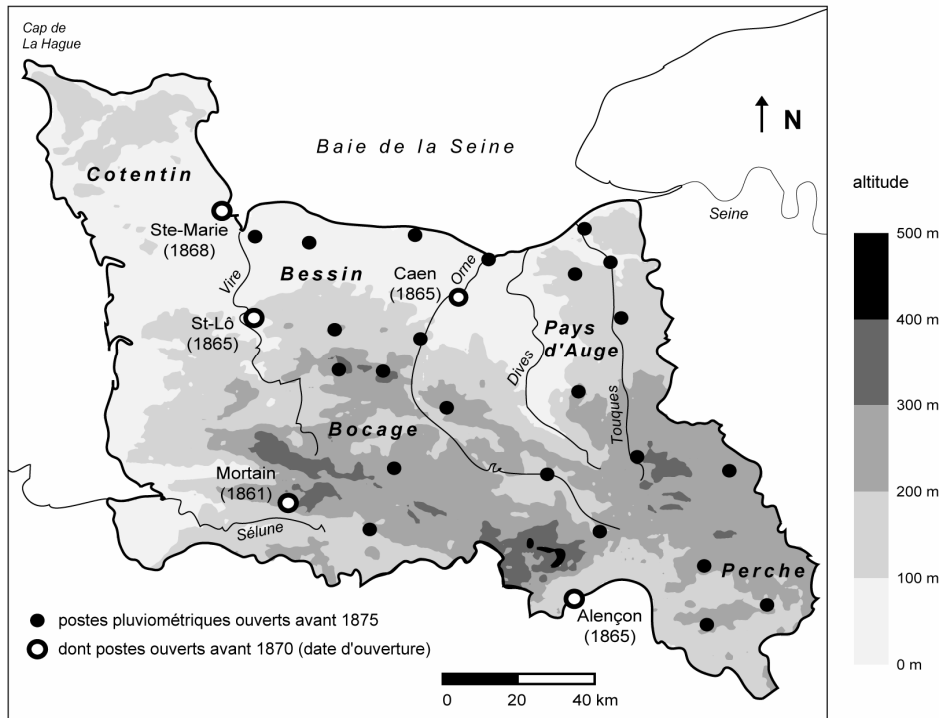


Figure 1 : Cadre géographique et emplacement des plus anciens postes pluviométriques en Basse-Normandie. *Main geographical components and localization of old climatological measurements in Low-Normandy.*

La fermeture ou le déplacement des « vieux » postes empêchent malheureusement la constitution de très longues séries climatiques. Ainsi, aucune des stations météorologiques bas-normandes évoquées précédemment n'est encore en service actuellement. Le plus ancien poste « fixe et continu » est celui d'Auderville, ouvert en 1921 (sémaphore de la Hague, pointe nord-ouest du Cotentin).

La figure 2 traduit les changements d'emplacements et l'évolution du nombre de postes pluviométriques maintenus en service continu depuis le début du siècle. La région ne dispose pas de série séculaire « vraie » mais, pour analyser l'évolution sur un demi-siècle, on dénombre 11 postes répartis de façon assez homogène dans les trois départements (Manche, Orne et Calvados). La courbe traduit bien aussi la politique de densification et de pérennisation du réseau de mesures entreprise par Météo-France depuis plus de trente ans, ce qui permet une approche plus exhaustive de l'évolution du champ pluviométrique. Sur les 137 postes pluviométriques actuellement en service en Basse-Normandie, 84 possèdent ainsi une ancienneté supérieure ou égale à dix ans (décennie 1991-2000 complète). Pour les trente dernières années, la normale

climatique est maintenant disponible pour 30 postes représentatifs des différentes unités climatiques de la région, de la variante très océanisée du nord Cotentin aux tendances plus continentales du Perche (Escourrou, 1978).

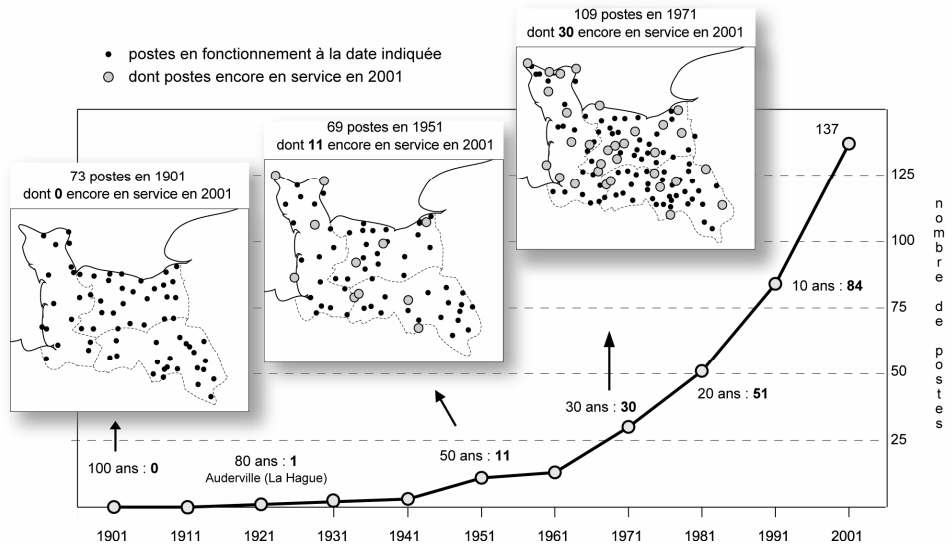


Figure 2 : Evolution de la localisation et du nombre de postes pluviométriques en fonctionnement continu en Basse-Normandie entre 1901 et 2001. *Evolution of localization and number of rainy stations in continuous working in Low-Normandy between 1901 and 2000.*

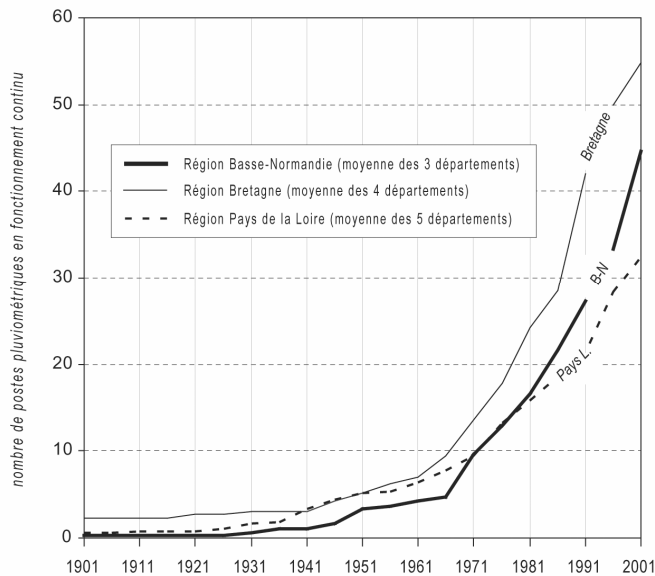


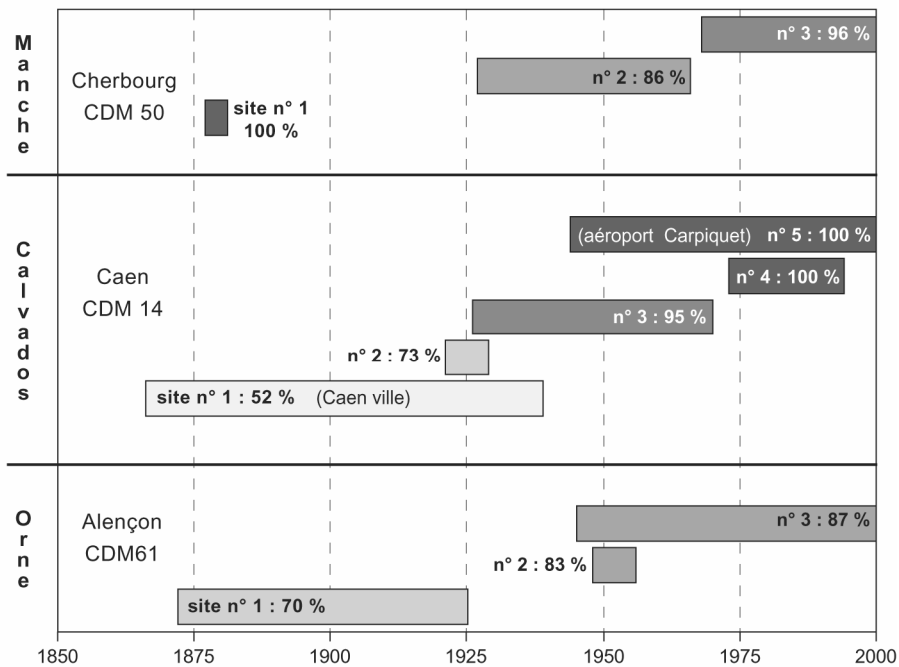
Figure 3 : Evolution entre 1901 et 2001 du nombre de postes pluviométriques toujours en fonctionnement en 2001 dans l'Ouest de la France. *Evolution between 1901 and 2001 of the number of rainy stations always in continuous working in west of France.*

La situation en Basse-Normandie est représentative de l'ensemble de l'Ouest de la France. L'évolution du nombre de postes pluviométriques est quasi identique pour les régions Bretagne et Pays de la Loire, avec une nette augmentation à partir des années 1970 (figure 3).

2.1.2 la « qualité » des longues séries pluviométriques disponibles

L'utilisation des longues séries bas-normandes pose des problèmes en raison du grand nombre de données manquantes (taux de remplissage et interruption des mesures), des différences de matériels et des changements de sites pour une même station. Pour illustrer ces restrictions, voici l'exemple des trois Centres Départementaux Météorologiques (CDM) bas-normands (figure 4) :

- changements de sites : 5 pour Caen, 3 pour Alençon et Cherbourg ;
- taux de remplissage de la base de données : 14% de données manquantes à Cherbourg entre 1927 et 1966, 30% à Alençon entre 1872 et 1925 et 48% à Caen entre 1865 et 1939... ;
- coupures chronologiques entre différents sites pour une même station : 20 ans à Alençon entre 1925 et 1945, 46 ans à Cherbourg entre 1881 et 1927.



(l'intensité de gris indique le taux de remplissage croissant de la base de données)

Figure 4 : Historique des 3 centres météorologiques départementaux de Basse-Normandie entre 1850 et 2000 (sites successifs, durée et taux de remplissage des bases de données). *Historical records of the 3 departmental meteorological centres of Low-Normandy between 1850 and 2000.*

Même s'il existe quelquefois des postes « continus » plus anciens que les CDM - comme Auderville, ouvert depuis 1921 mais avec 10% de données manquantes toutefois -, nous privilégierons ces derniers car la présence permanente de personnel qualifié et le contrôle des « facteurs environnementaux » assurent a priori une plus grande représentativité et une meilleure homogénéité aux relevés.

Ainsi, ne serait-ce que par la fragmentation spatiale et temporelle des séries, toute tentative de mise en évidence de l'évolution pluviométrique à long terme, et a fortiori sa modélisation, paraît être une entreprise délicate. Les données de Caen permettent cependant une lecture « raisonnable » du long terme, au moins depuis 1927, grâce à un fort taux de remplissage de la base de données et au recouvrement partiel des mesures entre les différents sites.

2.2 Test d'homogénéité de la série pluviométrique de Caen

Au terme d'une longue collecte d'informations dans diverses archives et d'un minutieux travail de reconstitution, le centre départemental de Caen a pu proposer dans les années 1980 une série pluviométrique mensuelle complète de 1888 à nos jours. Pour produire cette base de données continue, en raison des lacunes et des changements de postes évoqués précédemment, un traitement sur les données a été nécessaire. Avant d'interpréter ces données, il convient de tester leur homogénéité. Dans notre cas, un indicateur statistique « simple » met en évidence une rupture de continuité (figure 5).

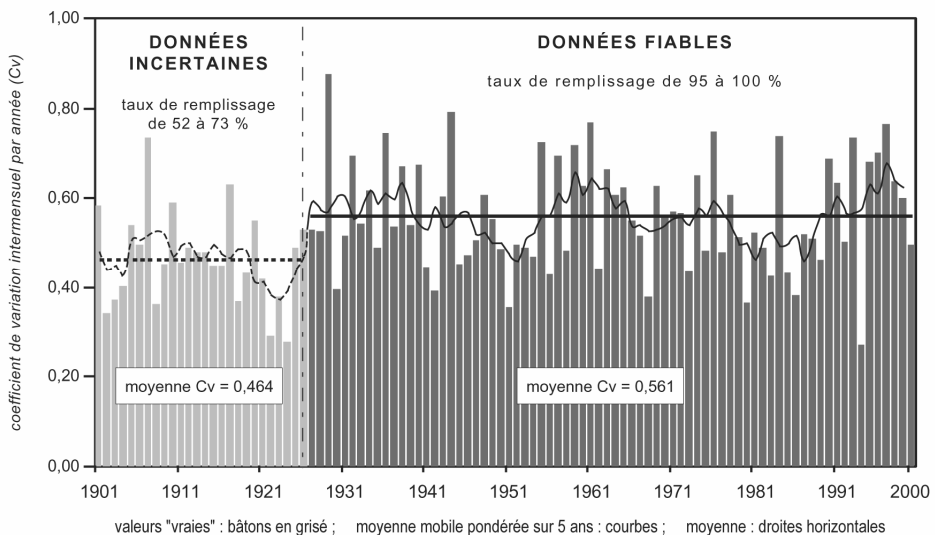


Figure 5 : Evolution annuelle du coefficient de variation intermensuel de la pluviométrie à Caen entre 1901 et 2000. *Evolution of inter monthly variation coefficient of rainfalls in Caen between 1901 and 2000.*

Le coefficient de variation (Cv) de la pluviométrie mensuelle entre 1901 et 2000 montre une augmentation nette à la fin des années 1920 : les données les plus anciennes présentent un déficit moyen significatif du Cv, avec une valeur de 0,464 pour 1901-1926 contre 0,561 pour 1927-2000. La courbe lissée confirme indubitablement la présence de deux « populations » différentes (moyenne mobile pondérée de Spencer d'ordre 15). Comment expliquer cette discontinuité majeure ? Réalité climatique ou difficulté du travail de reconstitution, notamment lorsque la base de données comporte beaucoup de lacunes ? Il est difficile de trancher catégoriquement. Rappelons toutefois que cette période se rapporte au plus faible taux de remplissage de la base de données (52%). De ce fait, la fiabilité de la reconstitution devient plus problématique. Mais comment pourrait-il en être autrement avec presque une donnée manquante sur deux ? Les séries voisines peuvent aider à combler les « trous » mais elles sont elles-mêmes soumises à des lacunes comme l'ont été toutes les stations françaises dans les années 1920 et les périodes de guerre. Il est probable que les phénomènes pluviométriques forts aient été sous-évalués, ce qui entraîne la réduction de l'amplitude annuelle et donc une diminution du coefficient de variation.

Pour le haut degré de précision nécessaire à la recherche de tendances sur le long terme, une absence de données nous apparaît ici préférable à une donnée « incertaine ». Ainsi, la période 1901-1926 ne sera pas intégrée dans les calculs car ces données pourraient provoquer artificiellement des tendances non significatives climatiquement. De 1927 à nos jours, au-delà de la grande variabilité du coefficient de variation, l'absence de rupture apparente parmi ces oscillations tend à confirmer l'homogénéité de la série. Le taux de remplissage très élevé de la base de données (95% entre 1927 et 1944 ; 100% après 1944) conforte cette hypothèse. Par ailleurs, les conséquences du transfert de la station intra-muros de Caen (site n° 3, La Maladrerie) vers les installations de l'aéroport de Carpiquet (site n° 5, environ 5 km à l'Ouest) sont contrôlables grâce à plus de 20 ans de mesures simultanées pour ces deux postes (de 1947 à 1970).

2.3 La représentativité géographique des données ponctuelles de Caen

A partir de la matrice croisée des corrélations sur les 84 postes pluviométriques en fonctionnement continu sur la décennie 1991-2000, une analyse du champ pluviométrique mensuel montre que les tendances mises en évidence d'après la longue série de Caen sont a priori représentatives d'une grande partie de la Basse-Normandie. Les cartes de corrélation spatiale tracées pour chaque CDM révèlent ainsi l'homogénéité spatio-temporelle des entités climatiques (figure 6). Il s'agit ici de caractériser la ressemblance d'évolution inter-journalière des précipitations et non pas leurs quantités qui dépendent, elles, fondamentalement de l'altitude et de l'exposition aux flux pluvieux (figure 7).

La représentativité géographique des données stationnelles de Caen s'étend à l'essentiel du département du Calvados, en allant du Bessin au Pays d'Auge, en passant par le nord du Bocage et la Plaine de Caen. Les aires de Cherbourg et Alençon complètent les secteurs laissés en marge par Caen, avec au nord-ouest le Cotentin et au sud-est le Perche dont les comportements pluviométriques inter-journaliers diffèrent quelque peu en raison de l'éloignement avec Caen et des facteurs géographiques locaux (Trzpit, 1970).

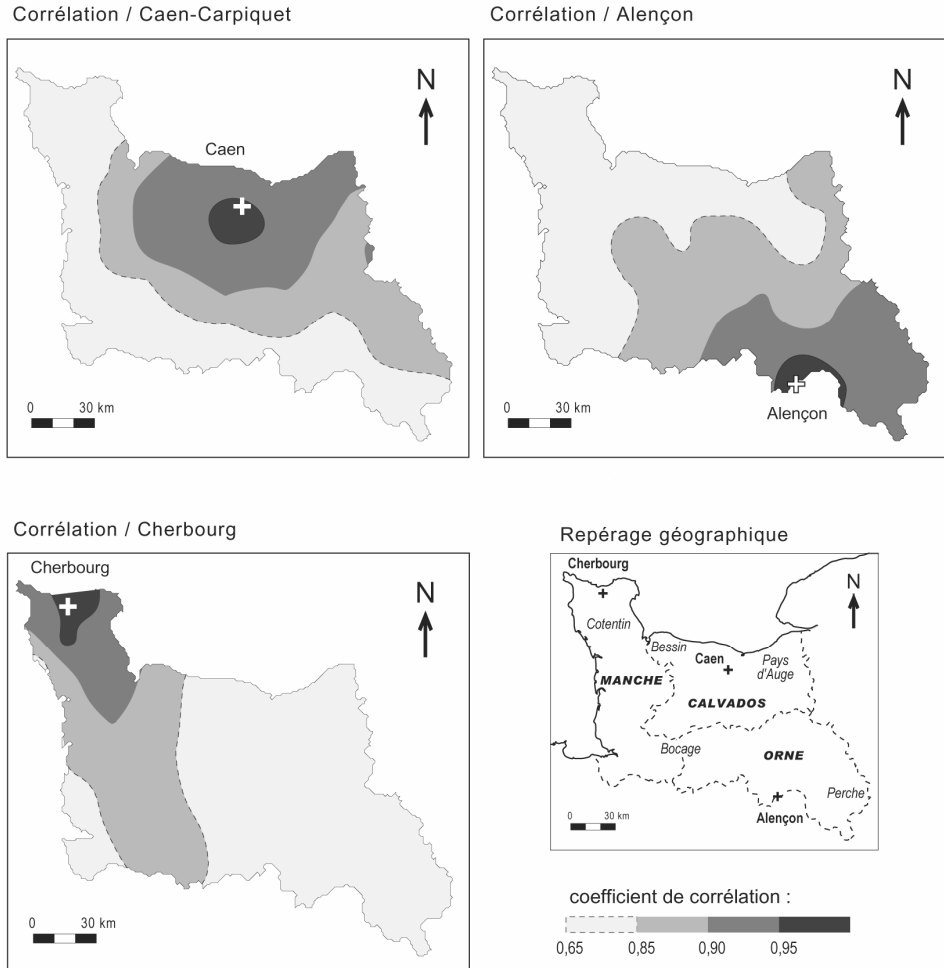


Figure 6 : Représentativité géographique de la pluviométrie des 3 Centres Départementaux Météorologiques de Basse-Normandie (1991-2000). *Rainy influences areas of the 3 DMC of Low-Normandy (1991-2000).*

En définitive, l'analyse de l'évolution des précipitations en Basse-Normandie au cours du 20^{ème} siècle se fera à partir de la série reconstituée de Caen 1888-2000, mais les calculs de tendance seront limités à la période a priori « sûre » 1927-2000, soit 74 années consécutives.

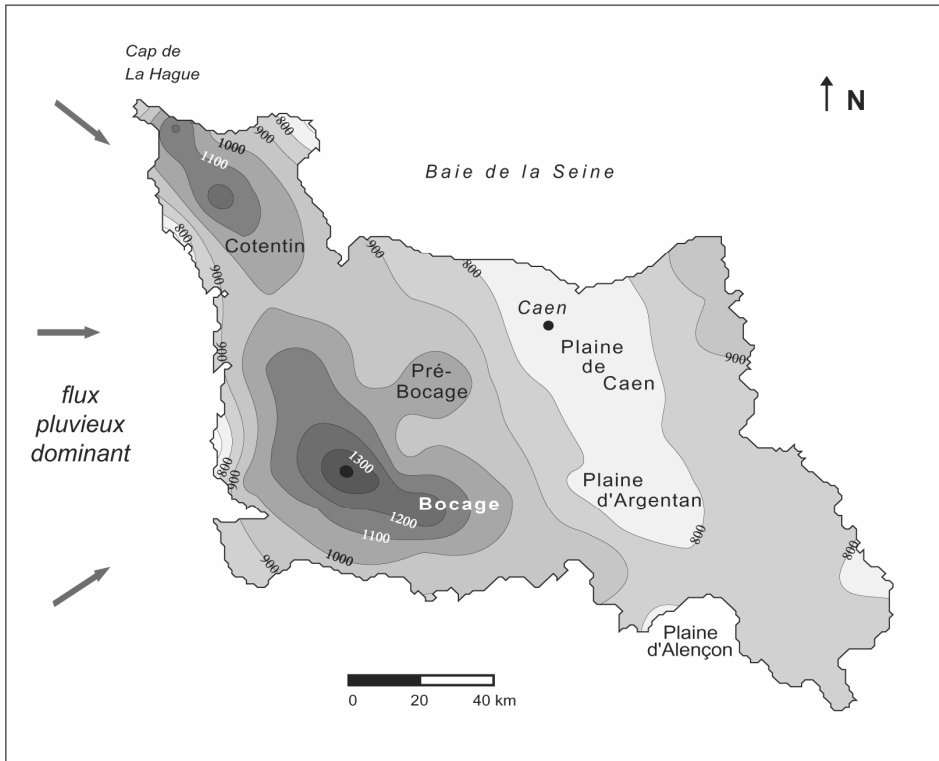


Figure 7 : Répartition de la pluviométrie annuelle en Basse-Normandie (1991-2000).
Map of yearly rainfalls in Low-Normandy (1991-2000).

3. Les enseignements de 100 ans de précipitations en Basse-Normandie

La marge d'erreur incompressible de 5 à 10% sur la détermination des cumuls annuels reconstitués est sans conséquence majeure pour retracer les principaux épisodes marquants de la pluviométrie au cours du 20^{ème} siècle dans la région de Caen (figure 8). En effet, qu'il soit tombé 350 ou 400 mm en 1921, ou à l'opposé 1000 ou 1100 mm en 1910, cela ne change pas fondamentalement les données du problème pour caractériser ces années-là d'exceptionnellement déficitaire ou excédentaire. L'ampleur des conséquences hydrologiques, agricoles et environnementales (sécheresses et inondations) témoignent de ces conditions pluviométriques très excessives. Pour l'historien, le géographe ou l'économiste devant prendre en compte le rôle des conditions climatiques pour expliquer le déroulement d'une période donnée, une précision millimétrique, et même déca-millimétrique, n'est pas indispensable. En revanche, cette même marge d'erreur devient rédhitoire pour le climatologue qui cherche à mettre en évidence une tendance séculaire. A chaque usage correspond un degré de précision de la donnée qui détermine lui-même la pertinence des conclusions...

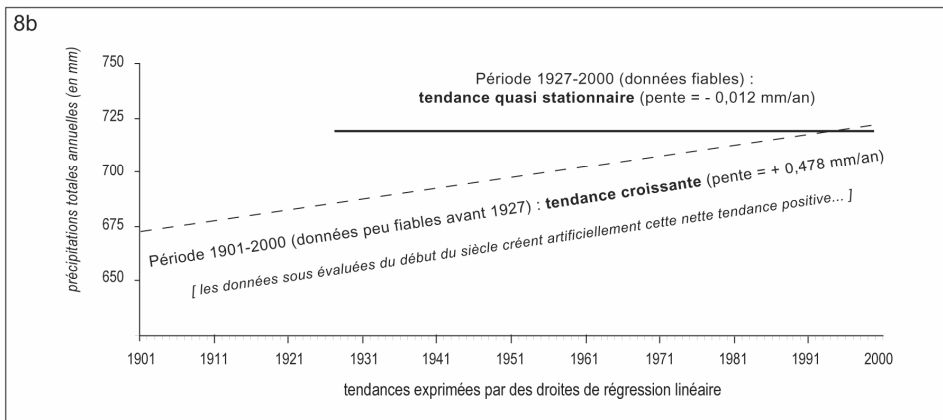
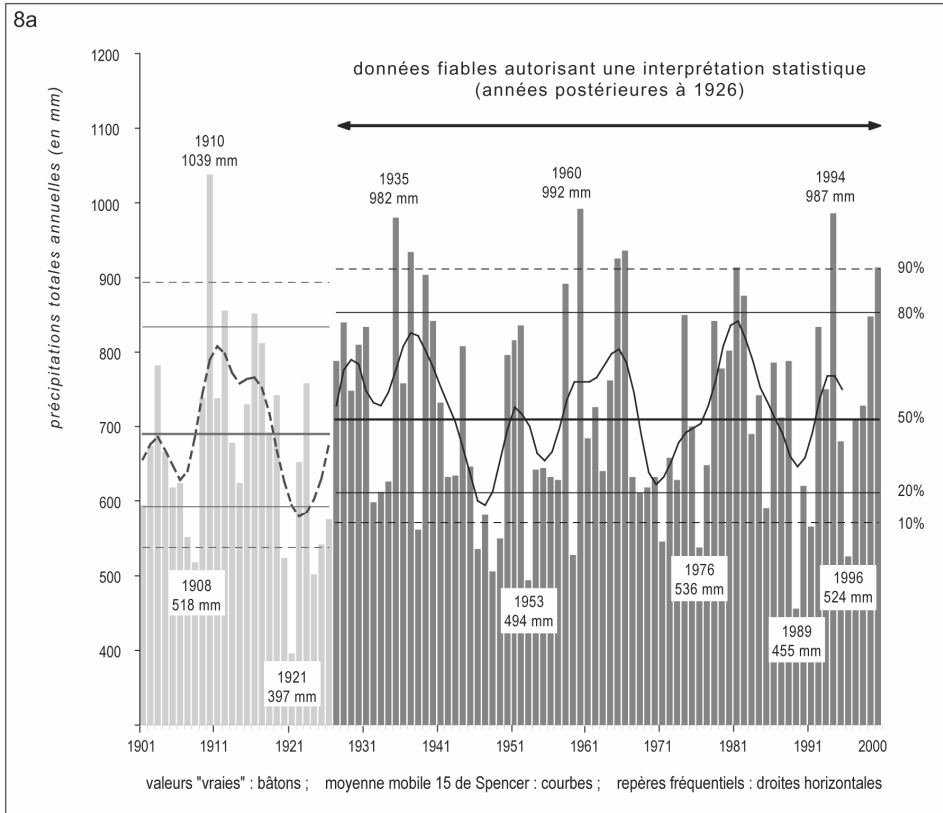


Figure 8 : Evolution des précipitations annuelles à Caen entre 1901 et 2000. *Evolution of yearly rainfalls in Caen during the 20th century.*

3.1 De la variabilité à la variation pluviométrique...

Dans le cadre d'une approche globale de la pluviométrie sur l'ensemble du 20^{ème} siècle, la comparaison des cumuls annuels met avant tout en évidence la très grande variabilité de ce paramètre : à Caen, les valeurs oscillent fréquemment entre 500 et 1000 mm, soit du simple au double. Les « Grandes Années », sèches (1921, 1976, 1989...) ou pluvieuses (1910, 1935, 1960, 1994...), ressortent clairement de cette chronique séculaire. Pour la période aux données incertaines du début du siècle (en grisé clair), on observe un net décrochement des repères fréquentiels, ce qui matérialise clairement la rupture statistique évoquée précédemment (avec la date charnière de 1927, figure 5), mais n'empêche nullement le rattachement à une année sèche ou pluvieuse de chacun de ses constituants.

Autre élément notable de cette chronique, la succession totalement aléatoire et à très peu d'intervalle de temps d'années très contrastées : 1908 (508 mm) / 1910 (1039 mm) ; 1959 (528 mm) / 1960 (992 mm) ; 1994 (987 mm) / 1996 (524 mm). On observe également des « blocs » de 2 à 5 années excédentaires (1965-1966 ; 1977 à 1982 ; 1999-2000) ou déficitaires (1920-1921 ; 1924 à 1926 ; 1947 à 1950 ; 1989 à 1991). En terme de variabilité interannuelle, l'énumération de ces quelques exemples montre que l'on ne peut pas parler de *changement de climat* puisque ce qui s'est produit ces dernières années a déjà eu lieu par le passé... La moyenne mobile de Spencer (établie sur un pas de temps de quinze années glissantes) facilite la lecture d'ensemble du document. Cette courbe présente quatre pics majeurs (vers 1910, dans le milieu des années 1930 et 1960 et au début des années 1980) et, inversement, quatre creux (au début des années 1920, au milieu des années 1940 et à la fin des années 1960 et 1980). Dans ce contexte de très fortes fluctuations par rapport à la valeur médiane (environ 700 mm), il est bien difficile de dégager des tendances et des cycles...

3.2 La recherche des principales tendances pluviométriques à Caen au cours du 20^{ème} siècle

3.2.1 tendances sur les cumuls pluviométriques annuels

Sur l'ensemble du 20^{ème} siècle, une nette tendance croissante apparaît avec en moyenne + 0,478 mm/an (figure 8b). Cette valeur est de l'ordre de grandeur de celle annoncée par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC, ou IPCC en anglais) dans son troisième rapport adopté à Shanghai en janvier 2001. Le texte mentionne une augmentation de 0,5 à 1% par décennie du cumul annuel sur le 20^{ème} siècle aux moyennes et hautes latitudes continentales de l'hémisphère nord (Houghton *et al.*, 2001). Problème pour Caen, cette croissance semble créée par les données vraisemblablement sous évaluées de 1901 à 1926 qui font « pivoter » artificiellement la droite de régression.... En se limitant aux données pluviométriques fiables, c'est-à-dire lorsque la base de données possède un taux de remplissage supérieur ou égal

à 95%, nous n'observons quasiment plus de variation (- 0,012 mm/an pour la période 1927-2000).

3.2.2 tendances sur le nombre de mois pluvieux et de mois secs par an

Une année n'étant pas un bloc homogène, la seule chronique des cumuls pluviométriques annuels n'est pas représentative du climat « vécu » et de son éventuelle évolution à l'échelle saisonnière. En Normandie, combien d'années globalement peu pluvieuses ont cependant connu de graves inondations, comme en 1995 par exemple (Cantat et Gires, 1996). Cette constatation va dans le sens d'une augmentation hivernale et d'une réduction estivale des précipitations observées dans l'ouest de la France ces dernières décennies. Dans le cadre de cet article, nous limiterons notre attention à l'évolution annuelle des contrastes entre mois secs et mois pluvieux (figure 9).

Le traitement s'appuie sur une analyse fréquentielle de l'échantillon des 888 mois consécutifs, de janvier 1927 à décembre 2000. Pour disposer d'un nombre de cas suffisant, les premier et troisième quartiles ont été choisis comme seuil pour qualifier un mois comme « secs » ou « pluvieux », indépendamment de la saison. D'un point de vue statistique, l'année-type enregistre donc trois mois « secs », trois mois « pluvieux » et six mois « moyens » (précipitations mensuelles comprises entre Q1 (25%) et Q3 (75%), soit ici entre 31,9 et 80,4 mm). D'après ce graphique, la variabilité est toujours de règle, avec des séquences à dominantes pluvieuses accompagnées d'un faible nombre de mois « secs » (début des années 1980), et inversement des séquences sèches comportant quelques mois « pluvieux » (début des années 1970) (figure 9a).

La dernière décennie (1991-2000) présente la particularité de cumuler à la fois une fréquence élevée de mois « pluvieux » (31,7%) et de mois « secs » (29,1%) (figure 9b). Si la variabilité demeure, elle se cantonne ici constamment au-dessus de la valeur moyenne des 6 mois (3 + 3) établie sur la période 1927-2000 : sur les 10 dernières années, on enregistre trois fois 6 mois, trois fois 7 mois, deux fois 8 mois et deux fois 9 mois (voir le nuage de points). Cette nette augmentation apparaît plus lisiblement encore sur la courbe de la moyenne mobile et sur le tableau de synthèse par période décennale. Avec près de 61% de mois contrastés, contre 41 à 52% pour les six décennies précédentes, le tableau montre que cette situation originale n'a pas d'équivalent sur la période d'étude. En revanche, un « négatif » apparaît avec la décennie 1941-1950 où, au contraire, les mois contrastés furent fortement sous représentés (40,8%). La genèse de ce phénomène « inverse » est différente de la période actuelle. Dans ce cas, la réduction du nombre de mois contrastés fut largement conditionnée par une longue série d'années sans mois très pluvieux (15,8%), les mois secs s'équilibrant juste à la moyenne (25,0%).

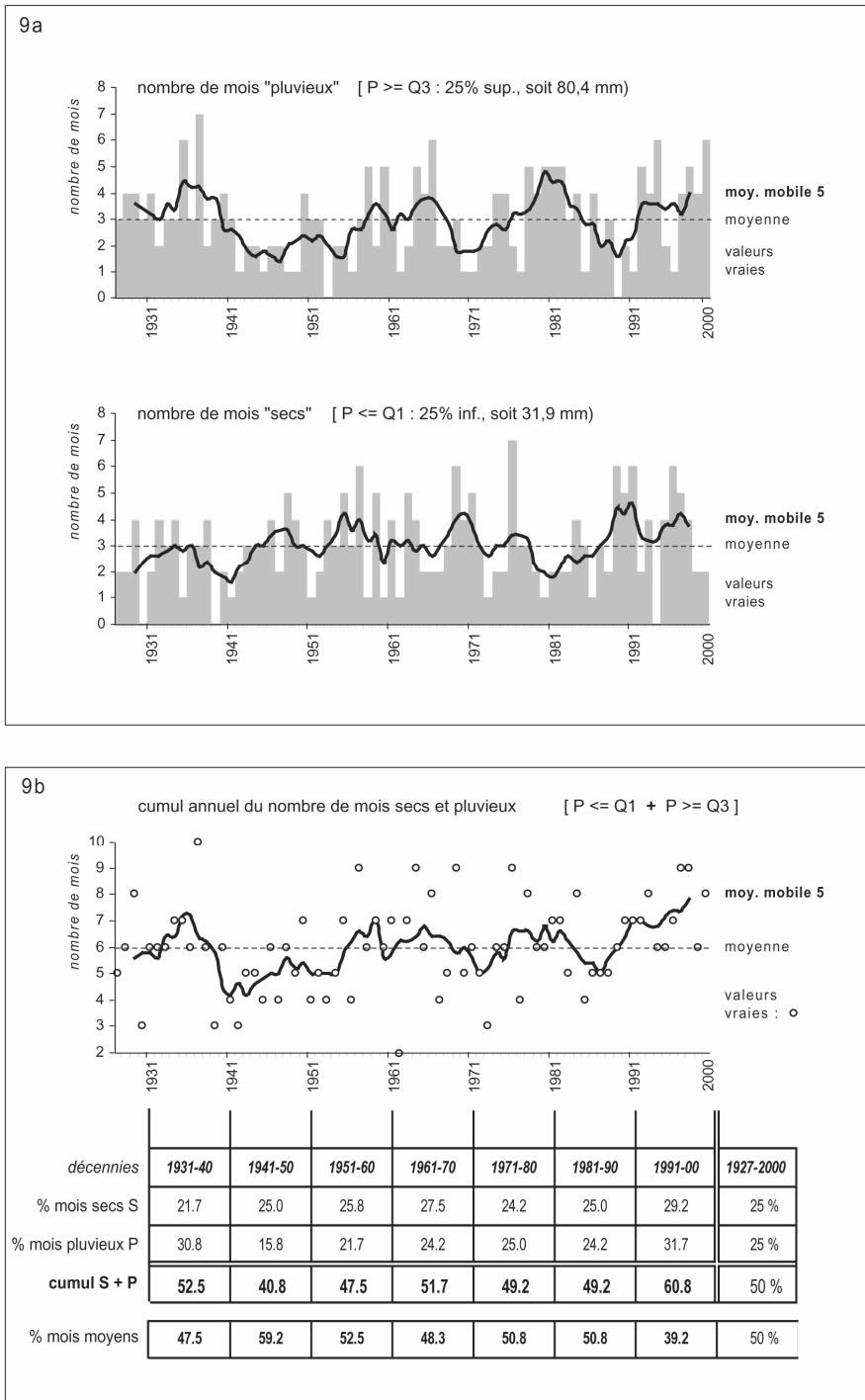


Figure 9 : Evolution du nombre de mois secs et pluvieux à Caen entre 1927 et 2000. Evolution of dry and rainy months in Caen between 1927 and 2000.

4. Discussion

Le « principe de précaution », appliqué à la qualité des données, nous a conduit à limiter l'examen des précipitations dans la région de Caen aux 74 dernières années (1927-2000). Pour les cumuls annuels, l'analyse confirme la très grande variabilité de ce paramètre mais ne permet pas de discerner de tendances particulières sur le long terme.

La série de Caen reposant sur une reconstitution antérieure aux dernières méthodes d'homogénéisation développées par Météo-France, nous nous sommes volontairement limités aux données « fiables » de 1927 à 2000. De ce fait, nos résultats sont nécessairement différents et difficilement comparables à ceux publiés par Météo-France dans son étude de l'évolution des précipitations en France durant le 20^{ème} siècle (Moisselin *et al.*, 2002). Dans cet article, les douze séries centenaires reconstituées par la Direction de la Climatologie pour le Calvados présentent toutes une hausse. Hausse certes, mais une hausse qualifiée de « *non significative au seuil de 95% de confiance* » (pointage du coefficient de Spearman pour le cumul annuel des précipitations). Moisselin (2002) souligne plus généralement que les précipitations « *souffrent d'une répartition inégale et présentent un signal moins organisé (que les températures) et des tendances bien souvent en limite de significativité* ». Cette hausse « *non significative* » est d'ailleurs commune à presque toutes les séries reconstituées du nord-ouest de la France. Qu'en conclure ? Quand les séries ré-homogénéisées de Caen seront accessibles via Climathèque, la comparaison des « données anciennes » et « nouvelles » sur la période 1927-2000 permettra une approche comparative directe des résultats. Ceci constitue la prochaine phase de l'étude et permettra de mieux cerner encore les avantages et les limites dans le domaine de la reconstitution des séries climatiques.

Rappelons aussi que, même en nous limitant à la période « sûre » 1927-2000, avec les données anciennes ou nouvelles (ré-homogénéisées), nos observations sur l'évolution du climat sont à nuancer en raison des modifications géographiques d'échelle locale qui peuvent altérer progressivement l'homogénéité temporelle des mesures. Depuis la Seconde Guerre mondiale, la population de l'agglomération caennaise a plus que triplé, passant d'environ 60.000 habitants à plus de 200.000 aujourd'hui (Guide du Calvados, 1996). Il n'est pas exclu de penser que l'extension de l'espace bâti de Caen, et surtout des villes périphériques, affecte légèrement la pluviométrie en raison de la modification - même faible - de la trajectoire et du degré de stabilité des masses d'air due à l'effet urbain. Comment soustraire ce facteur local de l'évolution climatique générale ? Plus localement encore, les modifications de la végétation aux abords de la station peuvent occasionner des effets plus ou moins sensibles sur la quantité d'eau tombant dans le pluviomètre. Il en va de même pour la construction des bâtiments de l'aéroport (à l'ouest) et l'extension des parkings à proximité immédiate du parc instrumental originel. Pour ces

multiples raisons, le Centre Départemental Météorologique de Caen a mis en service en 2003 un second parc instrumental en bout de pistes de l'aéroport. L'enregistrement en simultané des données permettra de quantifier les effets locaux sur la pluviométrie et les températures, notamment. Plus généralement, depuis quelques années Météo-France vise à redéfinir les normes de « qualité » des stations de son réseau car il n'est pas utile de posséder une instrumentation de très haute technologie si les mesures sont perturbées par des effets de site à caractère très ponctuels... (Leroy, 1999).

Rappelons enfin que le renforcement des contrastes mois « secs » / mois « pluvieux », apparu au cours de la dernière décennie, s'inscrit dans la continuité de l'accentuation des contrastes pluviométriques saisonniers mentionnée par Météo-France, dans les rapports du GIEC et dans plusieurs publications de l'Association Internationale de Climatologie notamment. Mais deux ou trois années consécutives peu arrosées ne signifient pas plus une « méditerranéisation » du climat (discours parfois tenu dans le milieu des années 1990...), que ces dernières années très pluvieuses (prolongées en 2001 et 2002) un premier signe tangible des conséquences du *réchauffement global*... Toutefois, la succession rapprochée ces dernières années de graves inondations (1988, 1995, 2001) et de sécheresses marquées (1976, 1990, 1996), sans oublier les violentes tempêtes de 1987 et 1999, inquiète la population et accrédite l'hypothèse du « dérèglement climatique » de la planète.

Pour le climatologue, ces phénomènes marquants peuvent s'interpréter comme l'exagération et le prolongement de phases atmosphériques, moins fréquentes certes, mais pleinement intégrées dans la variabilité « normale » du climat des façades océaniques aux latitudes moyennes. Cependant, même si nous avons déjà connu des épisodes identiques par le passé, il convient de souligner que les événements climatiques actuels ont des conséquences plus dramatiques qu'autrefois car ils se produisent dans un contexte de plus grande vulnérabilité de nos sociétés face aux aléas atmosphériques (Lamarre et Pagney, 1999). L'impact psychologique de ces catastrophes est d'autant plus fort qu'il remet en cause la certitude de notre civilisation moderne dans sa capacité à « gérer » l'environnement (Cantat, Cador et Agasse, 2002). Ainsi, l'observation des longues séries climatiques relativise en partie les discours catastrophistes inspirés plus par l'ampleur des conséquences humaines que par un changement de nature significatif de la pluviométrie au cours de ces dernières décennies (Cantat, 2004).

Conclusion

Grâce aux archives climatologiques, nous pouvons analyser l'évolution des précipitations sur quelques sites de Basse-Normandie depuis la fin du 19^{ème} siècle. Mais un historique des différents postes révèle de nombreux facteurs directs et indirects de « dérive » pluviométrique qui ont entraîné une certaine

hétérogénéité dans ces séries. Si ces discontinuités ne constituent pas une gêne majeure pour étudier la variabilité climatique, en revanche elles posent plus de problèmes pour discerner un éventuel changement du climat. Certes, diverses méthodes statistiques permettent de reconstituer des séries complètes mais, dans certains cas, la faiblesse du taux de remplissage de la base de données limite leur utilisation pour des études de tendance. Dans les années à venir, le développement de nouvelles techniques d'homogénéisation des données permettra de prendre en compte avec plus de « confiance » la pluviométrie de ces périodes anciennes ayant fait l'objet de fortes reconstitutions. Associés aux progrès continus de la recherche fondamentale dans les sciences de l'atmosphère et à l'ajout systématique des années les plus récentes, ces séries, de plus en plus longues et de plus en plus fiables, affineront nos diagnostics et prospectives sur l'évolution du climat. Si le progrès des techniques assure aujourd'hui une bonne cohérence aux différentes mesures climatiques, une attention particulière devra être portée sur l'évolution du cadre géographique autour de chaque parc instrumental pour garantir la continuité des conditions d'observation.

Au cours de la dernière décennie du 20^{ème} siècle, le caractère excessif et contrasté de la pluviométrie a contribué à la prise de conscience du risque d'origine climatique (inondation, sécheresse). Changement du climat ou « simple » fluctuation d'échelle décennale à pluri décennale, seul l'avenir nous le dira... La responsabilité de l'Homme dans cette évolution est souvent mise en avant mais beaucoup d'incertitudes demeurent, tant la machine atmosphérique recèle encore d'inconnues, notamment au niveau des interrelations océan-atmosphère et des multiples rétroactions positives ou négatives que produit la moindre modification de l'un des maillons de la « chaîne » du climat.

Bibliographie

- ALEXANDERSON H., 1986 : A homogeneity test applied to precipitation data, *Journal of Climatology*, vol. 6, pp. 661-675.
- BESSEMOULIN P., 1980 : Urbanisation et Météorologie, *La Météorologie*, n° 23, pp. 51-67.
- BIGOT S., 2002 : Détection des discontinuités temporelles au sein des séries climatiques : point méthodologique et exemple d'application. *Actes des Journées de Climatologie de la Commission « Climat et Société » du Comité National Français de Géographie*, Strasbourg, pp. 27-46.
- CANTAT O., 1995 : Variabilité et variation climatique en Normandie, *Sécheresse*, vol. 6, pp. 273-279.
- CANTAT O., GIRES J.-O., 1996 : Des épisodes climatiques actuels. A propos des pluies exceptionnelles de janvier 1995 dans le Calvados, *Norois*, n° 16, pp. 23-33.
- CANTAT O., BRUNET L., 2001 : Discontinuité géographique et particularités climatiques en Basse-Normandie. *Annales de Géographie*, n° 622, pp. 579-596.

- CANTAT O., CADOR J.-M., AGASSE E., 2002 : L'originalité des inondations de 2000-2001 dans la Plaine de Caen, *Annales de Géographie*, n° 625, pp. 246-264.
- CANTAT O., 2004 : L'îlot de chaleur urbain parisien selon les 'types de temps', *Norois*, n° 191, pp. 75-102.
- CANTAT O., 2004 : Les inondations d'origine climatique et hydrogéologiques : approche systémique et quadridimensionnelle, *L'Information Géographique*, n° 1, vol. 68, pp. 63-70.
- CAUSINUS H., LYAZRHI F., 1997 : Choosing a linear model with a random number of change-points and outliers, *Ann. Inst. Stat. Math*, vol. 49, n° 4, pp. 761-775.
- DÉQUÉ M., 2003 : Les contours du temps futur. *Atmosphériques*, Météo-France, n° 18, pp. 24-25.
- ESCOURROU G., 1978 : *Climats et types de temps en Normandie*, Paris, Champion, 1081 et 525 p.
- ESCOURROU G., 1981 : *Climat et Environnement. Les facteurs locaux du climat*, Paris, Masson, 184 p.
- ESCOURROU G., 1991 : *Le climat et la ville*, Nathan Université, 192 p.
- GUIDE DU CALVADOS, 1996, Paris, Éditions Gallimard, 316 p.
- HEINO R., 1996 : Metadata and their role in homogenization, *Proc. Seminar on Homogenization of Surf. Instrum. Data*, Budapest, pp. 5-8.
- HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., VAN DER LINDEN P. J., XIAOSU D., 2001 : *Climate Change 2001 : The scientific basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of IPCC*, Cambridge University Press, 944 p.
- LABORDE J.P., 2002 : Méthodes de détection des anomalies et du comblement des lacunes dans les séries de données, à l'usage des climatologues... et de quelques autres, *Actes des Journées de Climatologie de la Commission « Climat et Société » du Comité National Français de Géographie*, Strasbourg, pp. 47-66.
- LAMARQUE P., JOURDAIN S., 1994 : Élaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l'étude de l'évolution climatiques. *La Météorologie*, n° 7, pp. 61-68.
- LAMARRE D., PAGNEY P., 1999 : *Climats et sociétés*, Paris, Colin, 272 p.
- LEROUX M., 2002 : « Global Warming » ; mythe ou réalité. L'évolution réelle de la dynamique du temps, *Annales de Géographie*, n° 624, pp.115-137.
- LEROY M., 1999 : Classification d'un site, *Note technique*, n° 35, Météo France, 14 p.
- MESTRE O., 2000 : *Méthodes statistiques pour l'homogénéisation de longues séries climatiques*, Thèse de Doctorat de Mathématiques appliquées et Statistiques, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 233 p.
- MOISSELIN J.M., SCHNEIDER M., CANELLAS C., MESTRE O., 2002 : Les changements climatiques en France au 20^{ème} siècle. Etude des longues séries de

données homogénéisées de précipitation et température, *La Météorologie*, n° 38, pp. 45-56.

TRZPIT J.P., 1970 : Présentation du climat normand, in : *Atlas de Normandie*, Caen, Association pour l'Atlas de Normandie, 3 planches (texte et cartes sur le climat).

VIGNEAU J.-P., 1997 : Le climat océanisé de la façade atlantique médiane de l'Europe, *Le Climat, l'Eau et les Hommes*, ouvrage en l'honneur de Jean Mounier, Rennes, p. 227-244.