

MONITORAMENTO DE SECAS NA BRETANHA

reconstituição histórica e abordagem por teledetecção

Prof. Dr. Vincent Dubreuil

COSTEL-LETG - UMR 6554 CNRS et FR CAREN, Université Européenne de Bretagne
Place du Recteur H. Le Moal, 35043, Rennes Cedex, França
Tel.: (+ 11 33) 299 141 838 - vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

Chloé Lamy
chloe.lamy@univ-rennes2.fr

Rémi Lecerf
remi.lecerf@gmail.com

Olivier Planchon
olivier.planchon@univ-rennes2.fr

RESUMO

A Bretanha, como a maior parte de outras regiões francesas, sofre ocasionalmente com secas de duração e intensidade variáveis. O objetivo deste estudo é de analisar o impacto das secas sobre os recursos hídricos e sua evolução a partir do século XIX. Foi utilizado um modelo de balanço hídrico adaptado para escala regional para diversas estações na Bretanha (Rennes, Plougonvelin, Nantes, etc.). A deficiência da evaporação calculada em escala temporal mensal destaca a variabilidade espaço-temporal da seca. Em escala temporal anual, é observada uma leve intensificação que resulta essencialmente do aumento do déficit no mês de agosto, no fim do verão. A utilização dos dados do índice de vegetação (NDVI) derivados das imagens SPOT-Vegetation permite estabelecer a extensão horizontal deste fenômeno. Análises para o ano de 2003 (ano da última grande seca na França Ocidental) mostraram uma boa relação entre o NDVI e a evapotranspiração, entretanto os efeitos bidirecionais, os ângulos de visada, bem como os algoritmos utilizados podem afetar significativamente os valores do NDVI.

Palavras-chave: Seca, mudanças climáticas, NDVI, NOAA-AVHRR, Bretanha

ABSTRACT

Brittany, as many French territories, experiences sometimes drought issues which can vary in intensity and duration. The aim of this study is to determine the impacts of droughts on soil water resources since the early XIXth century. Thus, a soil water balance suited to regional scales was used and applied to different cities of Brittany and surroundings such as Rennes, Plougonvelin and Nantes. The evaporation deficiency obtained at a monthly scale revealed droughts intensity and inter-annual variability. At a yearly scale a positive tendency of the deficiency was noticed. At a monthly scale the inter-annual variability was clearly shown and revealed a 4-year period rhythm with soils lacking of water for one summer month. Finally, we used the NDVI calculated from SPOT-Vegetation images for monitoring the spatial extent of drought in Brittany. For 2003 (the last great drought observed in western France), we found a good relationship between the NDVI and the evapotranspiration but bidirectional reflectance effects, angular values and compositing's procedures may also have a great impact on observed values of NDVI.

Key words: Drought, global climate change, NDVI, NOAA-AVHRR, Brittany

RÉSUMÉ

La Bretagne, comme la plupart des autres régions françaises, est touchée par des sécheresses dont la durée et l'intensité sont variables. L'objectif de cette étude est d'analyser l'impact des sécheresses sur les ressources en eau et leur évolution depuis le XIXe Siècle. Un bilan de l'eau est ainsi calculé à l'échelle de la Région pour plusieurs stations (Rennes, Plougonvelin, Nantes, ...). La déficience d'évaporation calculée au pas de temps mensuel souligne la variabilité spatio-temporelle de la sécheresse. A l'échelle annuelle, une légère augmentation apparaît qui résulte essentiellement de l'aggravation du déficit lors du mois d'août, à la fin de l'été. L'utilisation des données d'indices de végétation (NDVI) calculés sur les images NOAA-AVHRR et SPOT-Vegetation permettent de préciser l'extension spatiale de ce phénomène. Pour l'année 2003 (la dernière grande sécheresse qu'a connue la France de l'Ouest), nous avons trouvé une bonne relation entre le NDVI et l'évapotranspiration mais, les effets bidirectionnels, les angles de visées ainsi que les algorithmes utilisés peuvent aussi avoir un fort impact sur les valeurs de NDVI.

Mots-clé: Sécheresse, NDVI, NOAA-AVHRR, Bretagne.

INTRODUÇÃO

A seca é um fator climático importante nas regiões do oeste da França, onde a agricultura tem uma grande influência econômica. As secas da última década do século XX, em particular,

destacaram a vulnerabilidade das economias europeias em caso de déficit hídrico (Lloyd-Hughes, 2002). Na Bretanha, por exemplo, as principais atividades agrícolas (milho e forragens) foram severamente afetadas pela seca dos anos 1989, 1990 e 2003. Programas internacionais como ARID (Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, STAHL 2001) e WRINCLE (Water Resources: Influence of Climate change in Europe, KILSBY 2001) destacaram a necessidade de uma melhor compreensão da gênese das secas na Europa. Este fator climático tem se intensificado nos últimos vinte anos, período na qual também a demanda de água aumentou dramaticamente e na qual em alguns anos o déficit hídrico (1989, 2003) foi particularmente marcante.

Em um contexto onde o clima futuro é uma preocupação, é necessário estudar o passado para tirar lições sobre a evolução da seca. São as secas um problema recorrente na Bretanha, ou são fenômenos meteorológicos raros? Que gama de intensidade de secas podem ser encontrados a longo prazo (no período 1880-2009) no território bretão? Durante o ano de 2003, a baixa precipitação e altas temperaturas do verão resultaram em uma severa seca na Bretanha : seus efeitos foram significativos sobre a agricultura, com uma queda pronunciada nos rendimentos, especialmente do milho, cereais e pastagens. O estudo da estiagem não pode ser concebido pelo geógrafo-climatologista fora do contexto sócio-econômico. O impacto das secas sobre o meio ambiente e sobre os homens não é apenas uma função da intensidade do fenômeno: é resultado também do nível de desenvolvimento econômico local, de relações estabelecidas entre a sociedade e o espaço regional que ela organiza (MARCHAND 1981), e portanto é por excelência uma questão de síntese geográfica regional. Pelo mesmo, a evolução das técnicas e mudanças nas políticas agrícolas devem levar em conta a dimensão histórica do problema, na medida em que uma mesma seca (se tal fenômeno climático pode ser repetido) não teria o mesmo impacto em um dado momento comparado a um século anterior (DUBREUIL, 2005).

O problema, complexo, da definição de seca não é apenas uma questão de pluviometria, embora na base, haja uma deficiência de precipitação. Embora métodos tradicionais de estudo da seca possam definir os limites do problema, somente a análise mais abrangente do balanço hídrico permite uma abordagem refinada e rigorosa do fenômeno no plano temporal (Mounier, 1977). Estes métodos serão discutidos sucessivamente, destacando-se as respectivas vantagens. A área geográfica regional selecionada apresenta não apenas um caráter comum, específico, mas também uma grande diversidade paisagística e econômica da qual é preciso estar bem consciente para medir as disparidades regionais do impacto e da natureza da seca (Dubreuil, 1996). Os métodos de análise espacial devem ser refinados através de imagens do NOAA-AVHRR ou SPOT-Vegetation cujas resoluções espacial e temporal sejam coerentes com monitoramento em tempo real do estado da vegetação (CHAMPEAUX et al. 2000).

Este estudo é parte do trabalho realizado no âmbito dos programas RICLIM (Les risques liés au Climat, GDR 2663 CNRS: http://www.uhb.fr/sc_sociales/riclim/), Fundação MAIF (Dynamique des masses d'air et risques climatiques), PSDR-Climaster (<http://www.rennes.inra.fr/climaster/>) e do projecto de IPCC-SB (ImPact du Changement Climatique sur l'intensité des Sécheresses en Bretagne), financiado pela Região da Bretanha.

O CONTEXTO CLIMÁTICO DA BRETANHA : uma grande diversidade regional de situações de seca

A Bretanha apresenta um típico clima temperado oceânico de fachada oeste que se caracteriza por invernos amenos e úmidos e verões brandos e geralmente menos chuvosos. Assim, as temperaturas em janeiro se encontram geralmente entre 4 e 7° C, e em julho-agosto, entre 15-20° C. A precipitação anual, geralmente entre 700 e 1000 mm (Tabela 1), apresenta uma variação significativa quanto à sua distribuição espacial, tal que J. Mounier (1977) estima que “no máximo um terço da península recebe mais de 1000 milímetros de chuva por ano”. As chuvas são mais abundantes durante o outono e inverno do que no verão, com mínimo no fim do verão e máximo no início do

inverno. Entretanto os regimes puramente oceânicos são menos intensos no interior continental, e mais para o leste o regime climático se torna menos definido e totais pluviométricos mensais médios são próximos. Mais do que uma degradação do clima oceânico para condições continentais, encontra-se um regime específico do domínio oceânico: “Se o interior da região é menos elevado, como é o caso do oeste francês, a precipitação tende a se uniformizar segundo as estações (...). Passa-se, nestas regiões, de um clima oceânico puro, limitado à região costeira, a um regime oceânico confuso” (PÉGUY, 1970). Isto implica de fato que déficits significativos podem intervir durante toda a duração do ano.

O clima oceânico não é uniforme em toda a Bretanha. A influência do oceano sobre o clima bretão, mais acentuada no litoral, resulta em diferenças de temperatura entre a costa e o interior. O verão é geralmente mais quente longe da costa, enquanto as temperaturas de inverno são mais baixas no interior principalmente nos relevos principais que, embora modestos, são suficientes para reduzir as temperaturas médias em alguns graus. Em geral, a hipsometria desempenha um papel decisivo na distribuição das chuvas, mas a distância do mar e a situação topográfica comparados ao fluxo de umidade são também importantes. Assim, bacias topográficas, mesmo de dimensão modesta, são sensivelmente menos irrigadas que os altos ao redor: perto de 300 milímetros de diferença entre Rennes e Paimpont, mais ainda entre a costa de Penthièvre e os altos do Mené. Os gradientes pluviométricos não são insignificantes e conduzem a uma diversidade de condições regionais e locais. O clima oceânico se degrada rapidamente com a distância da costa, com um “clima marítimo deteriorado” à leste da linha St Briec – Vannes.

Tabela 1 : Normais climáticas 1961-1990 de algumas estações bretãs et Nantes

	Mínimas (Tn, °C)	Máximas (Tx, °C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Insolação (horas)
Belle Ile	9,5	14,6	12,0	683	2001
Bréhat	9,0	13,9	11,4	718	1785
Brest	7,8	14,1	10,9	1110	1749
Dinard	7,4	14,4	10,9	720	1849
Lorient	7,6	15,0	11,3	896	1996
Nantes	7,6	16,1	11,8	788	1957
Rennes	7,1	15,6	11,3	646	1843
Rostrenen	6,6	13,3	10,0	995	1540

A definição de meses secos de acordo com Gaussen (1952) é ainda a mais utilizada para estabelecer a duração da estação seca. Esta definição é simples e de fácil interpretação: um mês é seco se o total de precipitação em milímetros é inferior a duas vezes a temperatura média em graus Celsius. O desenvolvimento desta fórmula permitiu a Gaussen estabelecer os limites da área do Mediterrâneo utilizando parâmetros climáticos facilmente disponíveis. Sua utilização fora do ambiente Mediterrâneo foi rapidamente difundida, mas muitos autores têm preferido uma definição menos rigorosa da seca. Assim, Birot (1970) escolhe o limite de quatro vezes as temperaturas mensais, definição duas vezes menos severa do que a de Gaussen. O interesse é de prolongar a estação de seca integrando os meses onde as temperaturas são geralmente menos elevadas do que no verão mas onde o déficit hídrico pode prejudicar as plantas. Além disso, este relaxamento do conceito de seca ajuda a identificar a temporada deficiente no domínio oceânico. Para manter a coerência global da terminologia utilizada, referimos a uma “sub-seca” quando a precipitação total mensal é entre 2 e 4 vezes a temperatura média. Assim, Mounier (CNRS ER-30, 1981), durante a preparação da execução do projeto “Cartes Climatiques Détaillées” (Cartas Climáticas Detalhadas, ou CCD), identificou um mês sub-seco como $2T < P_{mm} < 3T$.

O mapa da Figura 1 é baseada em observações do período 1961-1990. Este método permite observar uma oposição entre o relevo da Bretanha central (Rostrenen) irrigados e pouco atingidos

pela seca em anos “normais”, e as regiões costeiras meridionais onde o risco de secas é mais evidente (Lorient, Belle Ile). O risco de secas aparece igualmente na região de Rennes onde em cerca de três anos entre quatro pelo menos dois meses secos têm ocorrido desde 1946.

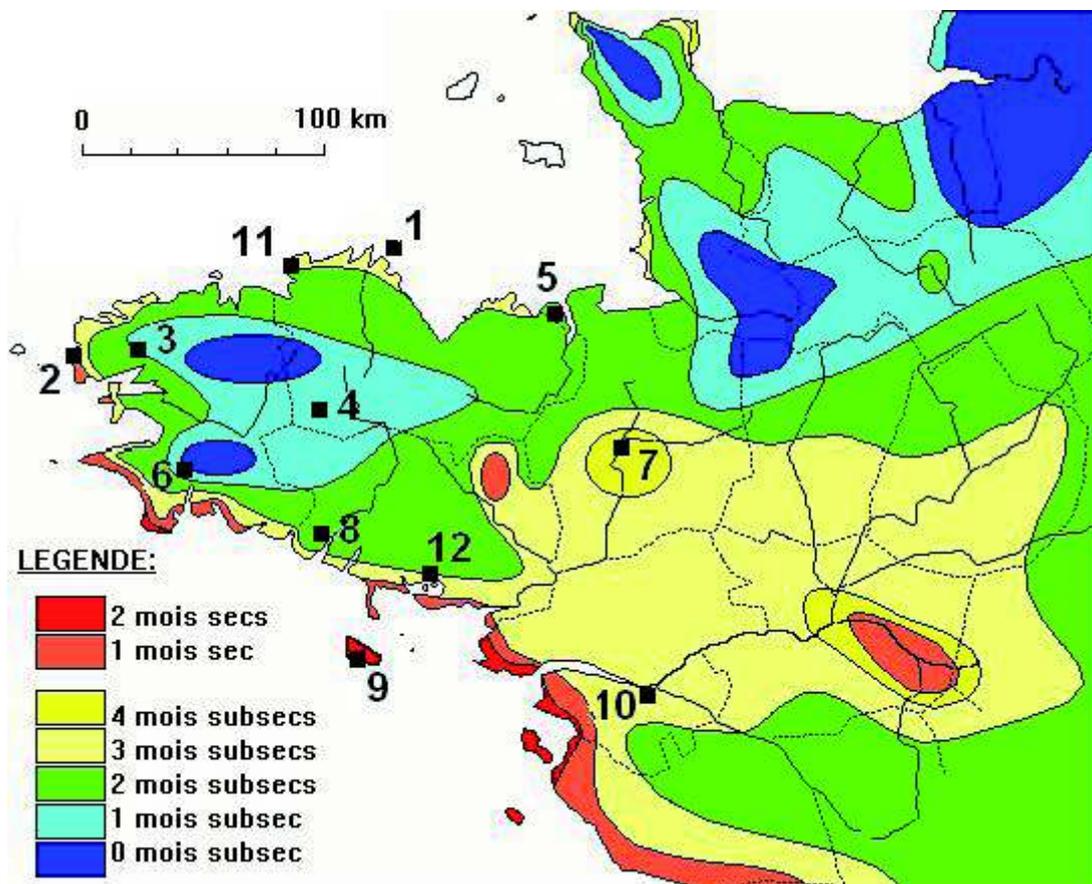


Figura 1 - Mapa de meses secos ($P < 2t$) e sub-secos ($P < 3t$) na França Ocidental a partir das médias do período 1961-1990. Localização das estações : 1 : Bréhat ; 2 : Plougonvelin ; 3 : Brest ; 4 : Rostrenen ; 5 : Dinard ; 6 : Quimper ; 7 : Rennes ; 8 : Lorient ; 9 : Belle-Ile ; 10 : Nantes ; 11 : Lannion ; 12 : Vannes.

Este método têm entretanto limites de que é necessário estar consciente. Primeiro, cada déficit ou excedente mensal é considerado como tal, sem levar em conta processos regulatórios da vegetação ou solo. O déficit é especialmente severo para plantas enquanto ele predomina e na medida em que as plantas não possuem reservas diretamente disponíveis. Este monitoramento mensal, mesmo acompanhando as curvas de precipitação e de temperaturas, apresenta um conjunto de pontos separados no tempo. Além disso, parâmetros climáticos fundamentais para o desenvolvimento vegetal não são levados em conta (vento, umidade, insolação). É difícil obter por este método uma estimativa do déficit hídrico real sentido pelas plantas, à parte do déficit pluviométrico simples. O período do ano em que a seca ocorre também não é considerado, no entanto, a gravidade da situação difere dependendo do tipo do no estágio fenológico da cultura em questão. Enfim, a abordagem parece especificamente climatológica, enquanto a seca é uma perturbação, um desequilíbrio em um sistema mais abrangente, e não apenas interage com o ambiente mas também com a sociedade atingida. Mais do que uma simples abordagem da precipitação mensal, um estudo geográfico da seca deve considerar o problema como parte do balanço hídrico e do ciclo hidrológico anual.

RECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA E VARIABILIDADE INTERANUAL DO BALANÇO HÍDRICO NA BRETANHA

O cálculo do balanço hídrico requer diversos parâmetros climáticos: temperatura, precipitação, radiação, vento, e umidade são particularmente necessários para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Penman. Tais parâmetros estão disponíveis apenas em um número limitado de estações e por períodos relativamente curtos. Para um estudo cobrindo um período extenso, é necessário utilizar um método simplificado para calcular a ETP, mas que seja suficientemente representativo das condições agro-meteorológicas. Escolheu-se aqui o método de Turc, que permite o cálculo da ETP a partir de dados de temperatura e insolação apenas (TURC, 1961). Estes dois tipos de dados (assim como dados de precipitação) apresentam a vantagem de já terem sido testados e homogenizados para longos períodos e, no caso de dados faltantes (principalmente de insolação) é possível efetuar uma reconstituição estatística.

Utilizamos portanto os dados homogenizados de temperatura e precipitação disponíveis para a estação de Rennes de 1881 a 2004 (MOISSELIN et al., 2002). Para a insolação, a série homogenizada começa apenas em 1923, sendo que o período entre 1881-1922 foi reconstruído a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Duração mensal da insolação (em horas)} = 26.88 \cdot (T_x - T_n) - 963$$

onde T_n é a média mensal das temperaturas mínimas e T_x a média mensal das temperaturas máximas. Esta relação foi obtida através da comparação entre os dados de insolação medidas no período 1961-1990 com a série estimada, onde a correlação encontrada foi elevada ($R^2 = 0,85$).

O cálculo do balanço hídrico foi em seguida realizado usando um modelo de reserva útil único fixado à 125 mm, e aplicando uma diminuição logarítmica clássica da reserva útil ao longo do período deficitário. O cálculo da ETP de Turc em passo mensal permite mostrar a variabilidade interanual do balanço hídrico assim como a frequência e intensidade dos períodos de déficit (definido pela diferença entre a ETP e a ETR). Este indicador de seca permite caracterizar não somente cada um dos meses como também as estações e anos acumulando-se seus valores mensais.

As figuras 2 e 3 apresentam a cronologia dos déficits de 1881 a 2004. O déficit médio anual é de 178 mm, com um máximo de 418 mm em 1989 e um mínimo de 23 mm em 1882. A estação em que o déficit é o mais intenso é claramente o verão, com um déficit médio de 128 mm (de 8 mm em 1882 a 272 mm em 1949). A primavera apresenta valores ligeiramente menores (média de 20 mm com um máximo de 105 mm em 1893) do que o outono (déficit médio de 30 mm com um recorde histórico de 136 mm em 1921). Durante este período, 12 anos apresentaram um déficit superior a 300 mm enquanto que em 4 verões o déficit foi superior a 250 mm (DUBREUIL et al. 1998). Pode-se diferenciar os anos onde o déficit foi relativamente precoce (primavera-verão), como em 1893, 1943 ou 1976, ou aqueles onde a seca ocorreu relativamente tarde (verão-outono) como em 1959 ou 1985. Certos anos se distinguem como anos de seca intensa essencialmente de verão (1906, 1949, ou mais recentemente 2003), enquanto que anos particularmente notáveis como 1921 ou 1989 destacam-se por apresentarem um período de déficit intenso e prolongado (DUBREUIL; PLANCHON, 2009).

A fim de obter uma visão mais fina sobre o plano espacial, procuramos reconstituir as séries de dados de outras estações na Bretanha. Infelizmente vários arquivos se perderam ao curso de duas guerras mundais, ou observações se mostraram impossíveis de serem realizadas (particularmente durante bombardeios). A “climateca” da agência meteorológica francesa Météo-France contém todas as estações climáticas existentes ou que existiram sobre o território francês. Embora algumas estações tenham estado em funcionamento no início do século XIX, seus dados climáticos não são sistematicamente referenciados na base de dados digital. Por isso, as séries climáticas fornecidas pela “climateca” foram na maior parte das vezes preenchidas manualmente graças aos boletins mensais.

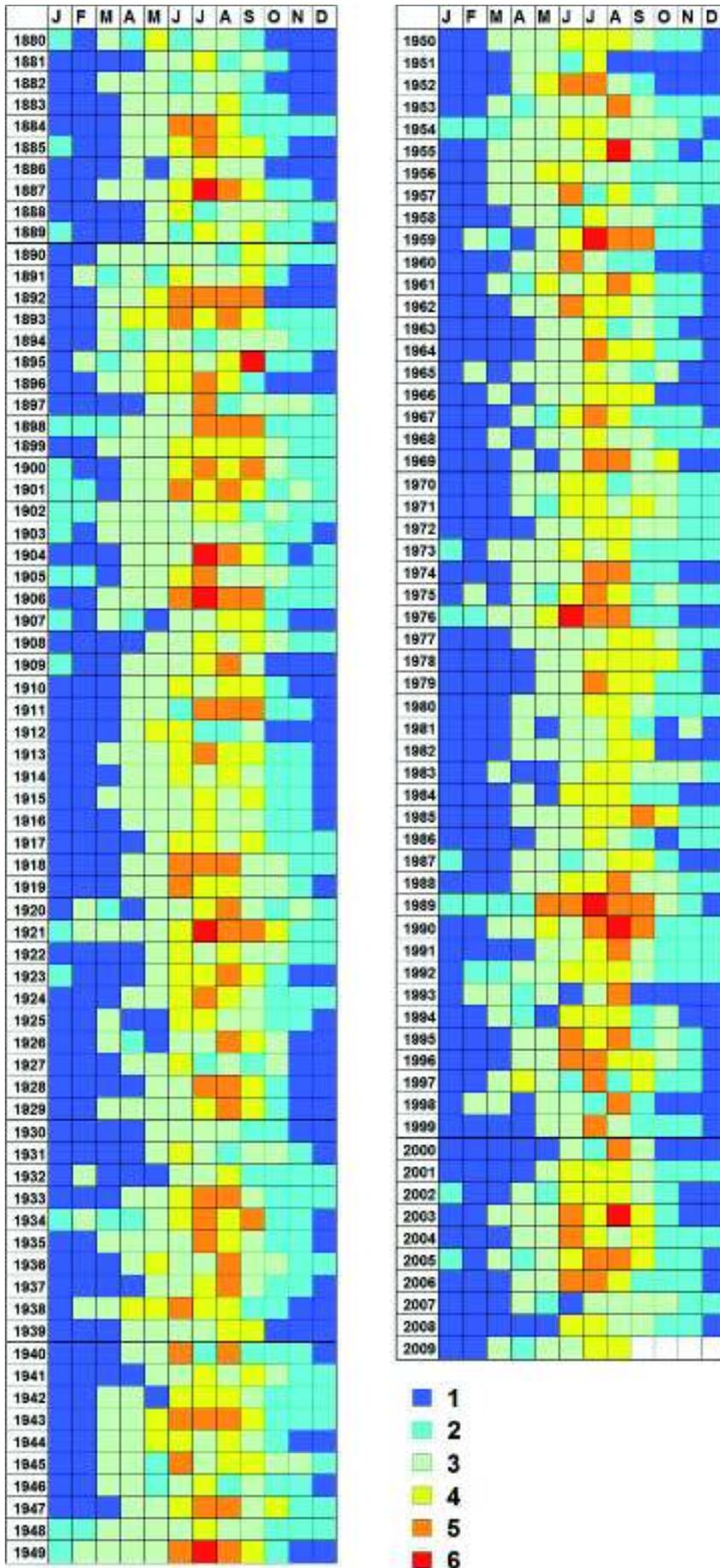


Figura 2 - Variabilidade interanual do balanço hídrico em Rennes de 1880 à 2009. Cálculo realizado com a fórmula de Turc para a ETP e uma reserva útil (RU) de 125mm. 1 : Mês hyper úmido ($P > ETP$, RU reconstituídas); 2 : Mês úmido ($P > ETP$, RU não reconstituídas); 3 : Ligeira deficiência ($P < ETP$ e $0 < DE < 30$ mm); 4 : Mês sub-seco ($P < ETP$ e $30 < DE < 60$ mm); 5 : Mês seco ($P < ETP$ e $60 < DE < 100$ mm); 6 : Mês árido ($P < ETP$ e $DE > 100$ mm); DE = ETP - ETR

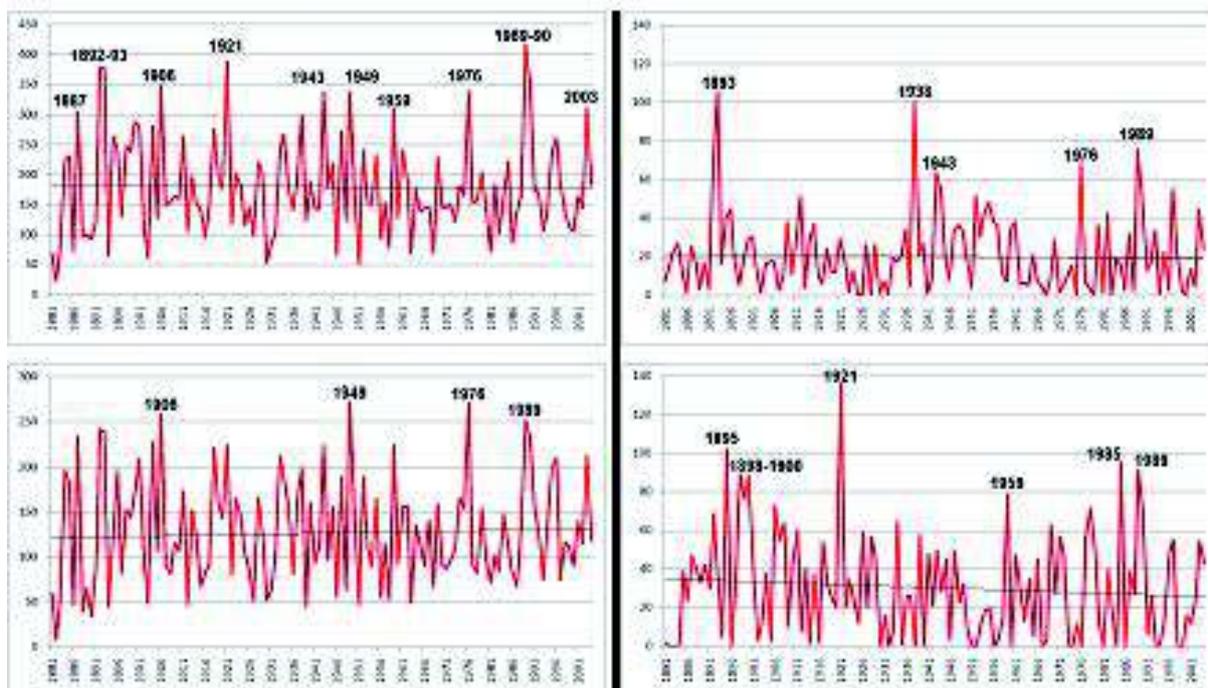


Figura 3 - Déficit da evaporação anual e sazonal ($DE = ETP - ETR$ em mm) em Rennes de 1881 a 2004 : total anual no topo à esquerda; total de primavera (março, abril, maio) no topo à direita; total de verão (junho, julho, agosto) em baixo à esquerda; total de outono (setembro, outubro, novembro) em baixo à direita.

Este preenchimento das lacunas não foi feito sempre a partir das mesmas estações; algumas vezes, como por exemplo o caso de Goix, foi preciso recuperar os parâmetros de uma estação vizinha. Quando tal medida mostrou-se necessária, escolhemos a segunda estação minimizando a distância entre elas (isto é, escolhemos a estação mais próxima). O fato de utilizar dados de várias estações, mesmo próximas, acarreta diferenças nos valores realmente observados mas não referenciados. Para reduzir ao máximo estas diferenças uma homogeneização dos dados foi realizada quando diferenças de valores apareceram em dado um parâmetro; foi o que ocorreu com as séries de insolação em certas estações durante os anos 80. A ruptura das séries se explica por uma mudança no equipamento quando sondas elétricas substituíram gradualmente os heliógrafos Campbell. Essas diferenças foram então corrigidas usando regressão linear (MESTRE, 2000) usando um período de 30 anos.

Devido às lacunas durante as duas guerras mundiais, é difícil monitorar as tendências desde 1880 até o presente. Isto não impede a comparação das médias anuais do déficit de evaporação sobre 5 períodos: 1891-1910, 1921-1940, 1949-1968, 1969-1988 e 1989-2008 (Tabela 2). Em Rennes nota-se uma diminuição gradual da deficiência seguido por uma leve aumento no período 1989-2008. Observa-se tendência similar em Plougonvelin, porém o aumento no período mais recente é mais forte. Em Nantes, Belle-Ile, Groix e Bréhat a deficiência aumenta e diminui varias vezes nestes 5 períodos mas a tendência geral é levemente negativa.

A Figura 4 ilustra a deficiência dos meses de verão para as cidades já mencionadas, apenas para os meses de agosto; os meses de junho e julho serão descritos sem suporte visual. A tendência em Rennes é positiva (Figura 2a), isto é, um aumento da deficiência com o tempo. Os gráficos de Plougonvelin (Figura 2b) e Bréhat (Figura 2c) mostram as mesmas tendências; Belle-Ile (Figura 2d) e Groix (não apresentado) o aumento é discernível porém mais fracos. Nantes não apresenta tendências discerníveis (não apresentado).

Nota-se que os meses de agosto experimentaram importantes variações de seca de um ano a outro. Em todas as cidades analisadas observa-se picos de intensidade de deficiência de evaporação coincidente entre elas. Por exemplo em 1956 e em 1977, cada estação apresenta uma deficiência superior à média. Em 1989 e em 1990, todas as estações são caracterizadas por uma deficiência mas com intensidade variável.

Tabela 2 : Média das deficiências anuais para as cidades de Plougonvelin, Rennes, Nantes e as ilhas de Groix, Belle-Ile e Bréhat, para cinco períodos

	Plougonvelin	Rennes	Nantes	Belle-Ile	Groix	Bréhat
1891-1910	171	210	194	270	263	173
1921-1940	107	178	204	193	189	139
1949-1968	129	164	167	242	209	165
1969-1988	140	164	188	233	220	153
1989-2008	197	194	180	236	199	141

O estudo do balanço hídrico permite completar as observações da distribuição espacial da seca na Bretanha. As estações no oeste da França mostraram uma semelhança nos ritmos anuais de seus balanços hídricos médios: o período de inverno com o preenchimento das reservas úteis que precedem o déficit hídrico no verão, período na qual toda a região os totais pluviométricos mensais médios diminuem ao mesmo tempo que os valores elevados da ETP aumentam com a temperatura e a insolação. Este comportamento geral, bem conhecido, dissimula disparidades relacionadas à amplitude dos déficits e das datas de início e fim do período deficitário. A maioria das estações tem como abril o primeiro mês de déficit, a partir de quando a precipitação é menor do que a ETP. Porém em certas estações como Brest ou Rostrenen, é apenas em maio que o déficit se desenvolve. Em Quimper, o déficit começa ainda mais tarde, em junho. Estações que apresentam um ressecamento tardio de suas reservas úteis também apresentam uma fase de preenchimento de suas reservas mais precoce que em outras estações na Bretanha. A fase de preenchimento termina geralmente em dezembro. Nos casos das estações mais irrigadas durante o outono as reservas são reconstituídas mais cedo, por exemplo, em novembro em Brest, Lorient, Quimper e Rostrenen.

A amplitude do déficit médio é igualmente variável entre as estações. Se a duração do déficit varia entre três e seis meses, ela culmina em julho e em seguida em agosto. Mas a deficiência da evaporação permanece inferior a 30 mm por mês em Brest, Quimper e Rostrenen, enquanto que a estação de Belle-Ile pode ter um ou dois meses secos (mais de 60 mm de déficit). Todas as outras estações registram pelo menos um mês sub-seco, isto é, um déficit mensal entre 30 e 60 mm. Enfim, o nível mais baixo da reserva de água dos solos é mais ou menos pronunciado em função da localidade e ocorre geralmente no mês de setembro (agosto em Brest, Lorient, Quimper e Rostrenen).

MONITORAMENTO DA SECA POR TELEDETECÇÃO : exemplo do episódio de seca de 2003

Devido ao número limitado de estações meteorológicas, abordagens clássicas em agrometeorologia não permitem uma análise espacial detalhada das regiões afetadas pela seca, exigindo assim a utilização de imagens de satélite (TUCKER et al., 1985). O monitoramento da vegetação pode ser efetuado em escala de uma parcela ou de um conjunto de parcelas graças aos dados de satélite do SPOT ou LANDSAT. Suas finas resoluções espaciais (10 metros em modo pancromático do SPOT, 30 metros para o LANDSAT T.M.) permitem obter uma imagem precisa da vegetação em um dado instante. Por outro lado, sua repetição infrequente não permite um monitoramento temporal detalhado durante a seca. Porém os satélites meteorológicos METEOSAT registram uma imagem cada meia-hora mas sua resolução espacial é de cerca de cinco quilômetros nas latitudes médias e sem uma banda espectral adaptada para o estudo da vegetação: seu uso é voltado para a análise meteorológica. Entre estes dois “extremos”, a gama de satélites NOAA-AVHRR e SPOT-Vegetation combina uma boa repetição temporal e uma resolução espacial aceitável: pelo menos duas passagens por dia e um quilômetro ao nadir.

Para ilustrar este estudo, escolhemos como exemplo a seca de 2003 na França Ocidental, e utilizamos as séries temporais do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; Rouse et al. 1974) derivados das imagens do SPOT-Vegetation. As imagens foram projetadas em Lambert II

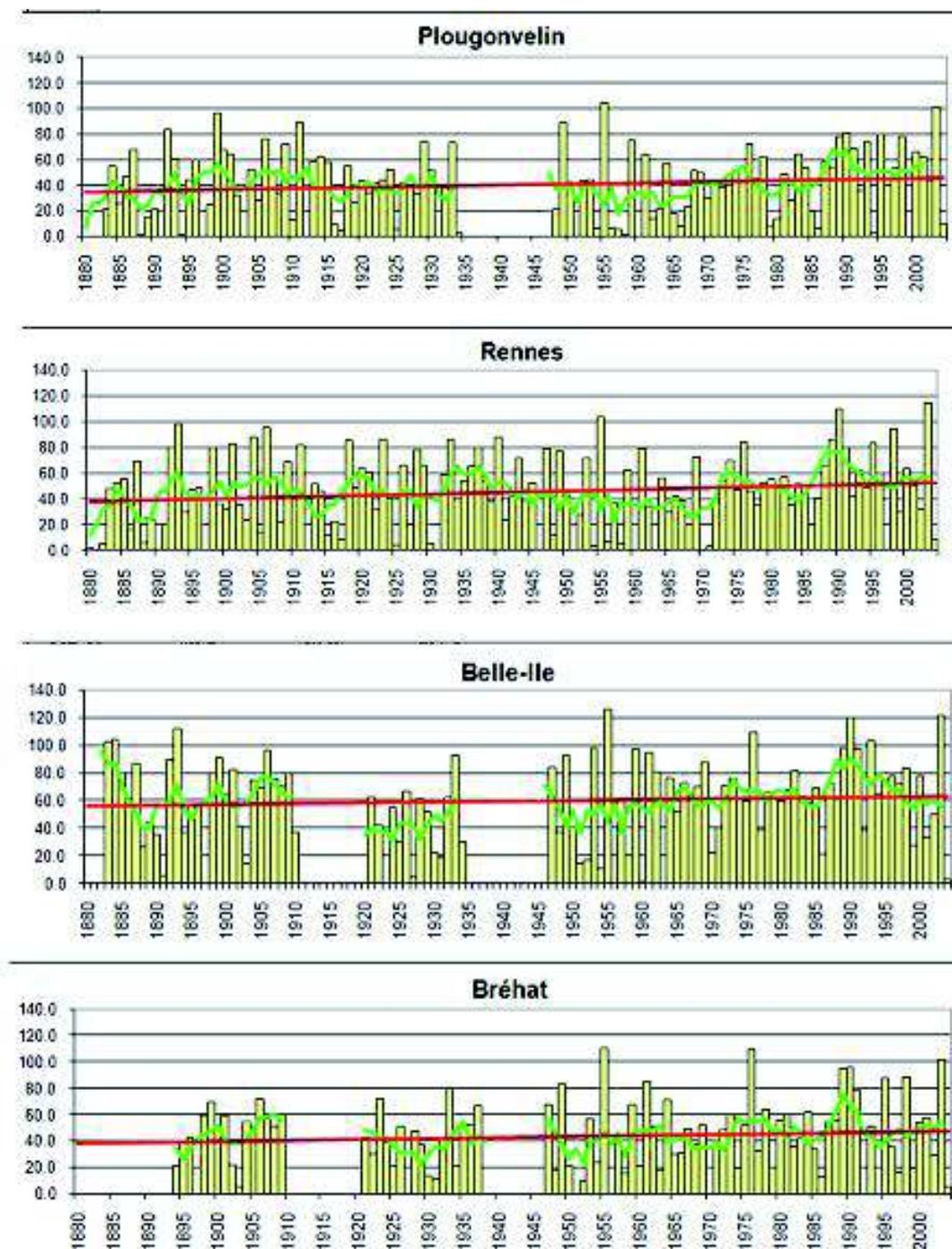


Figura 4 - Deficiência da evaporação (D.E.) mensal em agosto das cidades de Plougonvelin (ponte St Mathieu) e Rennes, e das ilhas de Bréhat e Belle-Ile (histograma em amarelo: cúmulo mensal, curva em verde: média móvel de 5 anos (tendência linear em vermelho)

estendida a uma resolução de quilômetros. Os produtos SPOT/VGT S10 utilizados são sínteses do NDVI decadais obtidos pelo método do Maximum Value Composite (MVC, Holben 1986). Seria possível usar igualmente os produtos D10, corrigidos da refletância bidirecional. No entanto, efeitos muito pronunciados de segmentação foram encontrados na região da Bretanha e por isso preferimos os produtos S10 ao D10. Além disso, o período abrangido pelo S10 (desde 1998) é maior do que para as imagens D10. É importante notar que para os produtos derivados do SPOT/VGT os efeitos angulares não são considerados, e que ao contrário dos dados NOAA/AVHRR eles não beneficiam da contribuição dos canais do infravermelho termal para melhorar a máscara de nuvens.

A partir da natureza do comportamento espectral dos vegetais pode-se estabelecer uma simples relação entre o NDVI e a evapotranspiração por intermédio da resistência estomática à transferência do vapor d'água. Vários autores mostraram correlações significativas com dados de precipitação (LOUHALA et al. 1991; WANG et al. 2003) ou de evapotranspiração (DUBREUIL et al. 2004). Os dados de índice de vegetação foram comparados aos dados do balanço hídrico calculado para as principais estações bretãs. A ETP foi obtida usando a fórmula de Turc com uma reserva útil fixada a 125 mm. Escolhemos utilizar os valores mensais do déficit de evaporação ($DE = ETP - ETR$) de modo a quantificar a intensidade da seca e para comparar seus valores com os dados do NDVI (DUBREUIL et al. 2004).

Tabela 3 : Correlações entre a ETR mensal e o NDVI (máximo mensal) SPOT Vegetation

SPOT/VGT	Brest	Dinard	Lannion	Lorient	Quimper	Rennes	Rostrenen	Saint Brieuc	Vannes
1999-2003	0.45	0.52	0.68	0.47	0.73	0.10	0.66	0.50	0.43
2003	0.83	0.75	0.72	0.56	0.78	0.48	0.76	0.72	0.77

As médias mensais do NDVI e do DE foram calculados para o período 1999-2003 e comparados aos valores de 2003, a fim de melhor caracterizar este episódio. Os resultados mostram que em 9 estações bretãs estudadas no período 1999-2003 correlações com ETR são significativas (Tabela 3). Nota-se que durante o ano de 2003 os baixos totais pluviométricos e o forte calor de verão se refletem como uma forte seca e um índice de vegetação globalmente mais fraco (sobretudo de julho a setembro) do que durante os anos anteriores. Os valores elevados do déficit observados em agosto de 2003 confirmam esta análise (92 mm em Dinard, 111 mm em Vannes, 114 mm em Rennes), bem como a média anual: 313 mm em Rennes (como em 1990), 320 mm em Dinard (segundo valor mais forte desde 1976).

O impacto da seca não foi idêntico para todos os tipos de uso do solo. Os cereais são colhidos em julho e a falta de água não se faz sentir sobre o trigo, por exemplo. Por outro lado, as diferentes forragens que representam uma densidade relativamente baixa de vegetação foram as primeiras a sentir a falta de água e as altas temperaturas. Enquanto os índices de vegetação deveriam aumentar no mês de julho observou-se uma diminuição. Neste mesmo período o milho está em pleno crescimento. As parcelas de forragens sofreram pela falta de água mas ainda é difícil quantificar esta informação devido à resolução espacial das imagens. No mês de setembro as imagens do NDVI evidenciam uma forte diminuição da densidade de cobertura vegetal comparado aos anos anteriores. Neste caso as culturas de milho foram afetadas. A falta de água em agosto portanto afetou prioritariamente as coberturas vegetais de baixo volume. É interessante observar que as florestas não sofreram com a seca, devido à altura da cobertura vegetal que permitiu a conservação da umidade e ao fato de que as raízes puderam procurar água em profundidade. Em toda a Bretanha, os setores cultivados em forragens e milho foram os mais afetados pela estiagem, principalmente o norte da região de Ille-et-Vilaine (Figura 5). Pode-se igualmente notar que o déficit importante observado em agosto (e que se prolonga para leste em setembro) tem repercussão somente nos valores do NDVI de setembro: esta diferença de um mês entre os dois mapas é devido tanto pelo tempo de reação da vegetação ao estresse climático como ao modo de aquisição dos dados de teledeteção.

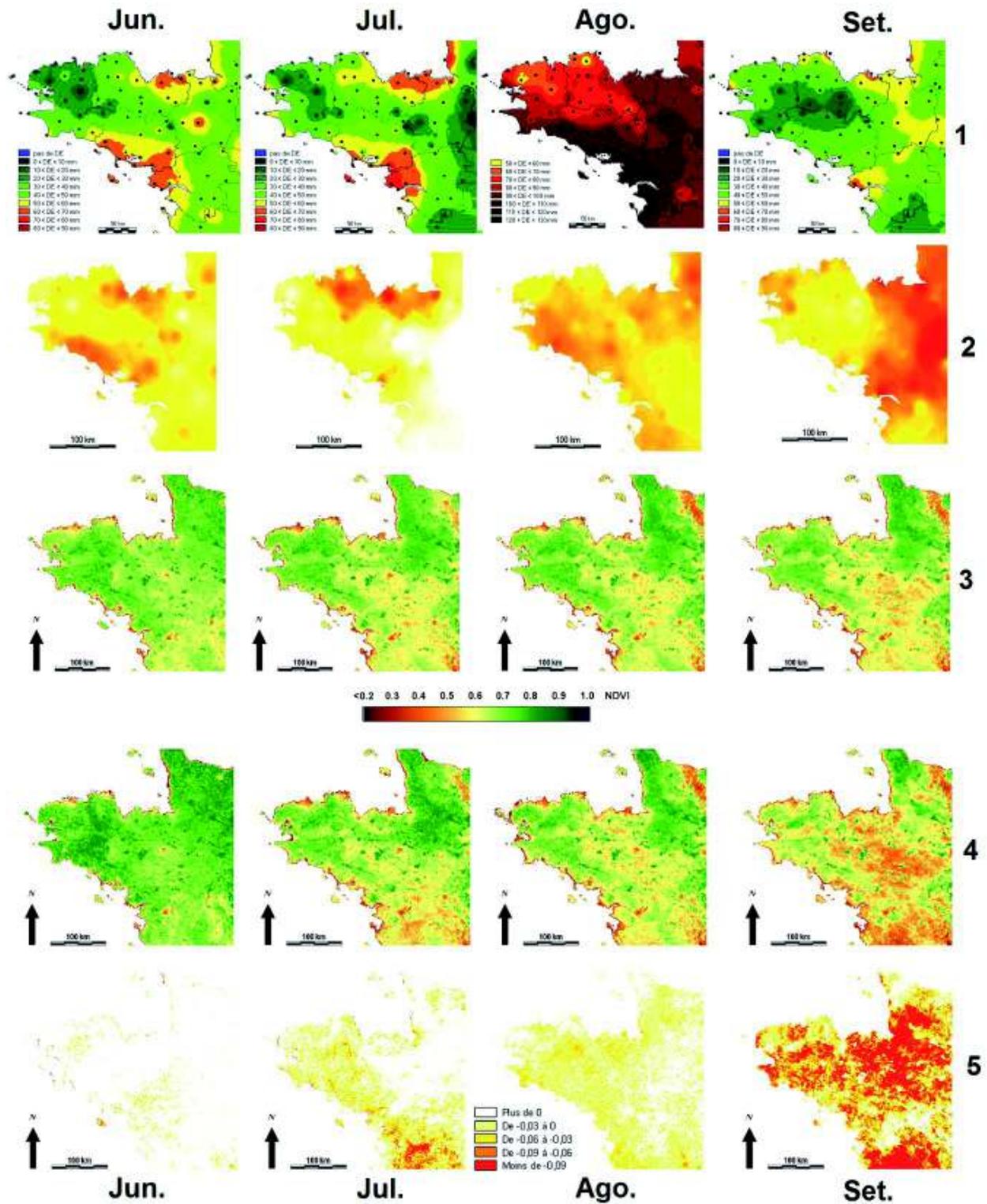


Figura 5 : Acompanhamento por balanço hídrico e teledeteção da seca de junho a setembro de 2003.

1 : Déficit da evaporação mensal.

2 : Anomalia do déficit comparado ao período 1999-2003

3 : NDVI SPOT-Vegetation média mensal do período 1999-2003

4 : NDVI SPOT-Vegetation 2003

5 : Diferença entre NDVI 2003 e NDVI média mensal do período 1999-2003

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Região reputadamente úmida, a Bretanha sofre de tempos em tempos com situações de estiagem prolongadas e pronunciadas, que em certos anos afetam com maior ou menor gravidade a produção agrícola. Este fenômeno não é recente pois estudos paleo-climáticos mostraram por exemplo que as florestas de carvalho também foram afetados por tais eventos climáticos (PLANCHON et al. 2008). A recrudescência destes fenômenos desde os fim dos anos 80 levanta a questão da relação com mudanças climáticas globais (IPCC, 2007). Desde cerca de um quarto de século mudanças significativas nos padrões de precipitação acompanham o aumento das temperaturas: a principal consequência é o aumento da deficiência hídrica no verão claramente evidenciado neste estudo. Assim, se a tendência persistir a influência meridional já sensível no litoral de Vendée se estenderá para latitudes mais altas, afetando o noroeste da França. Economicamente, problemas de abastecimento de água poderão surgir no oeste da França, forçando a reconsideração das orientações agrícolas bem como questões de gestão de desenvolvimento das bacias.

No entanto, o detalhamento espacial de um fenômeno tão complexo e difuso como a seca requer o uso de dados de sensoriamento remoto. Sensoriamento remoto permite uma melhor caracterização espacial do impacto da seca, o que é quase impossível apenas com uso de dados meteorológicos. O sistema GIS (Geographical Information System) pode cruzar todos os dados disponíveis sobre as culturas, clima e vegetação. Mas, se os dados a alta repetibilidade são adaptados, a resolução espacial dos sensores NOAA-AVHRR ou SPOT-Vegetation atingem os seus limites quando se trata de confrontar dados climáticos com os tipos de uso do solo específico. O uso de imagens diárias em resolução média (como dados do MODIS; LECERF et al. 2005; LECERF, 2008; FRETWELL, 2008) têm a vantagem de minimizar os efeitos dos atrasos e de pixels mistos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Região da Bretanha pelo apoio financeiro e a Beatriz Funatsu, pos-doutoranda no laboratório COSTEL, pela ajuda na tradução e correção científica desse trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BIROT, P. **Les régions naturelles du globe**. Paris: Masson, 1970.
- CHAMPEAUX J.L., ARCOS D., BAZIL E., GIRARD D., G et al. AVHRR-derived vegetation mapping over Western Europe for use in numerical weather prediction models. **International Journal of Remote Sensing**, 21, 2000. p.1235-1249.
- CNRS-ER30, avec la collaboration de l'Institut de Géographie, Université de Haute Bretagne: Carte Climatologique détaillée de la France au 1/250.000, Feuilles de Brest, Saint-Brieuc Lorient, Nantes, Rennes; Ed. Ophrys, Paris-Gap, 1981.
- DUBREUIL, V. Synthèse géographique de la sécheresse dans les régions océaniques, **La Météorologie**, 15, 1996. p. 22-34
- DUBREUIL, V.; MOUNIER, J.; LEJEUNE, C. L'accentuation récente du déficit estival dans la France océanique. **Publications de l'Association Internationale de Climatologie**, 11, 1998. p.151-157
- DUBREUIL, V. Un risque climatique à géographie variable : la sécheresse dans la France de l'ouest. In: **Les risques climatiques**, sous la direction de D. Lamarre, Belin-Sup, GDR RICLIM, 2005. p.147-173
- DUBREUIL, V.; PLANCHON, O. Bilan d'un siècle d'observation des sécheresses et des types de circulations atmosphériques associées à Rennes. **Actes du XXIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, Cluj, Roumanie, septembre 2009, pp.139-144
- GAUSSEN, H. L'indice xérothermique. **Bulletin de l'Association des Géographes Français**, 1952. p.10-16
- HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 7-11, 1986. p.1417-1434.

- IPCC. **Climate change 2007**. The physical science basis. Cambridge University Press, 2007. 996 p.
- KILSBY, C. G. (editor). **Water Resources: Influence of Climate change in Europe ENV4-CT97-0452**. Water Resource Systems Research Laboratory, University of Newcastle, Newcastle-Upon-Tyne, UK, 2001. 96p.
- LECERF, R.; CORPETTI, T.; HUBERT-MOY, L.; DUBREUIL, V. Monitoring land use and land cover changes in oceanic and fragmented landscapes with reconstructed MODIS time series. **2005 International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images**, 16-18 May 2005, Biloxi, USA, 2005. p 195-199.
- LECERF, R. **Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropiques et climatiques à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution** : application à la Bretagne. Thèse de Doctorat de géographie de l'Université Rennes 2, 2008. 326p.
- LLOYD-HUGHES, B. **The long-range predictability of European drought**. Doctoral thesis, University of London, 2002. 203p.
- LOUHALA, S.; FISCHER, A. et al. Classification de profils temporels de NDVI AVHRR/NOAA et sensibilité à l'occupation du sol et aux conditions climatiques en région tempérée, **Proceedings of the 5th International Colloquium – Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing**, Courchevel, 1991. p. 647-650.
- MARCHAND, J. P. **Climatologie, science humaine ?** Informatique et sciences humaines, 48, 1981. p. 43-57.
- MESTRE, O. **Méthodes statistiques pour l'homogénéisation de longues séries de données climatiques**, Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, 2000. 233 p.
- MOISSELIN, J. M.; SCHNEIDER, M.; CANELLAS, C.; MESTRE, O. Changements Climatiques en France au 20ème siècle. Étude des longues séries de données homogénéisées françaises de précipitations et températures. **La Météorologie**, 38, 2002. p. 45-56
- MOUNIER, J. Aspects et fréquences de la sécheresse en Bretagne. **Revue de Géographie de Lyon** 2, 1977. p. 167-176
- PLANCHON, O.; DUBREUIL, V.; BERNARD, V.; BLAIN, S. Contribution of tree-ring analysis to the study of droughts in northwestern France (XIX-XXth century). **Climate of the past Discussion**. 4, 2008. p. 249-270
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Greenbelt, Maryland, NASA/GSFC, 1974. 371p.
- STAHL, K. **Hydrological drought: A study across Europe**. Doctoral thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 2001. 122p.
- TUCKER C. J.; VANPRAET C. L.; SHARMAN M. J.; VAN ITTERSUM, G. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel. **Remote Sensing of Environment**, 17, 1985. p.233-249.
- TURC, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle ; **Annales Agronomiques**, 1, 1961. p.13-49.
- WANG J., PRICE K.P., RICH P.M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA., **International Journal of Remote Sensing**, 24-11, 2003. p. 2345-2364.

Base de dados:

Climateca, Météo France. <http://climatheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWeb/index.jsp>

Boletins mensais do Escritório Nacional Meteorológico da França, Biblioteca Climatológica do Laboratório COSTEL, UMR 6554, CNRS, Université Rennes 2.

Imagens SPOT : SPOT © CNES, Free VEGETATION Products (10 days synthesis) Disponível em : <<http://free.vgt.vito.be/home.php>>

Trabalho enviado em novembro de 2010
Trabalho aceito em dezembro de 2010