

Rezumatul tezei

Cuvinte cheie: schimbare climatică, analiza spectrală, analiza frecvențială, Wavelet, tendințe, variantă, serii climatice, zgomot roșu, omogenizare, climat, nivele de semnificație, modele statistice

Cuprins

Mulțumiri	3
1. Introducere	4
1.1. Contextul general al cercetării– analiza statistică a datelor climatice, limitele și posibilitățile de ameliorare a cercetării	6
1.2. Ipoteza principală a tezei – analizele statistice sunt utile în studiul climatului dar nu și auto-suficiente	11
1.3. Proiectul cercetării. Metode abordate	15
1.4. Tehnicile utilizate	16
2. Prezentare a utilităților statistice care sunt utilizate în analiza evoluției temporale a climatului unui sit	19
2.1. Abordările tradiționale ale analizei : un « <i>state of the art</i> » al metodei	20
2.1.1. Reconstituirea seriilor	22
2.1.2. Detecția rupturilor	23
2.1.3. Omogenizarea seriilor – abordări	33
2.1.4. Analiza tendințelor. Contribuții personale (I)	43
2.1.5. Detectarea tradițională a ciclurilor – analiza Fourier	55
2.2. Metoda Wavelet – un utilitar superior pentru analiza ciclurilor în seriile climatice	67
2.2.1. Wavelet : un mijloc de a ocoli principiul incertitudinii al lui Heisenberg	67
2.2.2. Wavelet: o analiză timp-scală mai degrabă decât timp-frecvență	75
2.2.3. Comparatie între metodele Wavelet și Fourier : superioritatea metodei Wavelet	76
2.2.4. Aportul metodologic al analizei Wavelet în analiza seriilor climatice	78
2.3. Contribuții personale (II) la ameliorarea analizei Wavelet în climatologie: demonstrarea aplicabilității metodei pentru serii de date zilnice de temperatură	83
2.3.1. Domeniul original de aplicabilitate al algoritmului Wavelet utilizat	85
2.3.2. Analiza algoritmului Wavelet utilizat	86
2.3.3. Condiții prealabile de aplicarea a acestui algoritm la serii zilnice de temperatură	91
2.3.4. Validarea teoretică a metodei Wavelet aplicată seriilor climatice simulate	92
2.3.4.1. Semnificația statistică - concept și domeniul de aplicabilitate	93
2.3.4.2. Testele de permutare	97
2.3.4.3. Abordarea « Monte Carlo »	100
2.3.4.4. Lanțurile Markov	103
2.3.4.5. Validarea metodei pentru cazul seriilor de temperatură simulate	107
2.3.4.6. Algoritm de generare « Metropolis-Hastings »	107
2.3.4.7. Validarea aplicată a metodei	108
2.4. Contribuții personale (III): Căutarea « discontinuităților frecvențiale » în	135

datele studiate	
2.4.1. Implementarea algoritmului de căutare a discontinuităților frecvențiale	144
2.4.2. Exemplul utilizării acestui algoritm asupra unor serii de date reale	147
2.4.3. Viitoare piste posibile ale cercetării	152
3. Aplicarea metodologiei asupra seriilor de date climatice	154
3.1. Starea actuală a cunoașterii: Europa	154
3.2. Date studiate	155
3.3. Rezultate detaliate pentru stația Salamanca, Spania	165
3.3.1. Analiza seriilor de temperatură și a indicilor derivați	166
3.3.1.1. Analiza rupturilor și tendințelor	167
3.3.1.2. Analiza aprofundată a rupturilor. Rupturi în variantă	180
3.3.1.3. Analiza indicilor derivați	184
3.3.1.4. Investigarea ciclurilor	196
3.3.1.5. Concluzii sintetice	200
3.3.2. Analiza seriilor de precipitații și a indicilor derivați	201
3.3.2.1. Analiza rupturilor și a tendințelor	201
3.3.2.2. Analiza indicilor derivați	204
3.3.2.3. Investigarea ciclurilor	208
3.3.2.4. Concluzii sintetice	211
3.4. Rezultate sintetice pentru domeniul temporal (tendințe)	212
3.4.1. Indici relativi la temperaturi	213
3.4.4. Indici relativi la precipitații	251
3.5. Rezultate sintetice pentru domeniul frecvențial (Wavelet)	264
3.5.1. Analiza temperaturilor	264
3.5.1. Analiza precipitațiilor	269
4. Concluzii generale	282
ANEXA	285
A1.1. Regresia liniară	285
A1.2. Zgomotul, puterea unui semnal, diferite tipuri de zgomot	293
Lista figurilor	300
Lista tabelelor	306
Bibliografie	308

Structura tezei

Această lucrare este structurată în 3 părți (și o anexă), din care prima prezintă în introducere domeniul cercetării, contextul și problematica din care izvorăște motivația acestei lucrări, proiectul cercetării și tehnicile utilizate.

Al doilea capitol prezintă metodologia, adică suportul teoretic din spatele analizelor statistice aplicate în studiul evoluției climatice a seriilor de date de măsură instrumentale, «de ce și cum», adică problemele vizate și cum pot fi ele adresate. O parte a acestui capitol detaliază contribuția mea personală la ameliorarea metodelor de analiză.

În a treia parte, aplic metodele detaliate asupra unui set de date – de serii climatice de temperatură și precipitații măsurate la 16 stații meteorologice europene. Prezint apoi rezultatele și abordarea critică asupra metodelor utilizate.

În final, aceste rezultate sunt sintetizate și rezultă într-o concluzie generală a tezei care răspunde problematicii inițiale a proiectului cercetării.

1. Introducere în domeniul cercetării

Motivație : Subiectul schimbării climatice este una din temele cele mai actuale la nivel global la începutul mileniului 3. Importanța concluziilor trase plecând de la rezultatele analizelor statistice devine din ce în ce mai importantă în contextul dezbaterii asupra încălzirii globale și a efectelor acesteia. Pentru a complica lucrurile, se știe că în statistică rezultatele nu depind doar de datele studiate cât și de metoda de analiză aleasă. În cadrul științific al analizei datelor climatice, găsim probleme ale validării datelor de intrare – serii care nu sunt omogene, datorită unor diverși factori non-climatici- și discuții asupra preciziei și adaptabilității diverselor metode statistice de analiză. În acest context, proiectul meu de cercetare este de a înțelege și a încerca să amelioroz metodologia, atât perfecționând utilitare inovatoare (analiza Wavelet) cât și în aplicarea acestor metode de analiză statistică asupra unor măsurători a unor diverși parametri climatici din Europa.

Context : În cadrul științific acoperit de această lucrare, ne situăm în statistica inferențială, adică construcția și validarea modelelor stohastice induse din date climatice experimentale. Climatologia este în cadrul științelor naturale o știință empirică, unde informațiile studiate sunt obținute prin observații, experiențe sau experimente. Dacă numărul observațiilor climatice devine din ce în ce mai mare, și aceste observații sunt accesibile și investigate simultan de diferiți cercetători la nivel mondial, un handicap major (în raport cu alte științe) se constituie prin imposibilitatea experimentării repetitive. Nu putem crea contexte climatice identice pentru a experimenta, deci pentru fiecare stare climatică studiată putem avea doar o singură mostră de observații instantanee. În acest context, experimentarea în climatologie se aplică replicilor virtuale, adică a modelelor de fenomene climatice, de la cele mai simple (modele lineare a tendințelor – o funcție matematică polinomială de gradul unu) la cele mai complexe, cum ar fi modelele generale de circulație, care simulează comportamentul atmosferei, al curenților oceanici și a radiației solare la nivel global. Studiul statistic al observațiilor climatice, comparația între rezultate și cu stări alternative simulate constituie conținutul acestei lucrări.

Problematica / Ipoteze ale cercetării: Chestiunea științifică abordată este de a ști dacă diversele metode științifice de analiză sunt suficient de precise, adaptabile și capabile de a distinge între datele de intrare corecte pentru a răspunde întrebărilor pe care societatea și le pune vis-a-vis de climat.

Am ales în a studia domeniul climatologiei în contextul particular de la începutul mileniului III, unde problematica zilei este încălzirea globală. De la formarea sa în 1988, IPCC a elaborat patru Rapoarte de Evaluare în 1990, 1995, 2001 și 2007 însoțite de sinteze pentru actorii politici (*Summary for Policymakers*) evidențiind: existența unei schimbări climatice, a se vedea încălzirea ; conexiunea între această încălzire și activități antropice (emisiile de dioxid de carbon și alte gaze cu efect de seră) – și în final previziuni pentru viitorul apropiat (secolul XXI) bazate pe diverse modele de circulație globală.

În acest context, motivația de a analiza/reanaliza serii climatice vrea să răspundă sau să confirme întrebări asupra dinamicii climatului. Această motivație m-a condus în proiectul de cercetare abordat în această lucrare.

Proiectul cercetării: Lucrarea prezintă o abordare interdisciplinară, care reunește termeni din știința statisticii cu cei din climatologie. Pentru a se ancora cu adevărat în cele două domenii, trebuie să prezentăm înainte de toate – dintr-o perspectivă care corespunde punctelor dezvoltate în teză – câteva întrebări apărute în acest domeniu, și apoi să prezentăm fuziunea lor. Putem reflecta asupra unei liste departe de a fi exhaustivă, de astfel de puncte :

- Sunt datele analizate apte din punct de vedere calitativ pentru analiză ?
- Sunt datele analizate reprezentative, din punct de vedere regional sau temporal ?
- Sunt formulele utilizate pentru modelare adaptate obiectivelor cercetării și datelor de intrare ?
- Ar fi posibil să se îmbunătățească mijloacele de analiză, anume să adăugăm o contribuție personală în domeniu ?

Tehnici utilizate : Cercetarea din cadrul tezei se fondează pe un acquis statistic și metodologic existent în domeniul analizei seriilor temporale, majoritatea mijloacelor statistice de analiză provenind din econometrie și fiind importate în studiul seriilor de date climatice. Considerând alegerea problematicii, în cadrul ipotezelor de lucru și a diverselor întrebări pe care problematica aleasă le pune, m-am concentrat pe obiective de cercetare tangibile, și acestea ar fi :

- Detectarea și măsurarea schimbărilor climatice existente, în perioada recentă instrumentală (1945-2008), pentru un număr (16) de stații meteorologice monitorizate din Europa, prin metode de investigare climatice, folosind ca date de intrare serii de temperaturi minime și maxime și de precipitații zilnice.
- Elaborarea unui algoritmi și software-ului corespunzător pentru analiza spectrală a acestor serii folosind descompunerea Wavelet continuă (CWT), pentru a identifica prezența sau absența de cicluri în aceste serii.

2. Metodologie - Prezentare generală a unor instrumente statistice care sunt utilizate în analiza evoluției în timp a climatului unui sit

Pentru a intra în detaliu cu privire la metoda de analiză ("cum"), am realizat o enumerare a stării actuale a cercetării "*state of the art*" a metodelor consacrate (cap. 2.1.) și prezint scopul aplicării acestor metode:

- reconstrucția seriilor (capitolul 2.1.1.)
- detectarea rupturilor (capitolul 2.1.2.)
- omogenizarea seriilor (capitolul 2.1.3.)
- analiza tendințelor (capitolul 2.1.4.)
- analiza ciclurilor (capitolul 2.1.5.)

În capitolul 2.2 voi prezenta instrumentele necesare pentru a investiga seriile climatice din punct de vedere al frecvenței: analiza Fourier și analiza Wavelet.

În capitolul 2.3. voi prezenta în detaliu contribuția mea personală la îmbunătățirea analizei statistice a seriilor climatice bazată pe abordarea Wavelet, unde se concentrează cea mai mare parte a eforturilor mele teoretice.

În capitolul 2.4. prezint un instrument pe care l-am creat, în scopul de a identifica discontinuități în frecvență.

2.1. Abordările consacrate de analiză: un „*state of the art*” a metodei

Prezint un « *state of the art* » a abordărilor existente în reconstrucția seriilor (Cap. 2.1.1.) și de detectare a anomaliilor sau rupturilor (Cap. 2.1.2.) pe care trebuie să le identificăm ca “naturale” sau “artificiale”.

Pentru a rezolva această problemă critică, multe proceduri statistice de omogenizare pentru detectarea și corectarea neomogenităților au fost dezvoltate.

2.1.1. Reconstrucția seriilor

Reconstrucția datelor este o metodologie elaborată de climatologi și meteorologi pentru a elimina neconcordanțele în seriile de timp din cauza unor factori independenți de climat, cum ar fi schimbarea locației postului, schimbarea mediului din vecinătatea stației, o schimbare în instrumente sau o schimbare de operator. Odată seria reconstruită, aceasta se comportă ca și în cazul în care stația meteo ar fi făcut observațiile de-a lungul istoriei sale în configurația sa actuală. Obiectivul atins este disponibilitatea, fiabilitatea și coerența seriilor istorice de date meteorologice.

2.1.2. Detecția rupturilor

Într-un sens mai larg, autori precum Hare & Mantua (2000), S. Rodionov (2006) și Scheffer & Carpenter (2003) iau în considerare un "regim", ca o stare *stabilă* a unui sistem (climatic), și o "schimbare de regim" (engl. regime shift), ca o tranziție (bruscă) de la un regim la altul. Acestea sunt numite puncte de tranziție "rupturi" (engl. *discontinuities*).

O "ruptură" poate fi definită printr-o schimbare în distribuția de probabilitate a variabilelor aleatoare ale căror realizări succesive definesc seriile de timp studiate (Lubès -Niel, Masson, Paturel, și Servat, 1998).

Modificările în medie sunt tipul cel mai frecvent discutat în literatura de specialitate (Khodja, Lubès-Niel, Sabatier, Servat și Paturel, 1998). Definiția schimbărilor de regimul de climatic, de exemplu, se bazează deseori pe "diferențele între nivelurile medii climatice pe o perioadă de mai mulți ani" (Overland & Wang, 2005).

Mai multe abordări pot fi distinse:

- metode parametrice, ca și testul t «clasic». Aceste metode necesită ipoteze asupra distribuției datelor (funcții de densitate de probabilitate).
- Metode non-parametrice, cum ar fi testul U al lui Mann-Whitney, suma rangurilor lui Wilcoxon sau testul Mann-Kendall. Pentru acestea, nicio ipoteza asupra distribuției (f.d.p.) nu este necesară.
- Metode de ajustare a unor curbe
- Analiza bayesiană și variații ale sale, cum ar fi metodele « Monte-Carlo » bazate pe lanțuri Markov
- Metode bazate pe regresie
- Metode de suma cumulată (CUSUM)
- Metode secvențiale

Există mult mai puține metode capabile să detecteze schimbările de regim în statistici de rangul al doilea, cum ar fi varianta și spectrul de putere. Un grup distinct de metode include metodele multivariate care sunt puse la punct pentru detectarea schimbărilor în ansamblul structurii unor sisteme complexe.

Contribuții personelle (I) : un algoritm de analiză a schimbărilor de tendință

Ținând cont de faptul că, cel puțin pentru seriile anuale găsim uneori (dacă lungimea seriei o permite : mai mult de 30 sau 40 de ani !) mai multe tendințe aparente, trebuie decis în ce mod (cu ce « fereastră » de timp) aplicăm regresia simplă pentru a investiga tendințele. Notă : acest tip de abordare este similară testului Mann-Kendall (analiza seriei de statistici M.-K. cumulative) și a celui lui Farley & Hinich (1970). În schimb această abordare se bazează pe existența unui (singur) moment de schimbare radicală (inversarea tendinței), care este mult mai evident și ușor de reperat decât o schimbare climatică detectată de testele M.-K. sau o subtilă alterare a pantei (global pozitivă sau negativă). Am programat de asemenea acest utilitar în MATLAB, și am aplicat programul realizat asupra unor serii climatice diverse. De exemplu, aplicând acest algoritm unor temperaturi anuale minime la Salamanca (1948-2008), observăm multe tendințe de creștere și descreștere (8 ↓, 11 ↑) pentru intervale de 22 ani sau mai mult, ca și în figura următoare (Fig. 3.), unde anul 1974 este identificat ca moment de schimbare a tendinței :

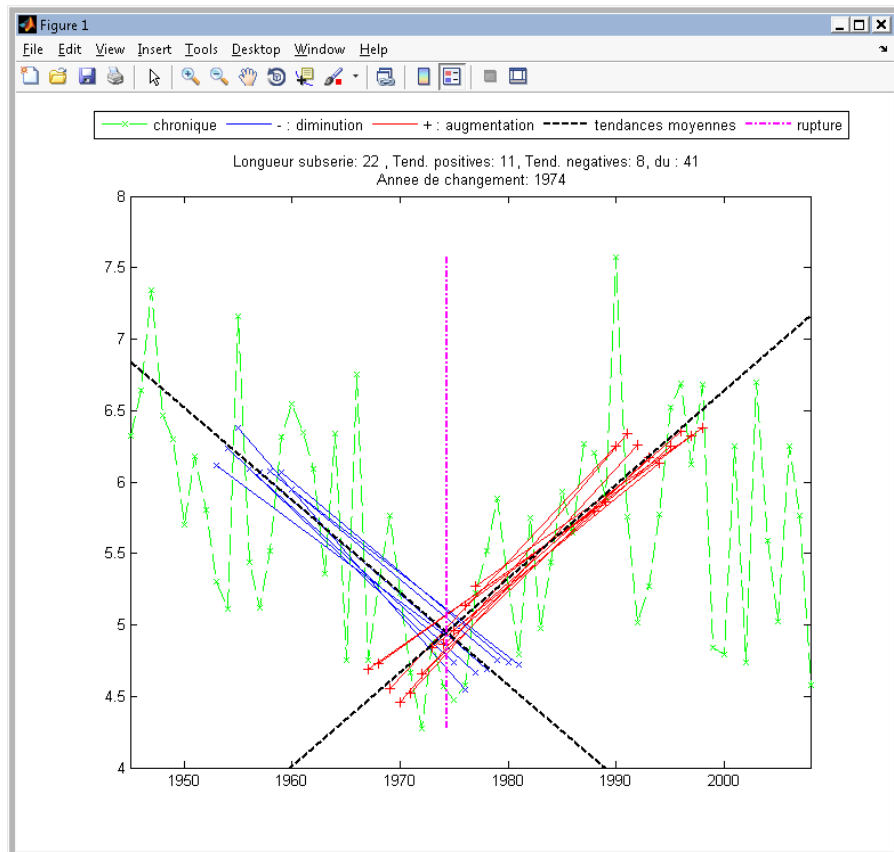


Figura 1. Exemplu (Salamanca, temperaturi minime anuale 1945-2008; fereastra de 22 ani pentru regresie) de aplicare a algoritmului: observăm tendințe descrescătoare în prima jumătate a seriei, urmate de tendințe crescătoare în a doua jumătate. Anul 1974 este identificat ca an de schimbare de regim

2.1.5. Detectarea tradițională a ciclurilor – analiza Fourier

Din punct de vedere al analizei și identificării ciclurilor, distingem abordări frecvențiale și lineare, cum ar fi analiza ciclurilor autocorelațiilor în serii. Analiza Fourier, de la Joseph Fourier (autorul seriei care îi poartă numele), constă în descompunerea unei funcții sinusoidale (numită funcție de bază) în frecvențe diferite care pot fi recombinate pentru a obține funcția originală.

Transformata Fourier în ferestre (STFT¹)

Din punct de vedere matematic, există două timpuri de transformări Fourier în fereastră : cea continuă și cea discretă Pentru că în climatologie se folosește doar cea discretă, doar

¹ STFT : Short Time Fourier Transform (anglais) ou transformée Fourier à fenêtre

aceasta va fi prezentată, atât din punct de vedere teoretic cât și folosind un exemplu practic.

În cazul transformatei discrete, datele de analizat sunt divizate în «intervale» sau «ferestre». Se aplică transformata Fourier fiecărei astfel de ferestre, și adăugăm rezultatul (aparținând domeniului complex), unei matrici care memorează amplitudinea (m) și faza (ω) pentru fiecare punct din spațiul timp/frecvență.

Un dezavantaj major al SFTF este lipsa sa de precizie. Lățimea în timp a ferestrei este direct legată de precizia în frecvență : cu cât fereastra este mai largă, cu atât regăsim o mai precisă poziționare în frecvență (și invers, o slabă precizie în localizarea temporală a unui semnal tranzitoriu), în timp ce o fereastră mai îngustă dă o mai bună precizie temporală, însă o slabă precizie frecvențială (Fig. 4.).

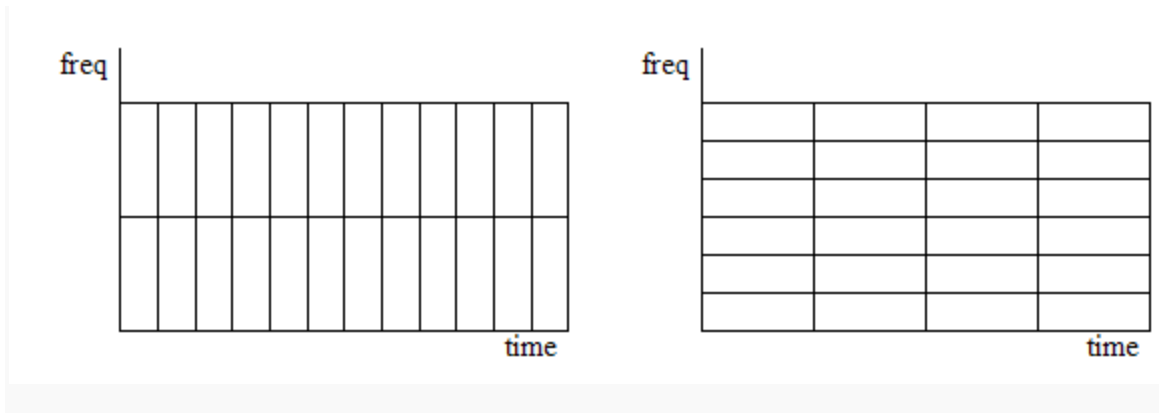


Figura 2. Comparaiție pentru ilustrarea preciziei STFT. Stânga: o mai bună precizie temporală ; la dreapta : o mai bună precizie frecvențială.

Incertitudinea în localizarea simultană în timp și frecvență

Acest dezavantaj este o consecință directă a principiului de incertitudine al lui Heisenberg pe care îl prezint în cele ce urmează, care postulează ca o localizare precisă simultană în timp și frecvența este mutual exclusivă.

Exemplu ²

Luând un semnal ca exemplu $x(t)$, care este compus din patru semnale de frecvențe diferite, unul după altul. Frecvențele sunt de 10, 25, 50 și 100 Hz :

² De http://en.wikipedia.org/wiki/Short-time_Fourier_transform#Example

$$x(t) = \begin{cases} \cos(2\pi 10t/s) & 0 \text{ s} \leq t < 5 \text{ s} \\ \cos(2\pi 25t/s) & 5 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s} \\ \cos(2\pi 50t/s) & 10 \text{ s} \leq t < 15 \text{ s} \\ \cos(2\pi 100t/s) & 15 \text{ s} \leq t < 20 \text{ s} \end{cases}$$

Aplicant STFT cu ferestre de 25, 125, 375 respectiv 1000 ms (Fig. 6. a, b, c, d)

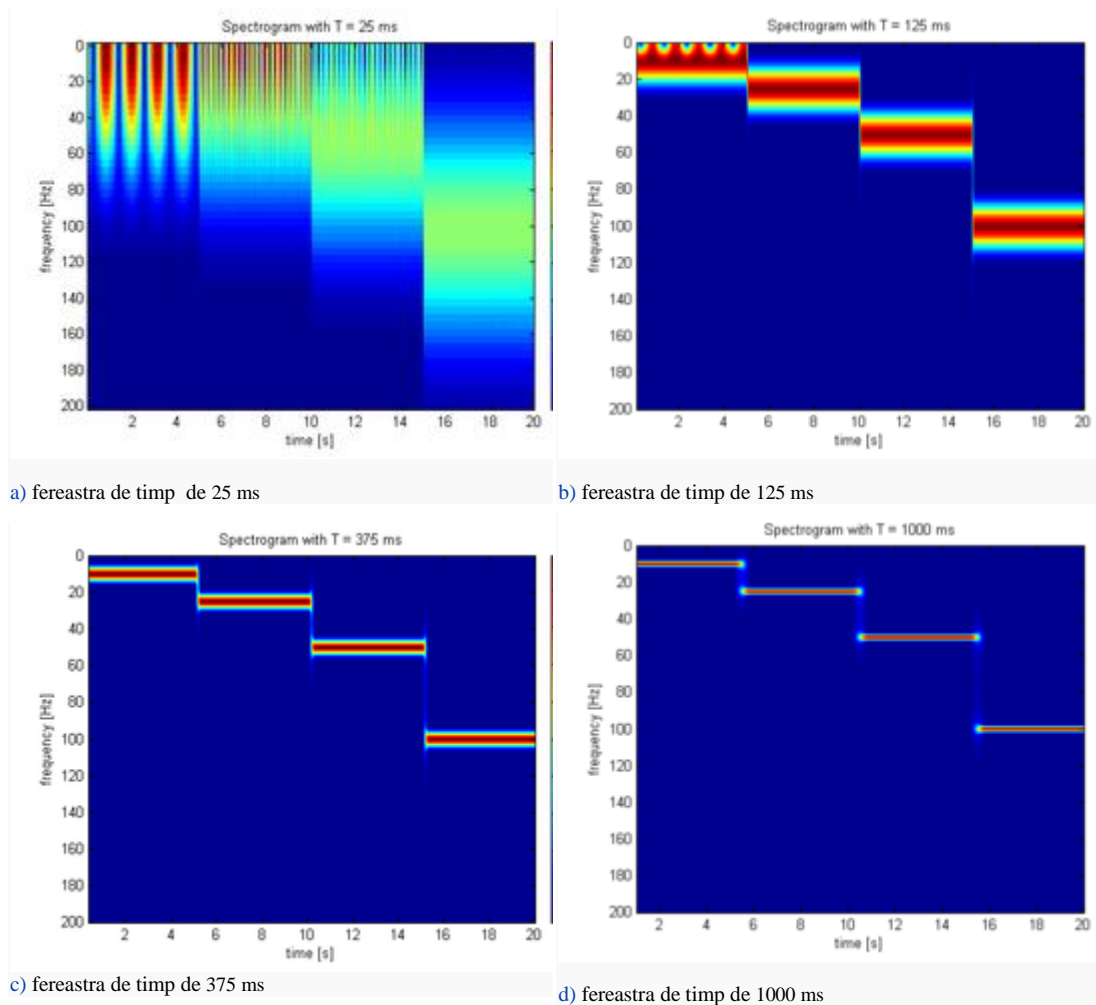


Figura 3. Spectrograme STFT ale unui semnal-exemplu, pentru ferestre de lungimi variabile:

a) 25 ms; b) 125 ms; c) 375 ms; d) 1000 ms

2.2. Metoda Wavelet – un utilitar superior pentru analiza ciclurilor în seriile climatice

Permițând reprezentarea semnalelor luând un calcul atât informația temporală cât și cea frecvențială, transformata Wavelet constituie un progres față de abordarea mai învechită a STFT, pentru că metoda Wavelet permite ocolirea incertitudinii din principiul lui Heisenberg.

2.2.1. Wavelet : un mijloc de a ocoli principiul incertitudinii lui Heisenberg

Avantajul metodei Wavelet este de a evidenția procese nestaționare și de a localiza perturbații la scala temporală și frecvențială.

Transformarea *Wavelet*³ utilizează descompunerea unei serii temporale în combinații ale unei unde Wavelet « mama » (sau prototip). Apariția acestei metode reprezintă un salt calitativ în interpretarea rezultatelor în domeniul timp-frecvență. Meyer (1990) considera că « *invers față de transformata Fourier, coeficienții unei serii Wavelet traduc într-un mod simplu, precis și fidel proprietățile funcțiilor, cel puțin proprietățile corespunzătoare unei discontinuități sau element neprevăzut* ». În Fig. 8 se arată exemplul unei desfolosite unde Wavelet, anume cea a lui Morlet. Pentru transformata Wavelet continuă, mai multe tipuri de Wavelet-mama au fost definite (Haar, pălăria mexicană etc.), fiecare cu proprietăți specifice, adaptate unor analize diverse.

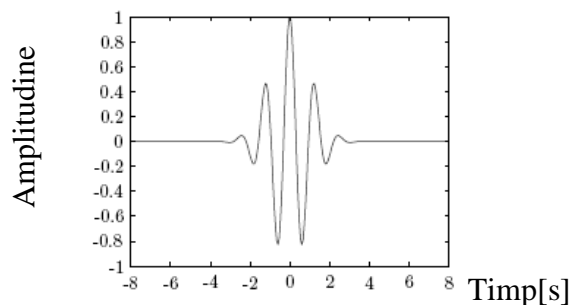


Figura 4. Unda Wavelet a lui Morlet (definită în domeniul numerelor reale, adică fără componenta complexă)

Conceptul inovator de scală, introdus de metoda Wavelet în plus față de analiza Fourier este puțin diferit de cel de « frecvență ». Dacă analiza Fourier folosește o sinusoidă

³ Le terme anglais « Wavelet » provient du français « ondelette » introduit par Jean Morlet (Morlet, 1982) dans les années '80 (<http://en.wikipedia.org/wiki/Wavelet#Overview>).

limitată temporală o fereastră pe care o facem să alunece în lungul intervalului studiat, undele Wavelet sunt forme de undă de durată limitată temporal, care au o formă identică însă diferă prin mărime.

2.2.2. Wavelet : o analiză timp-scală mai degrabă decât timp-frecvență

În mod diferit față de analiza Fourier, care nu necesită informații apriori cunoscute (cu prețul incertitudinii lui Heisenberg), analiza Wavelet « ocolește » această incertitudine, adăugând informație deja cunoscută de la început în analiza : ipoteza că fenomenele studiate, care în total formează semnalul analizat, au o formă tranzitorie, de impuls simetric, cu o formă aleasă de analist așa încât să se plieze cel mai bine pe caracteristicile procesului studiat.

2.2.3. Comparație între metodele Wavelet și Fourier : superioritatea metodei Wavelet

Din punct de vedere fizic, o serie temporală este un *semnal* sau o compunere de *semnale*. Un proces poate să fie *staționar* (Fig. 10./1.a.γ) – cu proprietăți statistice invariante în timp (cum ar fi zgomotul alb), sau *tranzitoriu*, (Fig. 10./1.a. α, β) – cu o probabilitate aleatoare de apariție în timp (Meyer, 1992). În mod diferit de descompunerea Fourier, (Fig. 10./1.b), în frecvență, algoritmul *Wavelet* funcționează în spațiul timp-scală. Pentru o interpretare mai intuitivă, rezultatele procesului pot fi (și sunt) reprezentate la fel de bine în spațiul timp-frecvență ca și în cel timp-scală. (Fig 10./1.c).

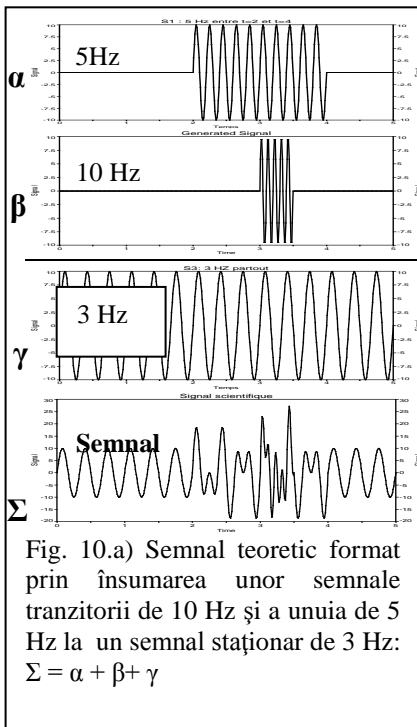


Fig. 10.a) Semnal teoretic format prin însumarea unor semnale tranzitorii de 10 Hz și a unui de 5 Hz la un semnal staționar de 3 Hz: $\Sigma = \alpha + \beta + \gamma$

Fig.10. Analiza unui semnal teoretic(a) prin două metode frecvențiale (b) și (c)

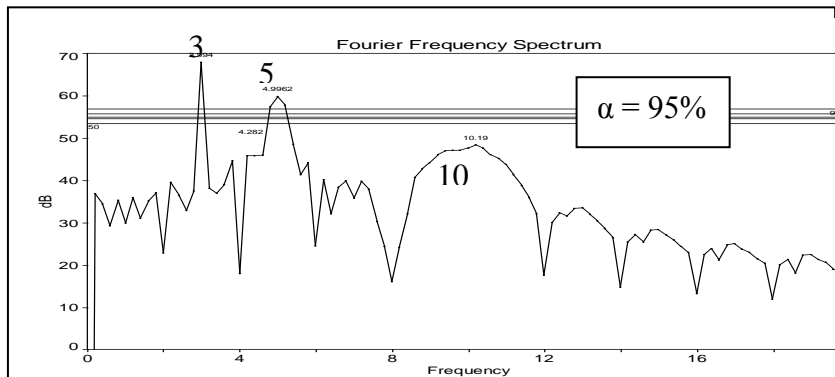


Fig.10. b) **Spectrul Fourier al frecvențelor:** valorile 3 și 5 au fost detectate cu o încredere statistică mai mare de 99%, iar frecvența de 10 Hz apare detectată sub limita intervalului de încredere statistică de 95%.

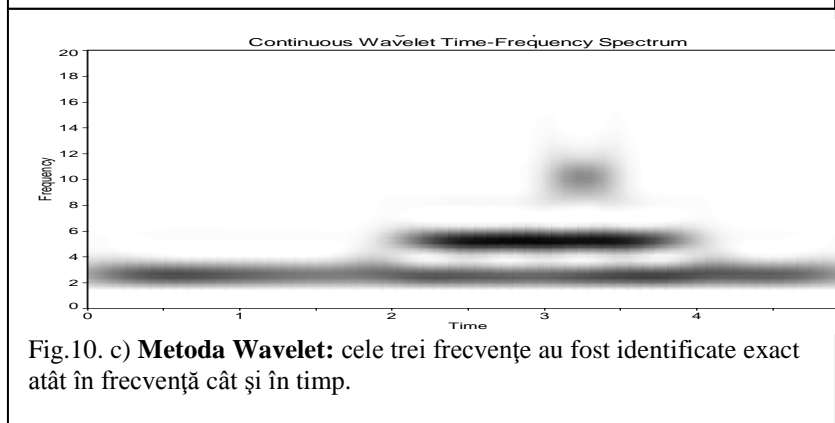


Fig.10. c) **Metoda Wavelet:** cele trei frecvențe au fost identificate exact atât în frecvență cât și în timp.

Figura 5. Comparație între metodele de analiză Wavelet și Fourier

În figura de mai sus, analizele Wavelet și Fourier au fost aplicate aceluiași semnal, ceea ce permite compararea rezultatelor celor două metode de analiză.

Din punct de vedere tehnic, algoritmul Wavelet funcționează în spațiul timp-scală și nu în cel timp-frecvență. Pentru o interpretare mai intuitivă, rezultatele procesului sunt reprezentate ca periodicități ($1/f$). Valorile de maximă amplitudine rezultate din analiza Wavelet situate în spațiul timp-frecvență sunt (din punct de vedere climatic), armonice (semnale staționare – Fourier) asociate unor fenomene care au loc pe tot parcursul seriei (de exemplu, ciclul sezonier anual) – sau *perturbații* (semnale tranzitorii), anume fenomene individuale, care pot apărea oricând într-o serie (Mateescu & Haidu, 2006).

Transformarea *Wavelet* utilizează descompunerea unei serii temporale în combinații de unde prototip ; apariția metodei reprezintă un salt calitativ în interpretarea rezultatelor din

domeniul timp-frecvență (analiza echivalentă STFT: *Short Time Fourier Transform* care are o proastă rezoluție temporală în combinație cu rezoluția frecvențială (Torrence & Compo, 1998)).

2.2.4. Aportul metodologic al analizei Wavelet în analiza seriilor climatice

În prezent lucrările bazate pe analiza seriilor cronologice conduc la rezultate importante, Anderson și Woodhouse (2005) considerând transformata Wavelet ca fiind „elegantă și adecvată” pentru analiza seriilor cronologice climatice. Analiza seriilor climatice prin metoda Wavelet a atins un grad ridicat de maturitate, permițând analize competente în diferite domenii. Studiile realizate deja prin metode mai susținute (identificarea tendințelor, a rupturilor în medie sau variantă, auto-regresia) pot fi completate de metoda de analiză Wavelet, un punct forte al acesteia fiind descoperirea problemelor „ascunse” vizibil numai într-un spectru de frecvență.

2.3. Contribuții personale (II) la ameliorarea analizei Wavelet în climatologie: demonstrarea aplicabilității metodei pentru de date zilnice de temperatură

Capitolul 2.3. prezintă contribuția mea personală la ameliorarea analizei Wavelet în climatologie Aceasta constă în multe programe de soft-uri statistice, instrumente pe care le folosesc mai întâi pentru a introduce un instrument existent și aplicat în climatologie pe un tip diferit de date: datele de măsurare zilnică a temperaturii. Dezvolt mai mult aceste metode pentru a le folosi pentru analizele climatice ale datelor experimentale (în Cap. 3.).

În prezent există trei tipuri de contribuții potențiale ale acestei teze la metoda de cercetare în vederea unei aplicări în climatologie:

- Metodologică, prin dezvoltarea algoritmului de lucru, prin prezentarea metodei pentru aplicațiile climatice și, mai ales, prin validarea sa în folosirea datelor climatologice care diferă pe deplin de datele pentru care metoda a fost imaginată. S-a continuat cu o validare empirică a ipotezelor metodei (Cap. 2.3.4.)

- De inovație, căci utilitarul publicat de către cercetătorii (Grinsted, Moore, & Jevrejeva, 2004) arată inconvenientul rezultatelor de neînțeles. Graficele care rezultă sunt accesibile cu ușurință interpretării umane, dar nu sunt deloc practice pentru o analiză

automată (mai degrabă rezultate calitative decât rezultate cantitative). O a doua contribuție originală a prezentei cercetări ar constitui-o extinderea acestui soft pentru a adăuga o ieșire sub formă de tabele sintetice, ceea ce ar permite algoritmului să fie folosit într-un mediu automatizat. (Cap. 2.4.)

- Aplicată, căci studiile de caz întreprinse până aici (Haidu 1987) (Haidu 2002) și (Mares 2005) pot fi repetate prin metoda Wavelet, pentru ca apoi să se recurgă la o analiză comparativă a rezultatelor. Cercetarea propriu-zisă are ca scop studierea prin această metodă a seriilor de parametri hidro-climatici din Europa pentru a permite identificarea aspectelor anormale (Mateescu, 2006). (Cap. 3.)

Testul perturbațiilor în frecvență, pe care l-am introdus, se bazează pe analiza Wavelet și se sprijină foarte mult pe calculul valorilor raportului statistic. Autorii soft-ului de analiză (Torrence & Compo, 1998) utilizează metoda pe o serie de timp climatic (NINO3) care are aproximativ o distribuție normală. Metoda de analiză a seriilor climatice bazată pe abordarea Wavelet prezentată de Torrence & Compo (1998) implică deci o distribuție gaussiană a datelor. Datele zilnice de temperatură care vor fi investigate nu au o distribuție normală și deci nu se situează în cadrul „ipotezelor inițiale cerute” pentru aplicarea metodei. Pentru a putea, totuși, trata acest tip de date prin metoda Wavelet voi demonstra în continuare aplicabilitatea metodei printr-o abordare empirică.

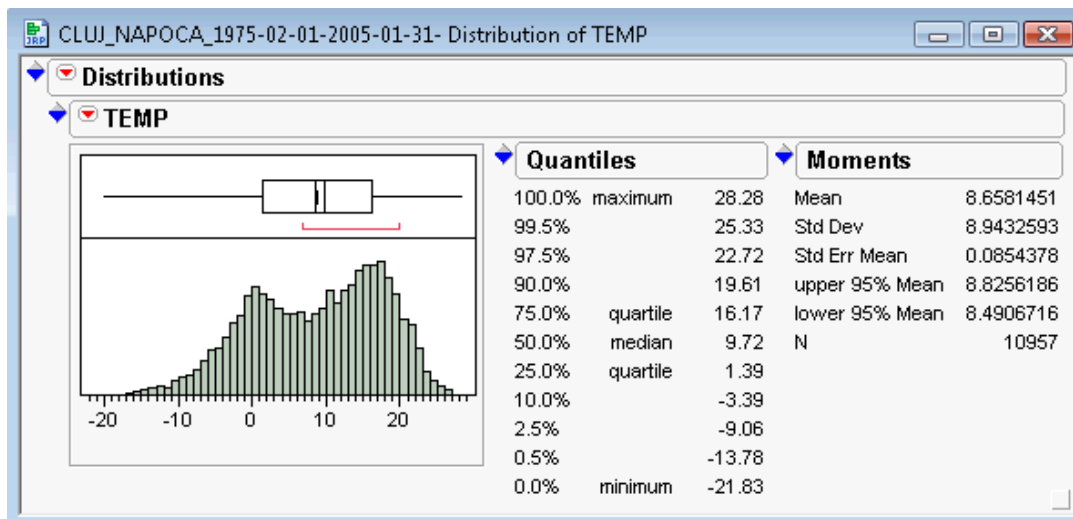


Figure 13. Exemplu de distribuție bimodală tipică pentru seriile de temperaturi zilnice:

Cluj-Napoca, temperatura medie zilnică, între 1975 și 2005

Distribuția statistică a precipitațiilor (Fig. 14.) nu este niciodată gaussiană, distribuțiile gamma sau de Weibull (Buishand R. A., 1978), (Wilks, 1999) sunt mai degrabă utilizate pentru aproximarea funcției de densitate de probabilitate.

Validarea empirică a semnificației statistice este făcută prin aplicarea unei baterii cu mai mult de 10000 simulări – metoda « Monte Carlo » a seriilor climatice autocorelate (AR1), generate de algoritmul « Metropolis-Hastings ». Pentru generarea seriilor de temperatură am omis în mod intenționat unda purtătoare și nu am ales metoda « bootstrapping » (prea gurzmandă în calcule), ci generarea prin « Monte Carlo » a lanțurilor Markov (MCMC). Această abordare este folosită de asemenea în abordarea bayesiană de detectare a rupturilor și se sprijină pe generarea seriilor replici aleatorii și compararea seriei – martor (reală) cu replicile sale. Pentru un număr de 10000 eșantioane aleatorii generate prin metoda MCMC, am calculat spectrul Wavelet și puterea sa (pătratul complex al spectrului Wavelet) pentru a valida ca (Torrence & Compo, 1998) distribuția fiecărei celule octavă/timp hi-pătrat.

Spectrul Wavelet 3D al unui eșantion aleatoriu (1)

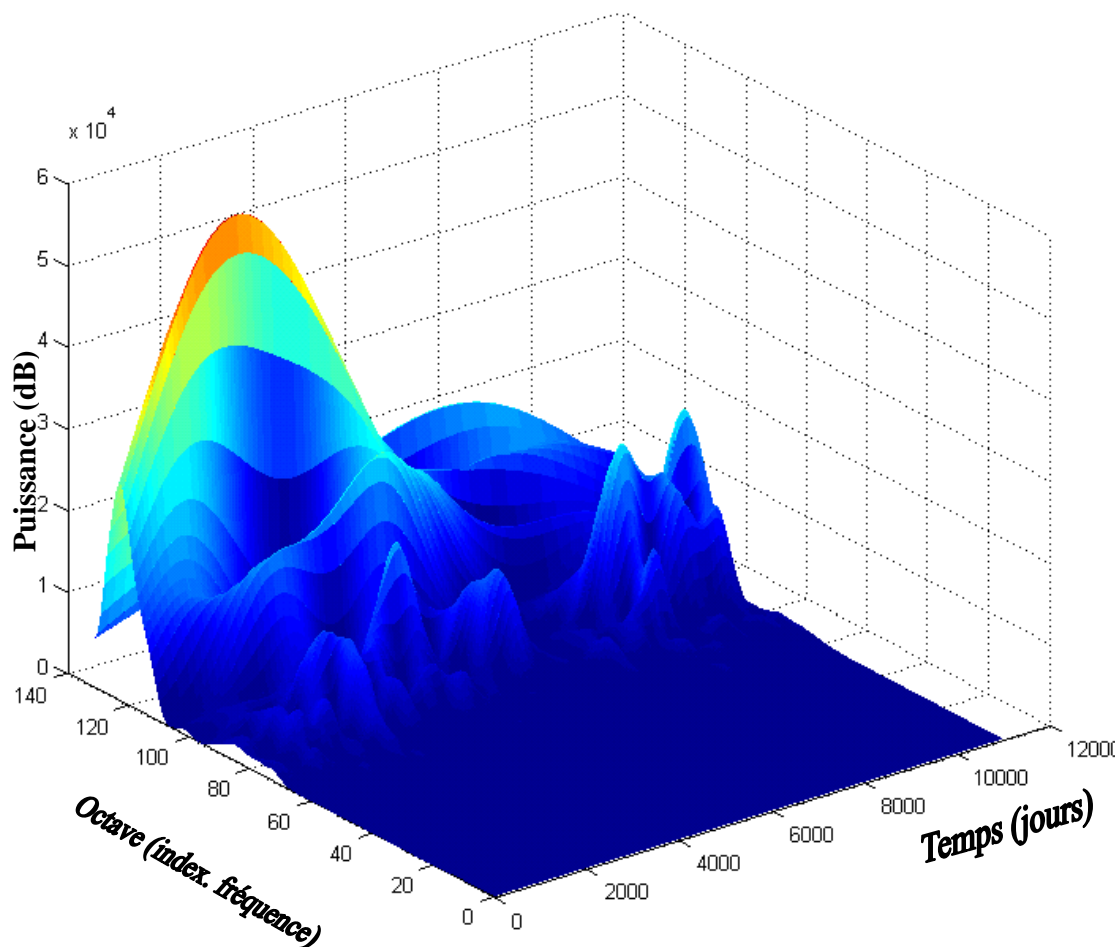


Figura 29. Spectru Wavelet 3D al unui eșantion aleatoriu

Distribuția spectrului de putere frecvențial: Urmând recomandarea lui Torrence & Compo (1998) spectrul de putere al transformatei Wavelet pentru toate cele 10000 de eșantioane, pentru celulele mai multor octave care nu au fost afectate de conul de influență, distribuția puterii era într-adevăr repartizată hi-pătrat. Deci, metoda se aplică și pentru seriile climatice de tip ne-gaussian al distribuțiilor.

2.4. Contribuții personale (III): Cercetarea "discontinuităților frecvențiale" din datele studiate

Sensibilitatea încercărilor este mult mai puțin ridicată în cazul seriilor medii, în care o posibilă eroare de măsurare se ascunde prin adăugarea adevăratelor măsurări care atenuază această eroare și o fac mai puțin vizibilă diferitelor încercări, ceea ce nu corectează neapărat o serie, ci mai degrabă, scade erorile la nivele tolerabile sau insesizabile. Având în vedere că avantajul metodei Wavelet este de a evidenția procesele nestaționare și de a localiza perturbațiile la scară temporală și frecvențială, se dezvoltă un algoritm de detectare a aberațiilor din spațiul frecvențial. Atât în mod empiric cât și teoretic se dovedește că algoritmul poate detecta aberații pe care alte teste nu reușesc să le identifice.

Seria teoretică prezentată va fi deci bruiată cu un zgomot roșu de amplitudine comparabilă și cu un coeficient de auto-regresie de $2/3$.

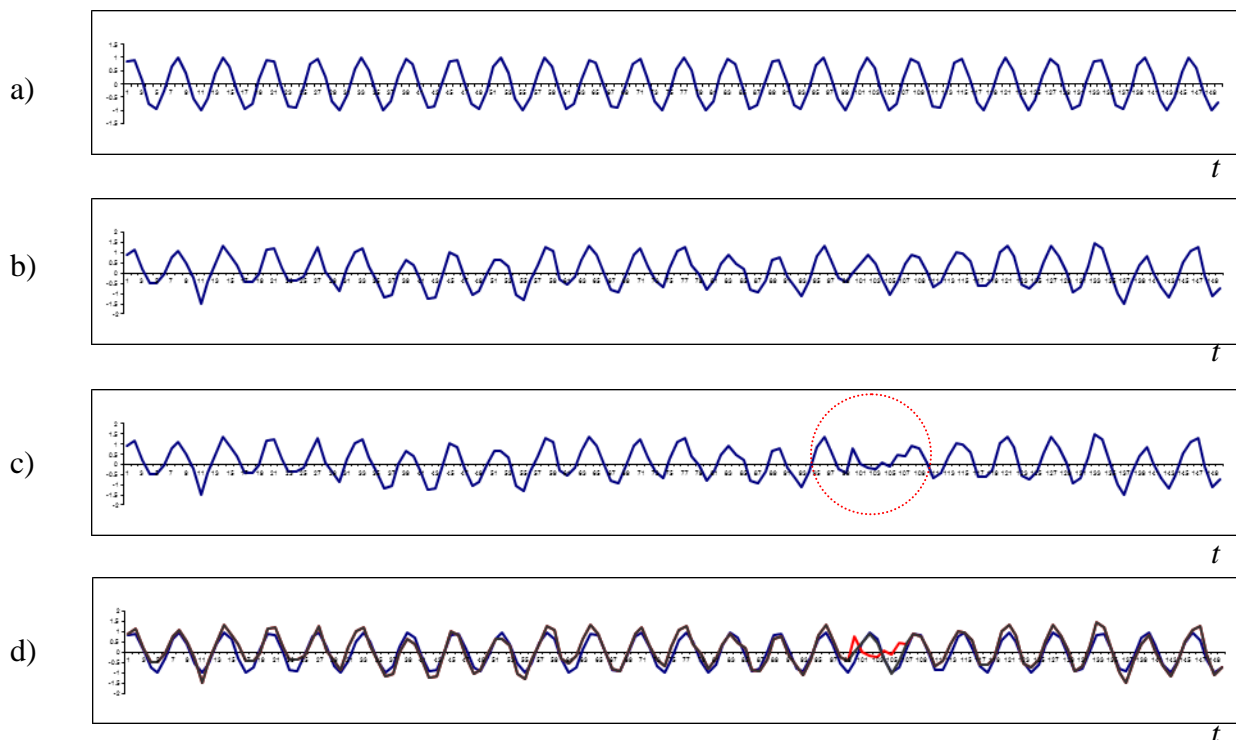


Figura 36. Realizarea seriei bruiate și perturbate: a) sinusoidă originală; b) sinusoidă bruiată; c) adăugarea unei perturbații sinusoidelor bruiate (zonă marcată de cercul roșu); d) suprapunerea lui a) (albastru), b) (gri) și c) (roșu) pentru a evidenția diferențele

Având în vedere că se iau, din zona perturbației artificiale, valori ale unei distribuții normale cu aceeași medie ca și semnalul original (egal cu 0), nu există rupturi în medie. Pentru a continua se testează seria perturbată și bruiată (Fig. 36.) prin metoda Wavelet, obținând (Fig. 37.):

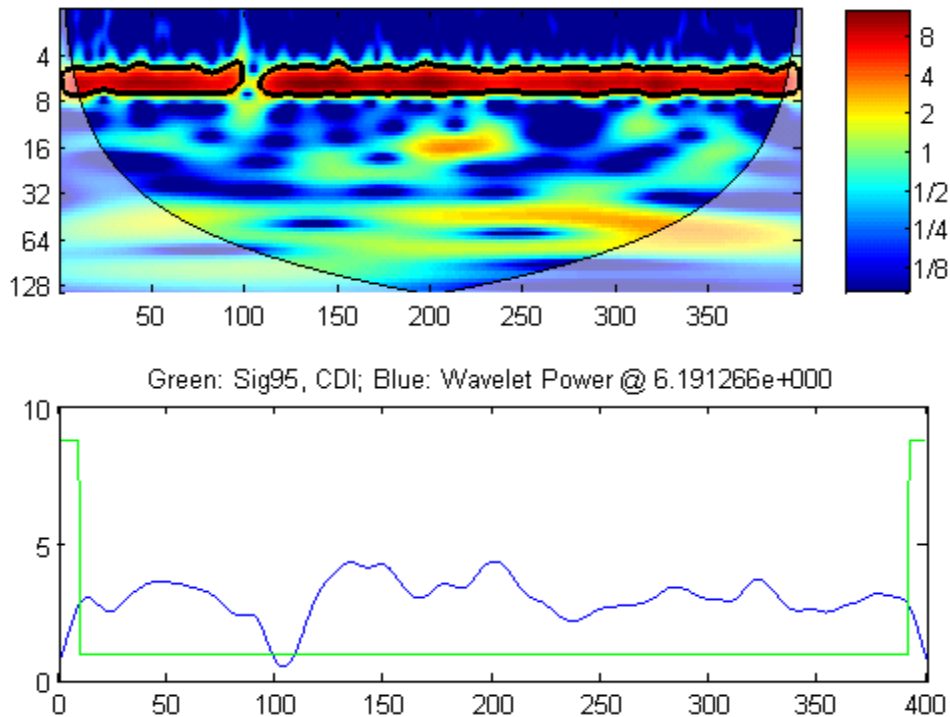


Figura 37. Perturbarea a fost detectată chiar și în prezența zgomotului roșu

3. Aplicarea metodologiei asupra seriilor de date climatice

3.1. Starea actuală a cunoașterii : Europa

Încercând să aplic metodologia asupra seriilor de date climatice din Europa, am parcurs studii de referință asupra evoluției climei în Europa, în general sau la câteva nivele regionale sau punctuale (stații meteorologice). Concluziile acestor studii sunt legate în parte de dezbaterea actuală asupra susceptibilității și a magnitudinii schimbării climatice din perioada actuală.

3.2. Date studiate

Trebuie menționat că seriile zilnice nu fac regula în domeniul de analiză al seriilor de timp climatice; majoritatea studiilor tratează valorile medii lunare sau anuale. Sensibilitatea încercărilor este mult mai puțin ridicată în cazul seriilor medii, în care se ascunde o potențială eroare de măsurare prin adăugarea la adevăratele măsurări care atenuază această eroare și o fac mai puțin vizibilă diferitelor încercări, ceea ce nu corectează în mod special o serie, ci mai degrabă diminuează erorile la nivele tolerabile sau insesizabile. Datele provin din baza de date publice (zilnice) ECA&D (European Climate Assessment and Dataset, <http://eca.knmi.nl/dailydata/index.php>), care regrupează serii de temperaturi și de precipitații, atât în stare « brută » cât și omogenizată, secvențele lipsă fiind completate cu observații sinoptice. Cele 16 stații studiate sunt (Fig. 43.): SARAJEVO (Bosnia și Herțegovina), ZÜRICH (Elveția), PRAGA (Cehia), DRESDA (Germania), HALLE (Germania), SALAMANCA (Spania), BEAUVAIS-TILLE (Franța), CHATEAUROUX-DÉOLS (Franța), RENNES (Franța), TOULOUSE (Franța), SIAULIAI (Lituania), DE BILT (Olanda), OSLO (Norvegia), LUBNY (Ucraina), BELGRADE (Serbia), și CLUJ-NAPOCA (România).

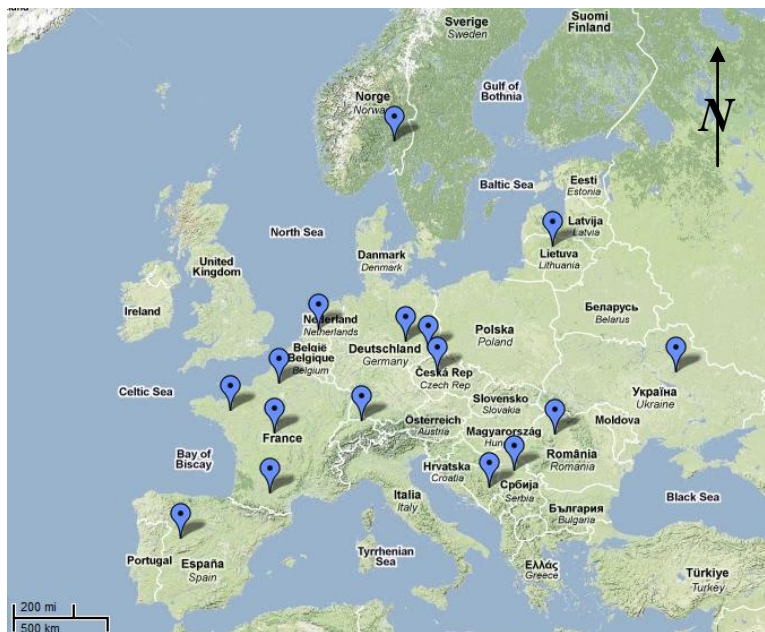


Figure 43. Harta stațiilor selecționate

Studiez aceste stații prin diferite metode statistice pentru a identifica rupturi, tendințe și cicluri în seriile de precipitații și temperaturi și, de asemenea, în serii ale indicilor derivați. Indicii urmăriți sunt următorii: FD0 (Zile de ger), ID0 (Zile geroase), TN10%

(Noapți reci), SU25 (Zile de vară), TX90% (Zile calde), GSL (Durata sezonului de vegetație), DTR (Amplitudine termică zilnică), TR20 (Noapți tropicale), TXx (Max Tmax), TNx (Max Tmin), TXn (Min Tmax), TNn (Min Tmin), TN10p (Noapți reci), TX10p (Zile reci), TN90p (Noapți calde), TX90p (Zile calde), WSDI (Indice de frecvență a episoadelor calde), CSDI (Indice de frecvență a episoadelor reci), RX1day (Cantitate maximă de precipitații într-o zi), Rx5day (Cantitate maximă de precipitații cumulată timp de cinci zile), R95p (Precipitații din zilele foarte umede), SDII (Indice simplu de intensitate de precipitații), R10 (Număr de zile cu precipitații puternice), R20 (Număr de zile cu precipitații foarte puternice), CDD (Zile seci consecutive), CWD (Zile umede consecutive), R99p (Zile extrem de umede), PRCPTOT (Precipitații anuale totale).

Acești indici (și alții) au fost investigați de (Klein 2004) pentru ECA&D, iar din rezultatele obținute din aceste studii reiese că există o schimbare semnificativă a comportamentului general al mediei climatice din Europa, mai ales al tendințelor (creșterea temperaturilor, scăderea zilelor de ger, etc.).

Metodologie de studiu : Din nenumăratele teste și metode statistice dezvoltate pentru identificarea schimbărilor regimului, tendințelor seriilor și altor aspecte climatice, numai patru teste (Standard Normal Homogeneity Test, Buishand Range test, Pettitt Test și testul lui von Neumann) au fost folosite pentru detectarea neomogenităților și/sau a schimbărilor de regim. Lucrarea pe care am desfășurat-o reia testele SNHT și Pettitt ; testele lui Worsley și testul T sunt, de asemenea, aplicate pentru observarea schimbărilor din regim, urmate de teste de tendință de caz și de teste a seriilor prin metoda Wavelet. Am analizat, prin metoda prezentată, cele 16 stații menționate și prezint un exemplu de analiză detaliată (Salamanca), urmată de o sinteză comparativă a rezultatelor analizelor din alte stații.

3.3. Rezultate detaliate pentru stația Salamanca, Spania

Prezint în continuare un exemplu de analiză detaliată pentru stația din Salamanca (Fig. 46.), în care, pentru perioada 1945-2008, studiez evoluția seriilor de temperaturi (minimă,

maximă și a indicilor derivați) și precipitații (și a indicilor lor derivați), prin abordări tradiționale și aplicând metodele dezvoltate de mine și prezentate în Capitolul 2.



Amplasarea stației de măsurare este la baza aeriană din Matacán, la 16 km de orașul Salamanca, într-o zonă rurală, înconjurată de terenuri agricole destinate culturilor irigabile (Fig. 47.). (Alonso, Labajo, & Fidalgo, 2003)

Rupturi (Salamanca, TN 1945-2008)

Seriile nu au lacune și au fost verificate din punctul de vedere al erorilor umane în timpul procesului de inserare în baza de date ECA&D.

Așa cum este descris în metodologia de lucru (Cap. 2), încep investigarea rupturilor în seria temperaturilor minime TN între 1945 și 2008. Analiza rupturilor s-a efectuat prin testele T, SNHT, Wilcoxon și Mann-Whitney-Pettitt utilizând soft-ul AnClim. Rezultatele acestor teste sunt: **Testul T** : indică o ruptură semnificativă în media din 1950. (62 grade de libertate, $t = 2.993$, $F=2.948$). Se observă, de asemenea, un minim local către anul 1975. Anul 1950 este de asemenea indicat de testul **Worsley** ($W = 2.967$, semnificativ cu 95% încredere statistică). Acest test prezintă de asemenea un minim local în 1975. Testul **SNHT** indică același an de ruptură : 1950, ($t = 7.956$) și o ruptură succesivă în 1967. Se vede aici, de asemenea, minimul local la mijlocul seriei, în 1975. Testul **Mann-Whitney-Pettitt** indică o singură ruptură în 1967 ($K=390$, semnificativ cu 95%), iar minimul local din 1975 este prezent și în graficul său. Valoarea indicată din 1950 de testele Worsley, T

și SNHT este foarte (prea !) apropiată de începutul seriei (situată la 5 ani după începutul seriei și urmată de alte 57) pentru a fi considerată într-un mod serios ca un moment de ruptură.

Tendențe (Salamanca, TN 1945-2008)

Dacă se consideră tendința generală a seriei pe interval(Fig. 49.), adică aplicând regresia pe întreg intervalul 1945-2008, nu se obține decât o slabă tendință de diminuare ($0,05^{\circ}\text{C}/\text{deceniu}$) care este semnificativă numai la 85% încredere statistică.

Metoda pe care am folosit-o implică închiderea și mărirea lungimii intervalului pe care se estimează tendința, precum și glisarea acestui interval de-a lungul seriei. De îndată ce o tendință (de creștere – pozitivă, sau de scădere – negativă) este identificată, aceasta este clasată – și desenată – și pentru o clasă de intervale de lungime N se calculează o «tendență medie». La intersectarea acestor «tendențe medii » se află anul de schimbare a regimului – sau de ruptură. Sunt reținute numai tendințele semnificative din punct de vedere statistic.

Reprezentarea grafică (Fig. 50.) arată că pentru intervale mai lungi se constată că perioada cuprinsă de tendința pozitivă crește – a cărui nivel de informații crește, dar numărul cumulat al intervalelor cu tendință descrește. Pentru un interval glisant de 39 ani numărul intervalelor cu tendință este de ($4\downarrow, 5\uparrow$), iar după o perioadă de 45 de ani de interval glisant nu se mai întâlnește tendință.

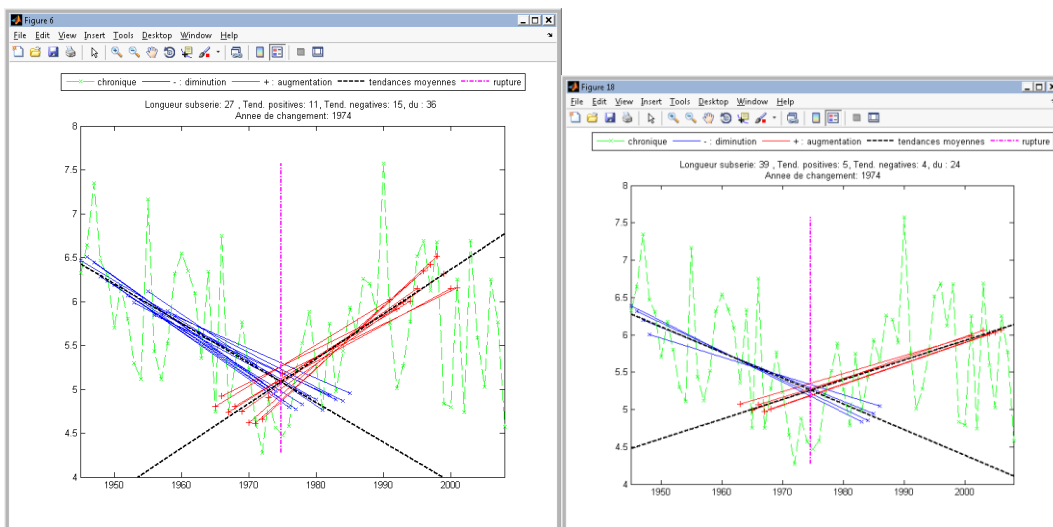


Figura 50. Exemple ale tendințelor identificate cu soft-ul meu de investigare a tendințelor pentru ferestre de 27 și 39 ani

O reprezentare mai detaliată a rezultatelor algoritmului se regăsește în tabelul următor în care se observă că intervalul glisant de 32 ani (jumătatea lungimii seriei și aproape de valoarea de 30 ani recomandată de O.M.M.⁴) caracterizează bine comportamentul seriei (rezultatele se aseamănă cu media) și se constată că anul evident al schimbării regimului este 1974.

Tabel 4. Analiza tendințelor pentru seria din Salamanca, TN 1945-2008

Lungime (ani) / No. Tendințe	No. Tend. ↓	Tendință negativă de (min)	la (max)	per ... °C/Deceniu	No. Tend. ↑	Tendință pozitivă de (min)	la (max)	per... °C/Deceniu	An de schimbare a regimului	
22	19	8	1953	1981	-0,65	11	1967	1998	0,66	1974,29
23	20	10	1951	1982	-0,56	10	1967	1998	0,66	1974,76
24	21	11	1950	1983	-0,52	10	1967	1999	0,63	1975,02
25	26	16	1945	1984	-0,47	10	1966	1999	0,60	1975,13
26	25	15	1945	1984	-0,47	10	1965	1999	0,56	1974,72
27	26	15	1945	1985	-0,45	11	1965	2001	0,51	1974,80
28	23	13	1945	1984	-0,46	10	1964	2001	0,49	1974,29
29	21	12	1945	1984	-0,45	9	1965	2001	0,48	1974,38
30	21	11	1945	1984	-0,45	10	1965	2003	0,44	1974,29
31	21	11	1945	1985	-0,42	10	1965	2004	0,42	1974,62
32	21	11	1945	1986	-0,39	10	1964	2004	0,40	1974,71
33	19	8	1945	1984	-0,41	11	1963	2005	0,36	1973,81
34	19	8	1945	1985	-0,38	11	1963	2006	0,34	1974,30
35	18	7	1945	1985	-0,37	11	1962	2006	0,32	1974,03
36	17	7	1945	1986	-0,35	10	1962	2006	0,31	1974,31
37	15	6	1945	1986	-0,34	9	1962	2006	0,29	1974,16

⁴ O.I.M. – Organizația meteorologică mondială

38	14	5	1945	1986	-0,34	9	1961	2006	0,26	1973,64
39	9	4	1945	1986	-0,34	5	1963	2006	0,26	1974,60
40	8	4	1945	1987	-0,31	4	1964	2006	0,25	1975,29
41	7	3	1945	1987	-0,31	4	1963	2006	0,22	1974,91
42	5	3	1945	1988	-0,27	2	1963	2006	0,22	1976,07
43	4	3	1945	1989	-0,24	1	1964	2006	0,19	1976,77
44	3	2	1945	1989	-0,23	1	1963	2006	0,19	1977,10
45	1	1	1945	1989	-0,22					
<i>Medie</i>			<i>1946</i>	<i>1985</i>	<i>-0,39</i>		<i>1964</i>	<i>2003</i>	<i>0,39</i>	<i>1974,78</i>

Se pune, totuși, o întrebare la nivelul suprapunerii tendințelor (de creștere și de scădere) : a se vedea cazul intervalelor glisante de 32 ani, dacă suntem în 1965, suntem în plin mijloc (la jumătatea) unei tendințe de scădere sau la începutul unei tendințe de creștere ? Trebuie « să așteptăm » 20 de ani până în 1985 pentru a răspunde la această întrebare... Marea variantă prezentă în acest tip de serii determină analizele statistice să găsească uneori rezultate contradictorii. În concluzie, se observă că chiar dacă testele de ruptură găsesc date ca 1950 sau 1967 ca ani de potențială ruptură, studiind evoluția grafică a funcțiilor-suport, se regăsește anul 1975 ca minim local. Acest an marchează un moment de schimbare a regimului, adică momentul în care este evident că tendința de « răcire» se schimbă într-o tendință de « încălzire » până la sfârșitul seriei. Este util să se reamintească că numai comparând rezultatele diferitelor metode statistice se poate obține o imagine mai clară asupra adevăratelor evoluții sau caracteristici ale seriilor studiate.

Analiză aprofundată a rupturilor. Rupturi în variantă

Testele următoare nu sunt încă destul de larg utilizate. Aceasta nu împiedică să se recurgă la acestea în cazul în care rezultatele altor teste nu concordă. Încep prin aplicarea testului CUSUM (test de deviație cumulativă) care derivă din testul Buishand (al rupturilor în medie. Utilizând testul CUSUM (Cap. 2.1.2) se obține anul **1971** (Fig. 56.) ca punct principal de schimbare, ceea ce ne apropie de concluziile parțiale ale analizei rupturilor în medie, care sugerează, de asemenea, anul 1971 ca punct de interes.

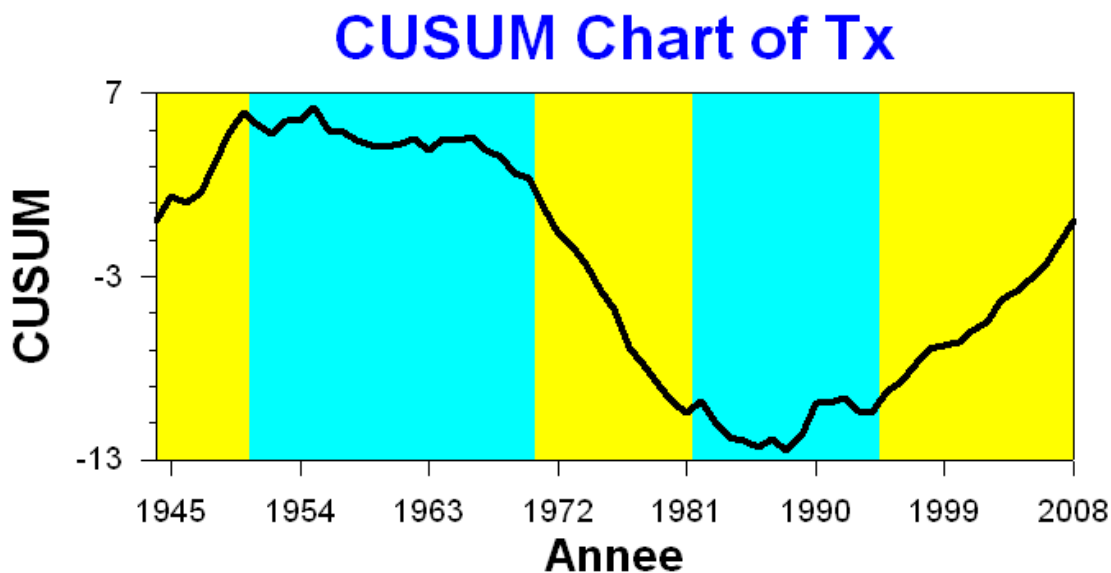


Figura 56. Reprezentare grafică a indicelui CUSUM și perioadele separate pe ani de schimbare, colorate alternativ (TX, Salamanca, 1945-2008)

Valoarea anului 1971, identificată cu 100% încredere statistică, este de asemenea însoțită de anii 1951, 1982 și 1995 ca puncte de schimbare identificate.

Un alt tip de test, care se adresează de data aceasta schimbărilor în variante seriilor, este testul lui Rodionov (Cap. 2.1.2), care poate determina puncte de schimbare într-un alt mod decât testele utilizate până-n prezent.

Testul lui Rodionov ne indică anii **1971, 1981, 1995 și 1956** (Fig. 57.) ca momente de schimbare de regim. (Vezi figura de mai-jos – valoarea 2007 este la distanță de un an de sfârșitul seriei, deci nu este pertinentă.)

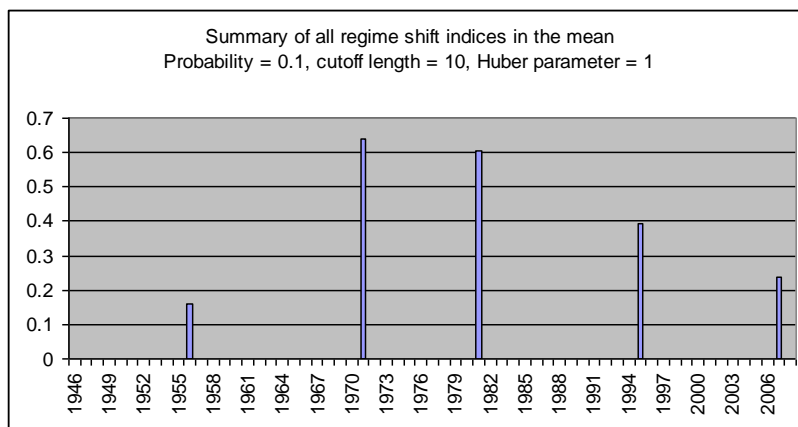


Figura 57. Rezultatele testului de variantă al lui Rodionov pentru seria de TX 1945-2008, Salamanca

Precum în cazul testelor de rupturi în medie, anul 1971 este de asemenea identificat ca punct major de schimbare a variantei în serie. Comparând rezultatele destul de diferite ale acestor diverse metode, să sintetizăm (Tab. 7.) pentru investigarea seriei de TX din Salamanca (1945-2008) rezultatele obținute aplicând diferite teste statistice:

Tabel 7. *Rezultate comparative ale diferitelor abordări statistice pentru identificarea unui punct de schimbare în seria de temperaturi maxime din Salamanca, 1945-2008*

Metodă	Aspect investigat	Rupturi sau puncte de schimbare ale regimurilor identificate
test T	medie	1989 max (1970 min)
Worsley	medie	1989 max (1971 min)
SNHT	medie	1989 max (1971 min)
Mann-Whitney-Pettitt	medie	1989 max (1970 min)
CUSUM	abateri de la medie	1971, 1982, 1995, 1951
Rodionov	variantă	1971, 1981, 1995, 1956
Regresie : schimb de tendință	tendință	1974

Păreră mea este că valoarea din 1974 este mai pertinentă ca moment bine identificat al schimbării de regim decât valoarea din 1989 (văzută în 4 teste) care implică un regim mai mult sau mai puțin staționar care face salturi bruște. Se poate observa că din testele care nu se adresează numai mediei, dar și tendințelor sau evoluției variantei sau abaterii-tip, produc rezultate apropiate (1971 este mai apropiat de 1974 decât de 1989).

Analiza seriilor de precipitații și a indicilor derivați

Se continuă prin analiza spectrogramei rezultată din analiza Fourier a seriei zilnice de precipitații (Fig. 82.).

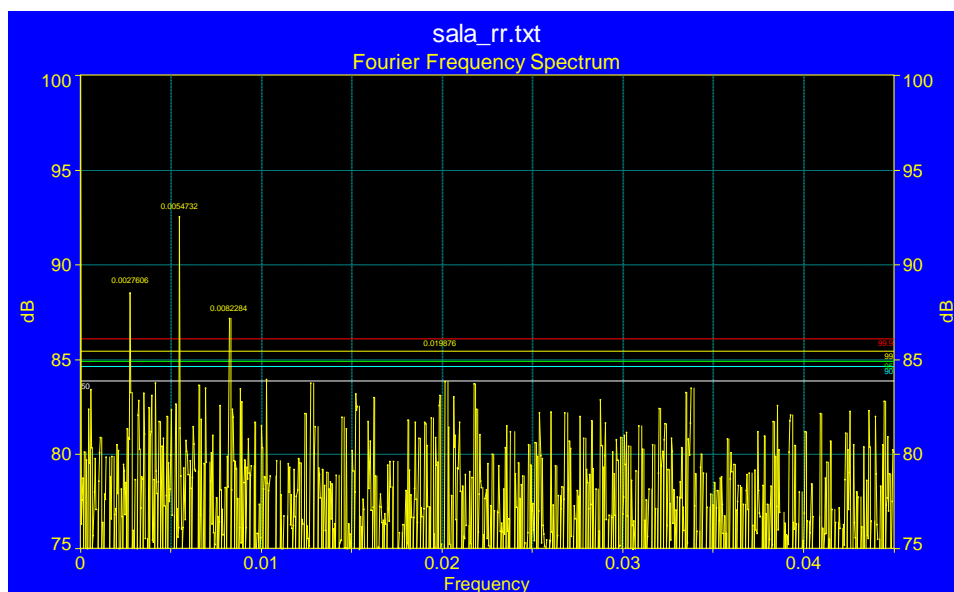


Figura 82. Spectrograma seriei precipitațiilor zilnice. Linia roșie: nivelul minim al puterii pentru a fi semnificativ cu 99% încredere statistică

Ne dăm seama de prezența a trei vârfuri, adică frecvențe care sunt semnificative cu 99% : aceea a ciclului sezonier la 0,002606, aceea la 0,0054732 care corespunde unui ciclu bianual și o a treia frecvență observabilă la 0,0082284 – corespunzând unui ciclu de periodicitate de 121 zile. Dacă se încearcă să se « cartografieze » prezența acestor cicluri în timp, se observă că se identifică în seria brută o slabă prezență a ciclului sezonier (1an) iar, alături, de ciclul de 6 luni, însoțite de periodicități de 4 ani pe câteva perioade și în rezultatele din spectrul frecvențial al analizei Wavelet multă variabilitate în benzile inferioare (nivelurile zilelor).

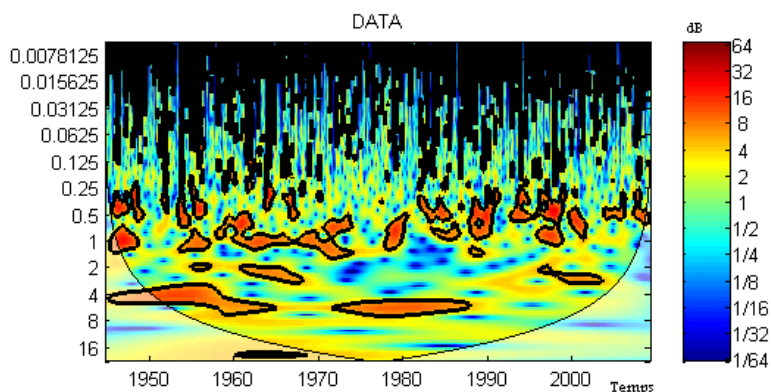


Figura 83. Grafic al transformatei Wavelet din seria precipitațiilor zilnice, Salamanca, 1945-2008

Aceste rezultate sunt foarte diferite de cele obținute prin analiza Wavelet din seriile de temperatură. Prezența ciclului sezonier este foarte slabă și rară ; se observă (Fig. 84. a.) b.)) mai degrabă prezența ciclului bianual care se compară – din punctul de vedere al momentelor de apariție – cu cel sezonier.

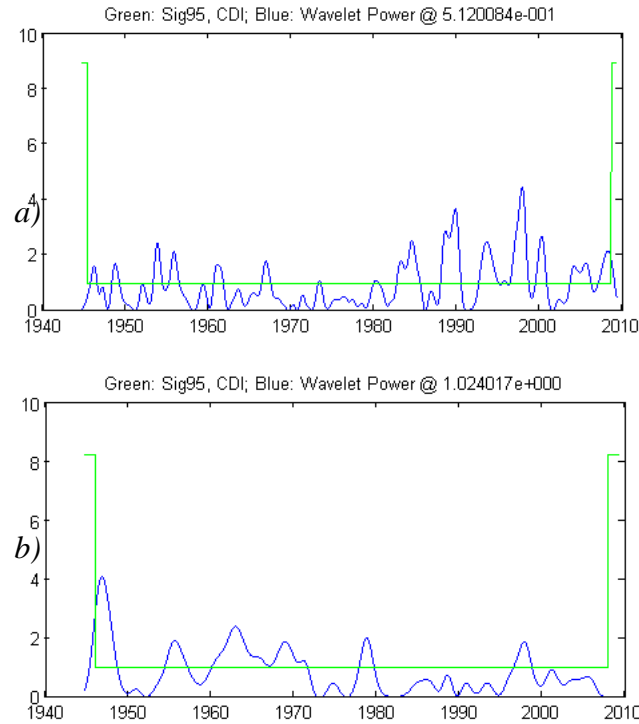


Figura 84. a) Puterea (dB) ciclului bianual în spectrul Wavelet; b) Puterea (dB) ciclului sezonier în spectrul Wavelet

Studiind o posibilă corelare (Fig. 85.) între valorile maximelor din banda de 6 luni – din ciclul bianual (unde puterea în spectrul Wavelet este maximă) și valorile respective din banda de 1 an (ciclu sezonier) se observă o independență absolută, regresia între cele două denotă o absență totală a corelației ($r^2=0,001$).

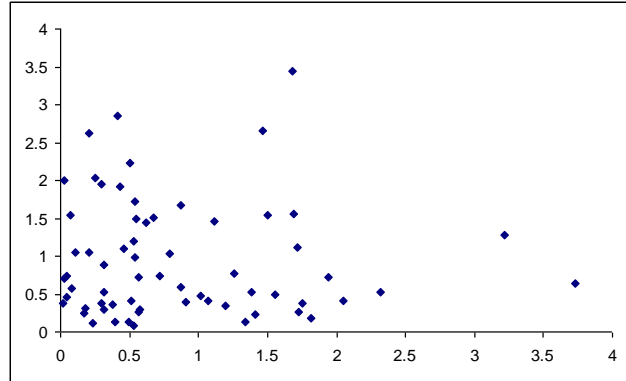


Figura 85. Nor de puncte : lipsa de corelație dintre puterea din benzile Wavelet de 6 luni și de 1 an

Se poate deduce din analiza ciclurilor că lipsa ciclului sezonier (sau mai degrabă prezența sa destul de slabă) demonstrează că, la Salamanca, în perioada studiată, precipitațiile nu sunt legate de acest tip de ciclu. Faptul că precipitațiile au un ritm diferit, independent de ciclul sezonier (care caracterizează evoluția temperaturilor) ne poate arăta importanța redusă a efectului climatic local față de influența circulației generale pe situri precum Salamanca, supusă direct influenței vânturilor dinspre Atlantic.

3.4. Rezultate sintetice pentru domeniul temporal (tendențe)

Am analizat cele 16 stații urmărind o metodologie similară cazului (Salamanca) prezentat în capitolul 3.3. În continuare discut din punct de vedere spațial evoluția pe stații a unor indici. Am grupat indicii în raport cu originea lor (temperaturi minime, maxime, precipitații) și în raport cu fenomenele pe care le reflectă (de exemplu episoade calde sau reci).

3.4.1. Indici relativi la temperaturi

Prezint în continuare grupele de indici: TNn, TNx, FDO, ID0, TN10P, TX10P și CSDI, legați de « frig ».

TNn / TNx – Minima / Maxima anuală a temperaturilor minime



Figura 88. Harta tendințelor de

a) TNn (în sus) și a

b) TNx (în jos)

Legendă



creștere semnificativă cu 95% încredere statistică



creștere semnificativă cu 75% încredere statistică



fără tendință semnificativă



descreștere semnificativă cu 75% încredere statistică



descreștere semnificativă cu 95% încredere statistică

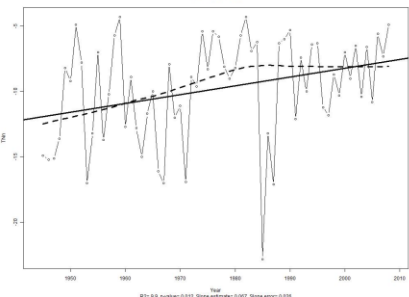
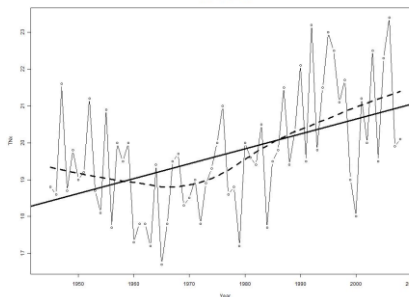
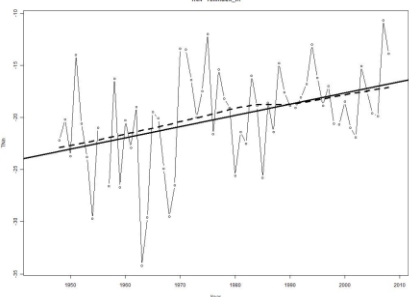
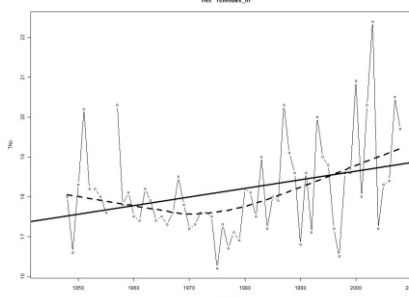
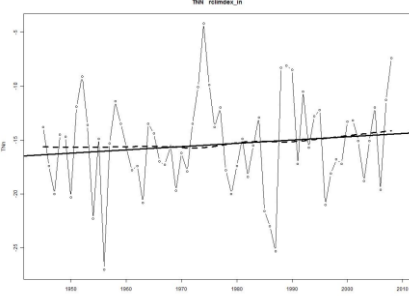
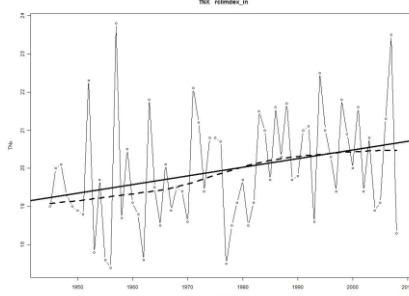
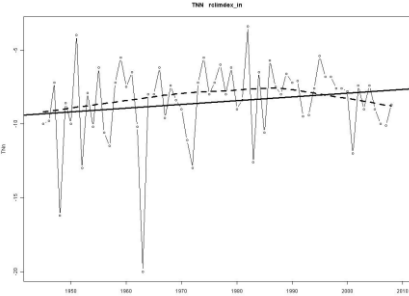
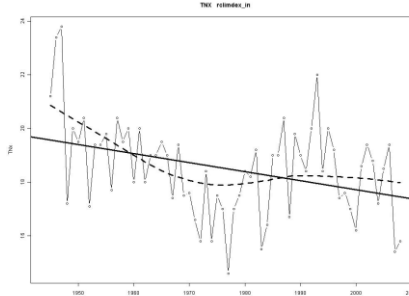
Începând cu indicii « reci », este interesant de analizat evoluția temperaturilor minime, practic acești doi indici care reflectă iarna - TNn : minima minimelor, iar pentru vară, TNx – maxima minimelor. Se remarcă faptul că, în cazul lui TNn (Fig. 88. a.), se observă numai tendințe de creștere și nicio descreștere ; pentru majoritatea stațiilor investigate, aceste tendințe sunt semnificative. Se ajunge la distingerea a două grupe în care aceste tendințe sunt semnificative : una în Franța și celalată în Europa Continentală (Serbia, România, Ucraina). De asemenea pentru TNx (Fig. 88. b.)), ne dăm seama că pentru marea majoritate a stațiilor se găsesc tendințe semnificative de creștere. Excepție, la Salamanca tendința identificată este invers. Din punct de vedere cantitativ, se remarcă (Tab. 8.) că TNn se mărește în general aproape de valoare de 0,5 °C pe deceniu, pentru TNx valoarea medie este mai degrabă de 0,2 la 0,3 °C pe deceniu.

Tabel 8. *Valori ale tendințelor TNn și TNx (în italic valori neseemnificative cu 95%)*

Stație / Tendință (°C /deceniu)	Beauvais	Belgrade	Châteauroux	Cluj	De Bilt	Dresde	Halle	Lubny	Oslo	Prague	Rennes	Salamanca	Sarajevo	Šiauliai	Toulouse	Zurich
TNn	0.6	0.5	0.7	1	<i>0.4</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	0.7	<i>0.4</i>	<i>0.4</i>	0.5	<i>0.2</i>	<i>0.3</i>	<i>0.5</i>	0.7	<i>0.4</i>
TNx	0.2	<i>0</i>	0.4	0.2	0.2	0.2	<i>0</i>	0.2	<i>0.2</i>	<i>0.2</i>	0.3	-0.3	0.3	0.2	0.3	<i>0</i>

Pentru a compara (Tab. 9.) și din punct de vedere temporal evoluția acestor indici, se examinează stațiile de la Salamanca, Cluj Napoca, Dresda și Châteauroux.

Tabel 9. Comparații între evoluțiile de TNnt și TNx

Stație	Evoluție TNn	Evoluție TNx	Corelație
Châteauroux - Deols	 <p>+0,7 °C /deceniu (semnificativ la 95%)</p>	 <p>+0,4 °C /deceniu (semnificativ la 95%)</p>	0,25
Cluj	 <p>+1 °C /deceniu (semnificativ la 95%)</p>	 <p>+0,2 °C /deceniu (semnificativ la 95%)</p>	0,91
Dresde	 <p><i>Tendință nesemnificativă</i></p>	 <p>+0,2 °C /deceniu (semnificativ la 95%)</p>	0,12
Salamanca	 <p>+0,2 °C /dec. (semnificativ la 83%)</p>	 <p>-0,3 °C /deceniu (semnificativ la 99%)</p>	0,11

Se observă deci, în graficele acestor indici, că uneori nu există similarități între evoluțiile lor (se găsesc uneori corelații, ca la Cluj, iar alteori niciuna). Pentru cazul de la Salamanca, se observă chiar tendințe diferite.

3.4.2. Indici relativi la precipitații

PRCPTOT – Precipitații anuale totale

Se remarcă faptul că, în cazul PRCPTOT (Fig. 100), se observă tendințe de creștere și nicio descreștere; pentru majoritatea stațiilor investigate, aceste tendințe nu sunt semnificative. Se distinge faptul că estul Europei tendințele sunt semnificative (Lituania, România Ucraina).

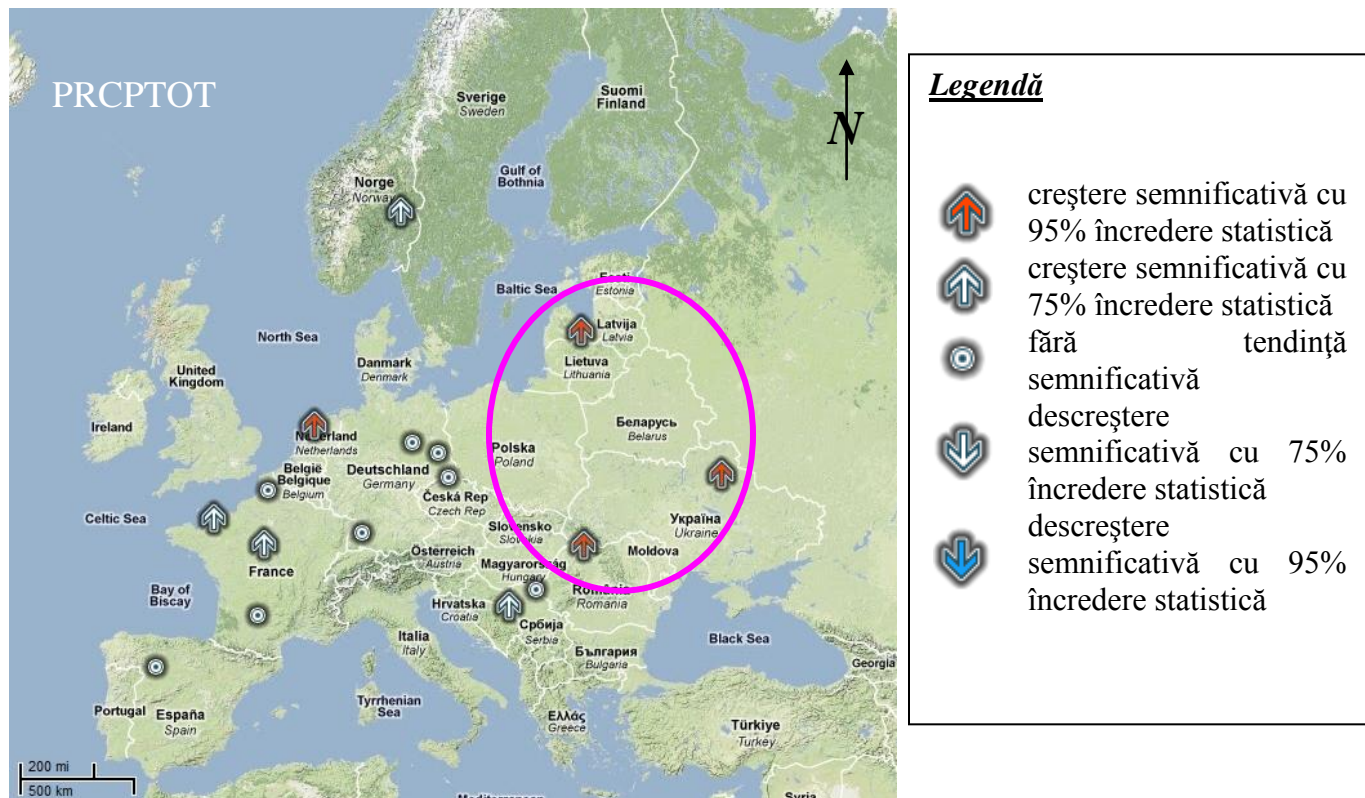


Figura 100. Harta cu tendințele precipitațiilor anuale (PRCPTOT) pentru stațiile studiate

Din punct de vedere al precipitațiilor, ne dăm seama de o creștere a precipitațiilor (PRCPTOT), mai ales episoade de ploi mai intense (R95p). Fără a generaliza, la mai puțin din cele 16 stații pentru întreg spațiul european, rezultatele observate sunt în

concordanță cu studiile (Zolina 2011) recente și arată atât o creștere în cantitatea totală a precipitațiilor anuale, cât și o creștere a episoadelor de ploi puternice din ultimele decenii.

Sub forma unui tabel (Tab. 40) sintetic, prezintă rezultatele analizelor a tuturor indicilor calculați pe stație. Analizând aceste rezultate, ne dăm seama că stațiile evoluează de obicei în același mod, fie că vorbim despre precipitații sau despre temperaturi. Aceasta ne conduce la concluzia că, din punct de vedere al tendințelor climatei, scara europeană este destul de omogenă.

Tabel 40. Prezentare sintetică a tendințelor, pe indice și stație:

Stație / Indice	Beauvais	Belgrade	Châteauroux	Cluj	De Bilt	Dresde	Halle	Lubny	Oslo	Prague	Rennes	Salamanca	Sarajevo	Șiauliai	Toulouse	Zurich
TNn	++	++	++	++	+			++	+	+	++	+	+	+	++	+
TNx	++		++	++	++	++		++	+	+	++	--	++	++	++	
FD0	--	--	-	-	--			--	--	--	--	+	-	--	--	--
ID0	--	-	-		--	--		--	--	--	-	--	--	--	--	
TN10P	--	--	--	--	--	--		--	--	--	--	+	--	--	--	--
TX10P	--	-	--		--	--		--	-	--	--		-	--	--	
CSDI	--	--	--	-	--	--	-	-	-	--	--			-	--	-
TXn	+	+	++		+	+	+	++	+	+	++	++	+	+	++	
TXx	+				+	+					+			+	+	--
SU25	+		++	-	++	++				+	++		+	++	++	--
TR20		++	++	+	++			++		++	++	--	+	++	++	
TN90P	++	++	++	++	++	++		++	++	++	++		++	++	++	++
TX90P	++	++	+	-	++	++		++	++	++	++	++	++	++	++	--
WSDI	++	+			++	++		+	++	++	+			++	+	--
GSL	++	+	+	-	++	++	+	++	+	++	+			+	++	++
DTR	--	-	-	--		+		--	--	--	--	++		-	--	--
PRCPTOT			+	++	++			++	+		+		+	++		
R10mm		+	++	++	++			++		-	++		+	++	+	+
R20mm			++	+	+			++	++		+		+	++	+	+
R25mm			++	+				+	++	-	+	-		++		+
R95p			++	+	++			++	+	-	++			++		
R99p						-		+		-	+	-		++		
RX1day					-		-			-		-	+	+		
RX5day			+	+				+		--	+	-				+
SDII			+	+	++			++	+	--	++		+	++		++
CDD														+		
CWD					+											

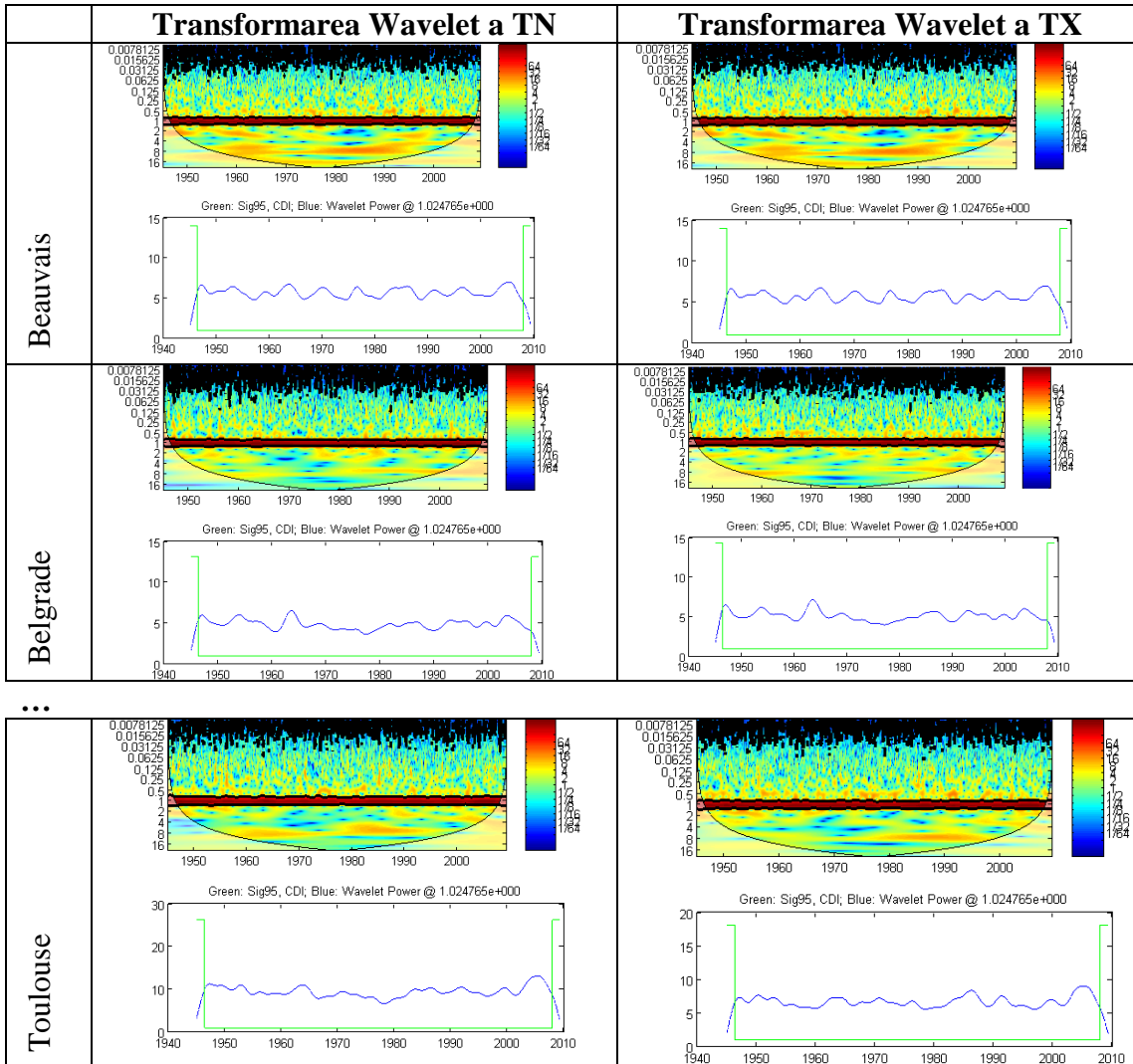
Legenda tendințelor : « ++ » ascendentă , 95% încredere statistică, « + » ascendentă, 75% încredere statistică,
« □ nicio tendință, « - » descendentă, 75% încredere statistică, « - - » descendentă, 95% încredere statistică

3.5 Rezultate sintetice pentru domeniul frecvențial

(Wavelet)

3.5.1. Analiza temperaturilor

Pentru seriile de temperaturi minime și maxime ale datelor zilnice ne-desezonalizate, (pentru a nu afecta transformata Wavelet), se observă că numai ciclul sezonier are o semnificație statistică (Tab. 41).



3.5.1. Analiza precipitațiilor

Se continuă cu analiza frecvențială a seriilor precipitațiilor. O primă etapă constă în « screening » prin analiza Fourier, pentru identificarea ciclurilor care se manifestă în perioada cuprinsă de serie. Odată identificate ciclurile, acestea sunt « cartografiate » în

spațiul timp-frecvență Wavelet pentru a găsi momentele și greutatea prezenței ciclului în serie. Metoda de analiză Fourier este adaptată pentru a da rezultate precise în frecvență semnalelor manifeste staționare. Ca și în cazul seriilor precipitațiilor, se găsesc numeroase semnale tranzitorii, care se încearcă să fie identificate, rezultatele sunt uneori surprinzătoare : se găsește o localizare ambiguă în frecvență a diverselor episoade.

Tabel 42. Transformarea frecvențială Wavelet a seriilor zilnice de precipitații : se identifică cicluri (clasate pe periodicități) și li se identifică prezența temporală

Stație	Analiza Wavelet	Cicluri identificate
Beauvais	<p>Green: Sig95, CDI; Blue: Wavelet Power @ 1.024765e+000</p>	<p>Sezonier (1 an) : 10% 3-4 ani : 30% 7-8 ani : 50% 16 ani : 78%</p>
Belgrade	<p>Green: Sig95, CDI; Blue: Wavelet Power @ 1.024765e+000</p>	<p>Sezonier (1 an) : 33% 16 ani : 33%</p>

...

Ciclul de 1 an (anual)

Ciclul sezonier, dominant în seriile de temperaturi, joacă un rol mai puțin important în cele ale precipitațiilor. Precipitațiile sunt mai degrabă legate de circulația generală și mai ales legătura lor cu ciclul anual se datorează orografiei (Maraun & al, 2009), mai ales în locurile (depresiuni, etc.) protejate de munți circulația generală este mai puțin influentă. Ciclul anual este mult mai prezent acolo unde condițiile permit formarea unui climat local, care permit ploile să fie legate de un proces local de evaporare/condensare zilnică, în legătură, deci, cu aportul energetic al soarelui și al temperaturilor. Prezintă sub formă

sintetică (Tab. 43) valorile obținute și harta lor în Fig. 106. Se observă lipsa de legătură spațială între valorile găsite.

Tabel 43. Procent al prezenței ciclului anual în seriile de precipitații

Stație/ prezență a ciclului(%)	Beauvais	Belgrade	Châteauroux	Cluj	De Bilt	Dresde	Halle	Lubny	Oslo	Prague	Rennes	Salamanca	Sarajevo	Šiauliai	Toulouse	Zurich
Sezonier	10	33	11	94	27	45	78	35	91	98	38	44	10	85	27	71

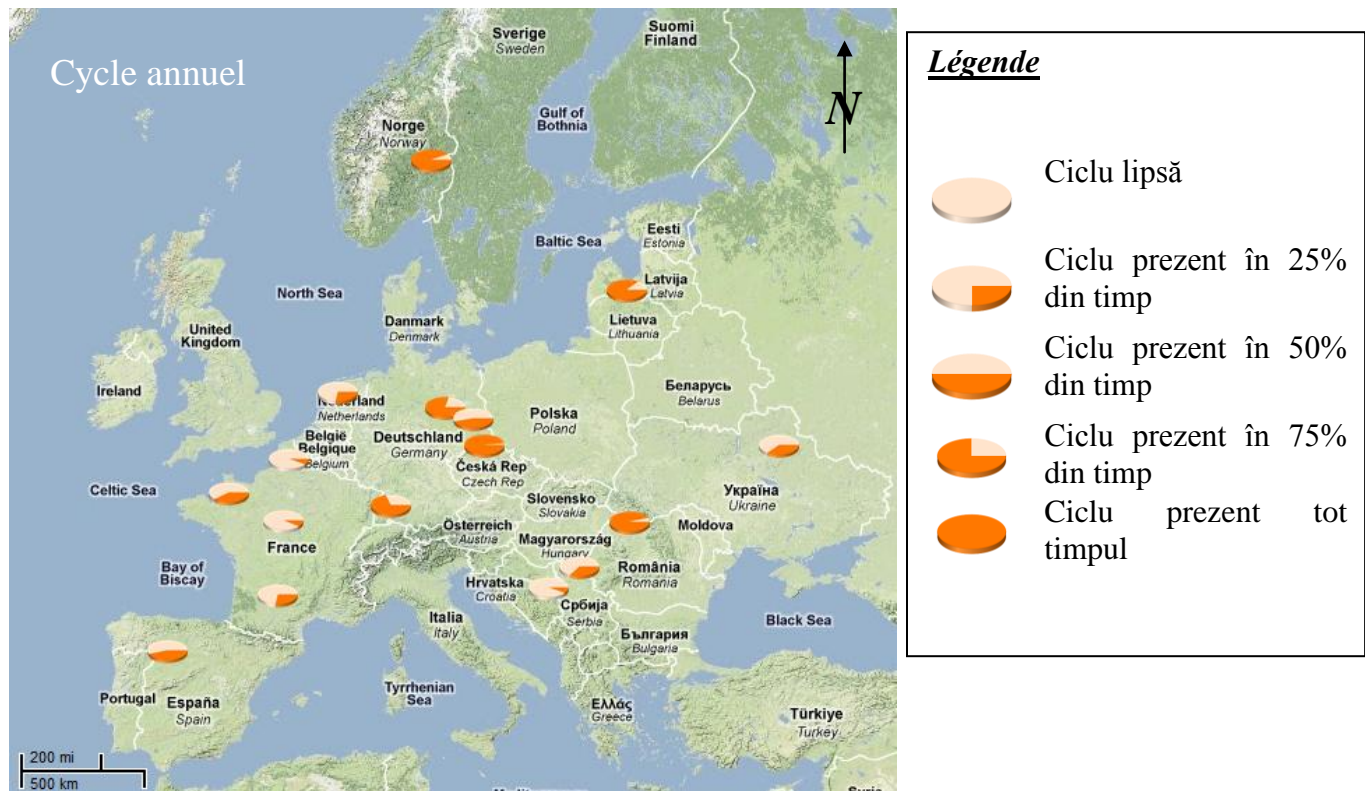


Fig. 106 : Reprezentarea spațială a prezenței temporale a ciclului anual în seriile de precipitații

4. Concluzii generale

În proiectul de cercetare mi-am propus să încerc aplicarea și eventual ameliorarea metodelor care se adresează detectării și cuantificării tipului și mărimii schimbărilor climatice, acolo unde acestea există. Seriile datelor zilnice de temperaturi (minime și maxime) și de precipitații se pretează bine analizelor statistice prin metode moderne. Din punct de vedere al calității datelor, azi metodele de omogenizare sunt destul de solide pentru a putea funcționa și în contextul unei disponibilități reduse a meta-datelor. Pentru aceasta, din cauza numărului redus și a repartizării stațiilor analizate din Europa, chiar dacă am reușit să ajung la câteva rezultate, acestea nu ne permit să tragem niște concluzii puternice privind evoluțiile climatice. Aceste rezultate confirmă sau sunt în concordanță cu rezultatele altor cercetători, adepți ai metodelor deja consacrate. Pe de altă parte, noile rezultate, obținute prin metoda Wavelet și aplicarea sa, sunt mai degrabă ameliorări metodologice ; reprezentările cantitative ai parametrilor analizați pot părea uneori puțin interesante ; abordarea este, totuși, nouă și poate rezulta în identificarea noilor aspecte cu utilizarea sa.

Stațiile europene alese aparțin, totuși, unui spațiu destul de redus din punct de vedere global ; se observă evoluția simultană a stațiilor, în orice caz, existența tendințelor comune prezente în marea majoritate a stațiilor examinate, permite confirmarea cunoștințelor generale, actualizându-le până în 2008 :

- se observă o tendință clară de încălzire în Europa, datorată creșterii minimelor și dovedită (Cap. 3.4.1.) de evoluția indicilor destul de diverși ;
- după anul 1975 în general tendințele identificate devin mai pronunțate. Aceasta ne poate conduce la ideea unui moment de schimbare climatică, dar cu tot regretul, nu se poate generaliza pornind de la un număr destul de redus de stații ;
- se observă o creștere a precipitațiilor, mai ales în precipitațiile puternice (este oarecum logic având în vedere comportamentul statistic al distribuției extremelor);

- se observă influența unui ciclu neclasificat de 7-8 ani, pretutindeni în Europa, dar mai influent în vestul expus oceanului.

Pe de altă parte, metodele de analiză utilizate sunt solide și permit interpretarea atât cantitativă (ex. număr de zile pe deceniu, sau grade pe an, etc) cât și calitativă, prezentând intervale de încredere statistică și metodologii consacrate în literatură.

Am dorit să știu dacă formulele de modelizare folosite sunt adaptate obiectivelor și datelor de intrare. Pot spune că numeroase abordări consacrate (Cap. 2.1.) sunt foarte adaptate de ani și cu o intensă utilizare, obiectivelor lor : detectarea rupturilor, salturi și tendințe. În schimb, în analiza ciclurilor, abordările « tradiționale » precum STFT nu ajung la puterea de modelizare a metodei Wavelet, pe care am extins-o și aplicat-o cu succes pe serii diverse ale temperaturilor și precipitațiilor. După cum am prezentat și demonstrat, consider că metoda Wavelet este un instrument destul de puternic pentru analiza unui punct de vedere frecvențial al seriilor climatice. Eșantionarea zilnică permite analiza la scară fină a seriilor. Aceasta este o ante-cerere pentru o analiză frecvențială solidă ; datele mediei lunare sau zilnice nu sunt suficiente pentru a identifica ciclurile la un nivel semnificativ. Pot să afirm că algoritmi care constituie contribuția mea personală și implementarea lor informatică permit analiza cantitativă a tendințelor și a spectrului Wavelet în diverse benzi de frecvență. Consider că algoritmul extins de analiză Wavelet poate fi complementar testelor care ignoră aspectul frecvențial al seriilor.

Din punct de vedere climatic, rezultatele sunt în concordanță cu literatura, adică confirmarea creșterii temperaturilor minime și a indicilor asociați în Europa între 1945-2008, existența creșterilor (nu chiar atât de puternice) indicilor legați de temperaturile maxime și puține tendințe semnificative în precipitații.

Bibliografie selectivă

- Aguilar, E. (2008). Homogenization of daily Spanish temperatures using SNHT and HOM methods. *Geophysical Research Abstracts, Vol. 11*.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology, 661–675.*, 661–675.
- Alexandersson, H. M. (1997). Homogenisation of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology, 17(1)*, 25–34.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner. (2005). A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800–2002. *International Journal of Climatology, 25*, 139–166. doi: 10.1002/joc.1135.
- Boroneant, C., Tomozeiu, R. (2007). On the Homogenization of Long Series of Annual and Seasonal Temperature Means in Romania. *Proceedings of the Third Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*.
- Box, G. E. P.; Jenkins, G. M.; Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control* (éd. 3rd). Prentice Hall: Englewood Cliffs.
- Briggs, W., Levine, R. (1997). Wavelets and field forecast verification. *Monthly Weather Review, 125*, 1329-1341.
- Brockwell, P. J., Davis, R. A. (1991). *Time Series: Theory and Methods* (éd. 2 ed.). Springer-Verlag.
- Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M., Nanni, T. (2000). Precipitation intensity trends in northern Italy. *International Journal of Climatology, 20(9)*, 1017–1031.
- Buishand, T. A. (1993). Rainfall depth-duration-frequency curves; a problem of dependent extremes. Dans V. Barnett, K. Turkman, J. Wiley, Sons, *Statistics for the Environment* (pp. 183-197). Chichester.
- Camuffo, D., Jones, P. (2002). Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources. *Climatic Change, 53(1-3)*, 1-4.
- Carrega, P. (1994). Les tendances actuelles du climat de la Côte d'Azur (France). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Aix-en-Provence, pp. 173-182.*, pp. 173-182.
- Carrega, P., Dubreuil, V., Richard, Y. (2004). Climatologie et développement durable. *Historiens et Géographes, n° 387*
- Caussinus, H., Lyazrhi, F. (1997). Choosing a Linear Model with a Random Number of Change-Points and Outliers. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 49(4)*, 761-775.
- Caussinus, H., Mestre, O. (2004). Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 53(3), 405–425.
- Cheval, S., Szentimrey, T. (2007). Long-term temperature variability in Romania (1901-2005) based on homogenized data. Vienna, Austria.
- Crowley, T., Lowery, T. (2000). How Warm Was the Medieval Warm Period? *AMBIO: A Journal of the Human Environment, 29*, 51–54.

- de Castro, M., Martín-Vide, J., Alonso, S. (2005). *The Climate Of Spain: Past, Present And Scenarios For The 21St Century*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Spain.
- Domonokos, P. (2008). Testing of homogenisation methods: reproduction of trend-slopes caused by climatic changes in linear regression. *Geophysical Research Abstracts*, 10.
- Ducré-Robitaille, J.-F., Vincent, L., G. . (2003). Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 10.1002/joc.924, pp 1087–1101; DOI10.1002/joc.924.
- Easterling, D. R., Peterson, T. C. (1995). A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series. *International Journal of Climatology*, 10.1002/joc.3370150403.
- Gambis, D. (1992). Wavelet transform analysis of the length of the day and the El-Nino Southern Oscillation variations at intraseasonal and interannual time scales. Dans *Annales Geophysicae* (Vol. 10, pp. 429-437).
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. (1999). Estimation of the beginning and end of recurrent events within a climate regime. *Climate Research*, 11, 97–107.
- Gilks, W. R. (2005). Markov Chain Monte Carlo. Dans *, *Encyclopedia of Biostatistics*. John Wiley Sons, Ltd.
- Grinsted, A., Moore, J. C., Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross Wavelet transform and Wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(5/6), 561-566.
- Grossmann, A., Toresan, B., Holschneider, M., Flornes, K. (1994). Wavelets on discrete fields. *J. Appl. Harm. Anal.*, 1, 137-146.
- Haidu, I., Magyari-Saska, Z. (2009). Drought and extreme moisture evaluation and prediction with GIS software module. *Information Technology Interfaces*, 553-558.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A., Klok, E. J., Jones, P. D., New, D. M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201.
- Ioana, R., Seaman, C., Lindvall, M. (2003). Process diversity. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 15(1), 1-8.
- Jevrejeva, S., Moore, J. C., Grinsted, A. (2003). Influence of the arctic oscillation and El Nino-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: the Wavelet approach. *Journal of Geophysical Research*, 108(D21)(4677).
- Kendall, M. G. (1973). *Time-series analysis*. London: Griffin.
- Kenney, J. F., Keeping, E. S. (1962). The k-Statistics. In V. Nostrand, *Mathematics of Statistics* (pg. 99-100). New Jersey: Princeton.
- Klein Tank, A. M., Können, G. P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe. *Journal of Climate*(16), 3665–3680.
- Klein Tank, A., Wijngaard, J., Können, G., Böhm. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 10.1002/joc., 1441–1453. doi: 10.1002/joc.773.
- Laplace, P. S. (1812). *Théorie analytique des probabilités*. Paris: Courcier Imprimeur.

- Lau, K., Weng, H. (1995). Climate signal detection using Wavelet transform: How to make a time series sing. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(12), 2391-2402.
- Lucio, P. S., Conde, F. C., Ramos, A. M., al. (2006). A Bayesian Approach for Recovering and Homogenising Meteorological Time Series. *Proceedings of 8 ICSHMO Foz do Iguacu Brazil April 24-28/2006*, pp. 29-36.
- Lund, R. R. (2002). Detection of undocumented change-points: A revision of the twophase. *J. Climate*, 15, 2547-2554.
- Mann, M. E. (1996). Robust estimation of background noise and signal detection in climatic time series. *Climatic Change*, 33(3), 409-445.
- Mann, M., Jones, P. (2003). Global surface temperatures over the past two millennia. *Geophysical Research Letters*, 30(15).
- Maraun, D., Kurths, J. (2004). Cross Wavelet analysis: significance testing and pitfalls. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(4), 505-514.
- Mateescu, M. (2007). La methode ondelettes comme outil de test d'homogeneité. *Actes de XX Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 369-374.
- Mateescu, M., Haidu, I. (2006). Comparaison entre la variabilité de la nao et du soi selon l'approche des ondelettes. (A. I. Climatologie, Éd.) *Les risques liés au temps et au climat, Actes du colloque d'Épernay*, 19, 421.
- Mestre, O., al. (2010). Homogeneisation De Series Climatiques. *Journées de Statistique*, 42.
- Mestre, O., Hallegatte, S., Patmore, N., Dumas, P., Corfee Morlot, J., Herweijer, C.. (2008). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on. *OECD Environment Working Paper*, 3.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., Teller, E. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.
- Meyer, Y. (1992). *Ondelettes et algorithmes concurrents* (Vol. 1435). Paris: Hermann.
- Minobe, S. (1998). Bidecadal and Pentadecadal Climatic Oscillations over the. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University*, 11(2), 393-409.
- Moberg, A., Sonechkin, D. M., Holmgren, K., Datsenko, N. M., Karlen, W. (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed. *Nature*, 433, 613-617.
- Moore, J. C., Jevrejeva, S., Grinsted, A. (2003). *Influence of the arctic oscillation and El Nino-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: The Wavelet approach*. Japan: Sapporo.
- Morlet, J. (1983). *Sampling theory and wave propagation, Issues in Acoustics signals/Image* (éd. NATO ASI Series, Vol. 1). (Springer-Verlag, Éd.) C.H. Chen.
- Percival, D. B., Rothrock, D. A. (2005). "Eyeballing" Trends in Climate Time Series: A Cautionary Note. *Journal of Climate*, 18, 886-891.
- Percival, W. J., Sanchez, A. G., Baugh, C. M., Peacock, J. A., Padilla, N. D., Cole, S., et al. (2005). Cosmological parameters from cosmic microwave background measurements and the final 2dF galaxy redshift survey power spectrum. *Monthly notices of the Royal Astronomical Society*, 366(1), 189-207.
- Perreault, L. B. (2000). Bayesian change-point analysis in hydrometeorological time series. Part 1. The normal model revisited. *Journal of Hydrology*, 235, 221-241.

- Peterson. (2008). Improvements to NOAA's Historical Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006). *J. Climate*, 21, 2283–2296.
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., et al. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology*, 13, 1493–1517. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19981115).
- Pettitt, A. (1979, 0 0). A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28, 126--135.
- Răducanu, M., Mateescu, M. L. (2002). ECG signals compression and analysis using Wavelet analysis. *Telecomunicații Revue*, 2, 47-52.
- Rodionov, S. (2005). A Brief Overview of the regime shift detection methods. *Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean University of Washington.*, http://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/rodionov_overview.pdf.
- Schöner, W., Auer, I., Böhm, R. (2000). Climate variability and. *Ann Glaciol*, 31, 31–38.
- Sneyers, R. (1975). Sur l'analyse statistique des series d'observations. *WMO Technical Note*, 194, p. 9–12.
- Szentimrey, T., Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Orlik, A., Potzmann, R., et al. (2005). A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800–2002. *International Journal of Climatology*, 25(2), 139–166.
- Tank, A. M., Können, G. P., Selten, F. M. (2004). Signals of Anthropogenic Influence on European Warming as seen in the Trend Patterns of Daily Temperature Variance. *International Journal of Climatology*, 25, 1-16.
- Tank, K., Wijngaard, J. B., Engeln, A. F. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22(12), 1441–1453.
- Tomozeiu, R., Busuioc, A., Stefan, S. (2002). Changes in seasonal mean of maximum air temperature in Romania and their connection with large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 22, 1181–1196.
- Torrence, C., Compo, G. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), pp. 61-78.
- Vincent, C., Le Meur, E., Six, D., Funk, M. (2005). Solving the paradox of the end of the Little Ice Age in the Alps. *Geophys. Res. Lett.*, 32, doi:10.1029/2005GL022552.
- von Storch, H. (2006). *Statement to the U.S. House of Representatives Committee on Energy and Commerce, July 19, 2006 Hearing "Questions Surrounding the 'Hockey Stick' Temperature Studies: Implications for Climate Change Assessments.*
- Wijngaard, J. B., Klein Tank, A. M., Können, G. P. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23(6), 679–692.
- Wilks, D. (1999). Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator. *Climate Research*, 11, 125-136.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G. (2002, 3 1). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254--271.

