

Dendrochronologie

Standardisation

Modélisation climatique

F. Lebourgeois

Laboratoire d'Etude des Ressources FORêt-Bois
Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF 1092
Equipe Ecologie Forestière
lebourgeois@engref.fr



Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Cook E.R., 1990, A conceptual linear aggregate model for tree rings. In « Methods of dendrochronology : Applications in the environmental sciences ». Kluwer Academic Publishers COOK ER KAIRIUKSTIS LA (eds), 98-104

Chaque cerne annuel (R_t) peut être décomposé en un ensemble de signaux selon un modèle additif (t = année)

$$A_t + C_t + \alpha D1_t + \alpha D2_t + E_t$$

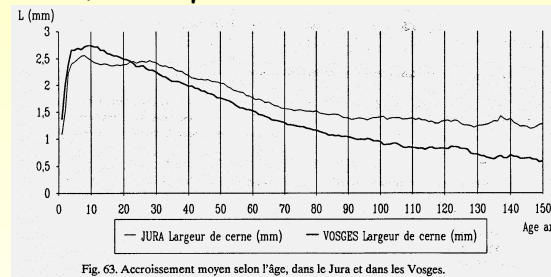
A_t = effet de l'âge biologique

C_t = effet du climat de l'année

$\alpha D1_t$ = effet de facteurs endogènes (fertilité, sylviculture, pathogènes, insectes...)

$\alpha D2_t$ = effet de facteurs exogènes (changement climatique, pollution, ozone, CO_2 ...)
($\alpha = 0$ ou 1)

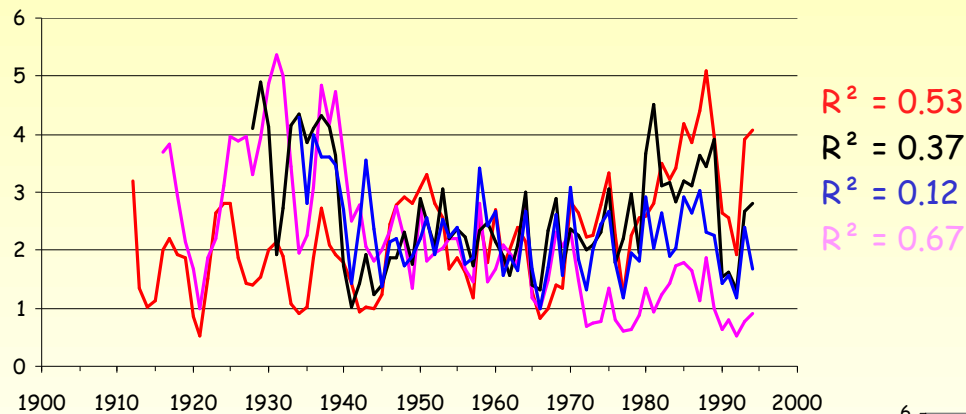
E_t = effet aléatoire



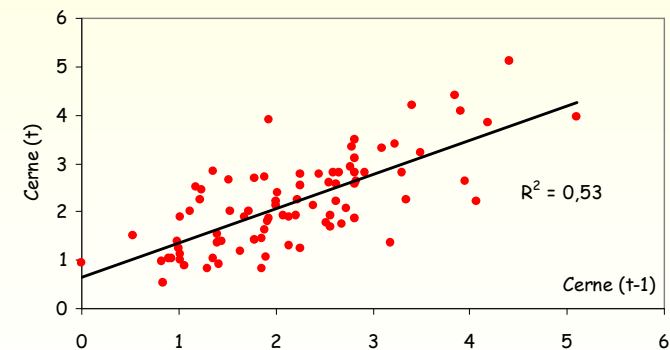
Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Quelques paramètres statistiques permettant de « juger » de la qualité du signal contenu dans les cernes annuels...

1. Autocorrélation des largeurs de cernes: $Cerne_t = f(Cerne_{t-1})$



Dépendance des cernes entre eux
 $AC_n = f(AC_{-1}, AC_{-2}, AC_{-3}, \dots)$



Partie I. Standardisation des séries chronologiques

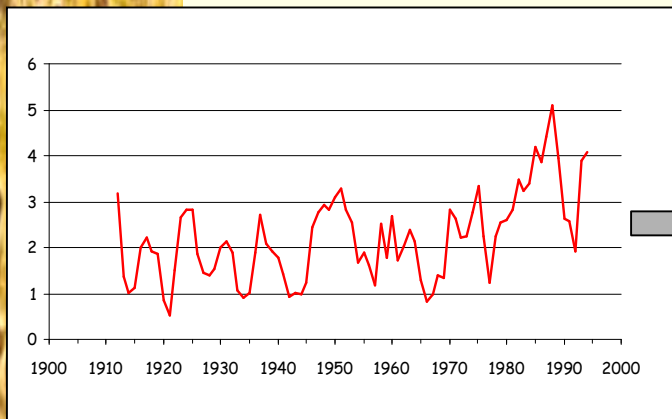
2. Coefficient de sensibilité moyenne (S_j) des séries (Mean Sensitivity)

Il exprime le pourcentage moyen de variation de la largeur du cerne d'une année sur l'autre, c'est-à-dire la différence existant entre la largeur d'un cerne et son suivant immédiat.

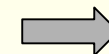
C'est une mesure de la variabilité inter-annuelle de la croissance radiale

$$S_j = \frac{1}{n-1} \times \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

$\rightarrow S=0 \quad x_{(t+1)} = x_{(t)}$
 $\rightarrow S=2 \quad x_{(t+1)} \text{ ou } x_{(t)} = 0$



Date	L (mm)	S
1912	3.19	-0.804
1913	1.36	-0.286
1914	1.02	0.09
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
1992	1.93	0.676
1993	3.90	0.04
1994	4.07	



$$S = [(1.36 - 3.19) / (1.36 + 3.19)] * 2$$

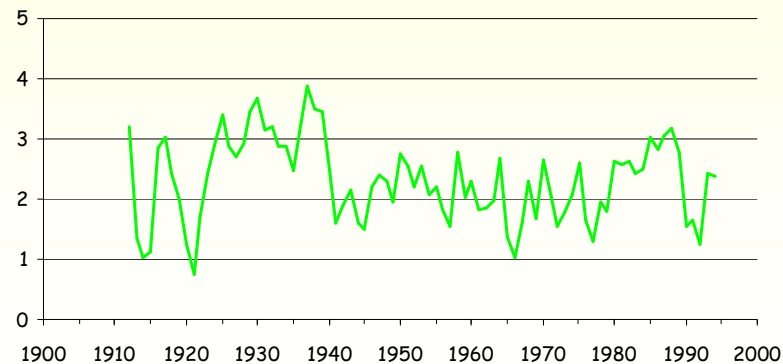
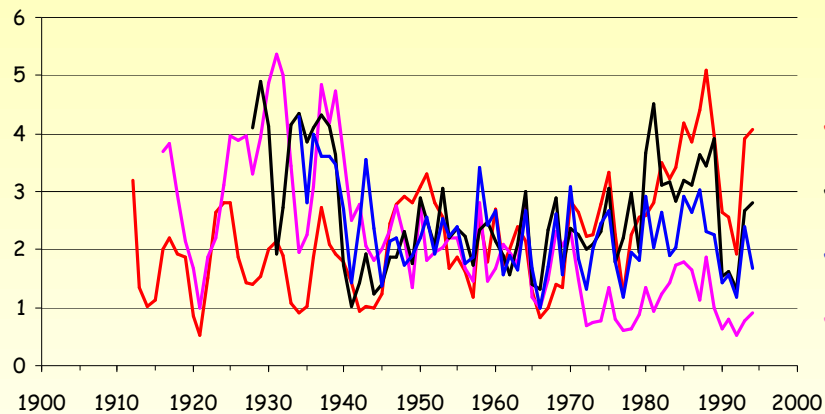


$$S_j = 0.257$$

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

2. Coefficient de sensibilité moyenne (SM) de la pop. (Mean Sensitivity)

SM = sensibilité moyenne sur la population = moyenne des S_j



Minimise les variations atypiques propres à chaque série élémentaire

$SM < SM(j)$

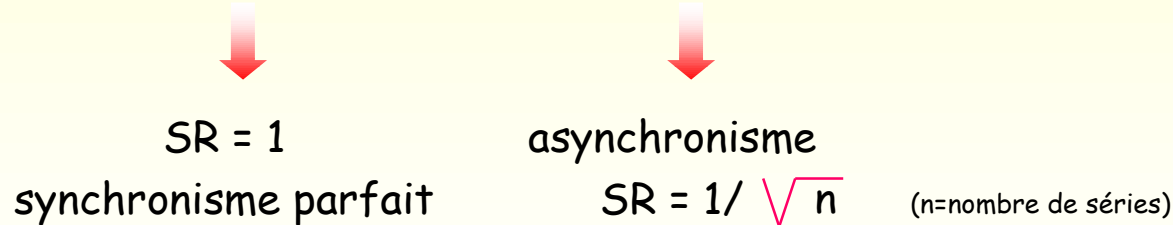
Partie I. Standardisation des séries chronologiques

3. Coefficient d'interdatation (SR)

Il correspond au plus ou moins bon synchronisme des séries élémentaires dont est issue la chronologie maîtresse. Ce coefficient permet d'apprécier l'homogénéité de la réponse aux facteurs climatiques

$$SR = \frac{SM}{SM_{(j)}}$$

→ Sensibilité calculée sur la chronologie maîtresse
→ Moyenne des sensibilités calculées sur les séries individuelles



Partie I. Standardisation des séries chronologiques

3. Coefficient d'interdatation (SR)

$$SR = \frac{0.228}{0.273} = 0.835$$



Valeur élevée : bon synchronisme des variations inter-annuelles à travers tous les individus

	SM	SR	
Association SM et SR	Forte	Faible	réponse forte mais hétérogène au climat
	Faible	Forte	réponse faible mais homogène au climat



Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Exemples dans les peuplements du RENECOFOR

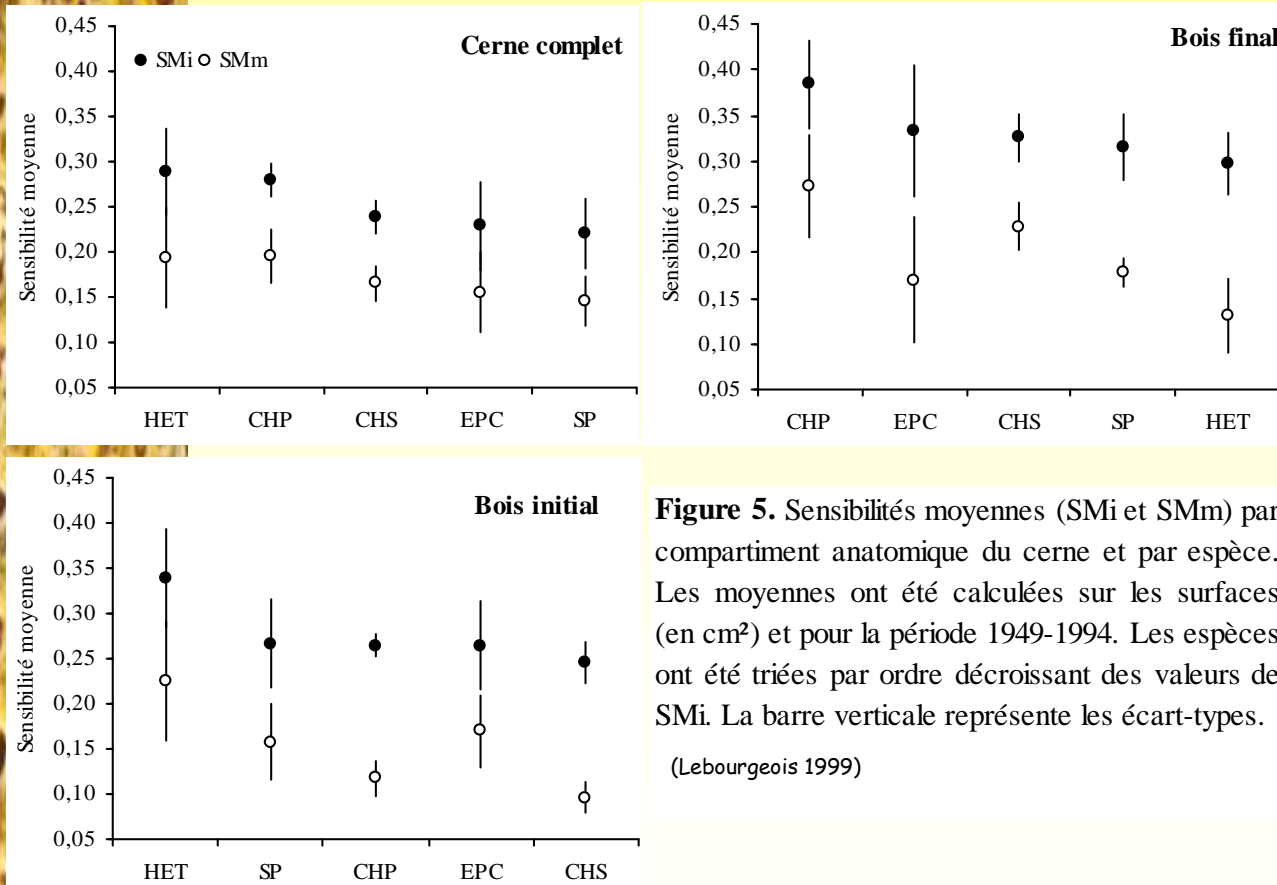


Figure 5. Sensibilités moyennes (SMi et SMm) par compartiment anatomique du cerne et par espèce. Les moyennes ont été calculées sur les surfaces (en cm²) et pour la période 1949-1994. Les espèces ont été triées par ordre décroissant des valeurs de SMi. La barre verticale représente les écart-types. (Lebourgeois 1999)

Chêne (CHP-CHS, n=119-324)

signal plus marqué dans BF avec réponse homogène

	CHS	CHP
SR BF	0,699	0,704
SR BI	0,394	0,444

Hêtre (n=450)

signal plus marqué dans BI avec réponse homogène

$$SR\ BF-BI = 0,434 - 0,656$$

Résineux (EPC, n=148, SP, n=178)

signal plus marqué dans BF

	SP	EPC
SR BF	0,570	0,496
SR BI	0,586	0,643

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

4. Expressed Population Signal (EPS) et Signal to Noise Ratio (S/N ratio)

$$\text{EPS} = \frac{r}{r + (1 - r)/N}$$

→ N = nombre d'arbres utilisés pour construire la chronologie moyenne
→ r = corrélation moyenne entre les séries individuelles (1 carotte par arbre) (inter-corrélation)

EPS est équivalent à la notion de « percent common signal » = $\text{SNR}/(1+\text{SNR})$

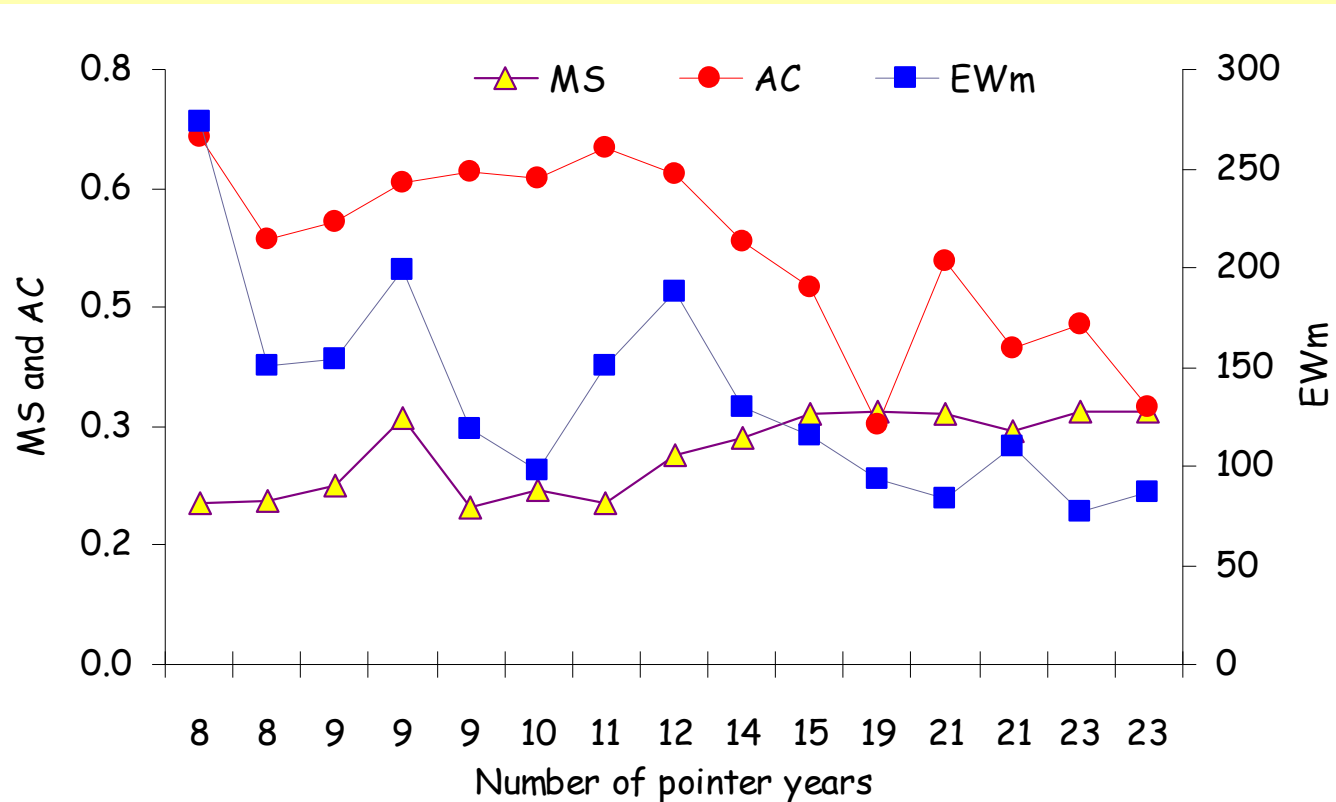
Valeur limite = 0.85

Exemple : Hêtraies du réseau RENEFOFOR

valeurs comprises entre 0.963 et 0.993



Partie I. Standardisation des séries chronologiques



Relation entre le nombre d'années caractéristiques (calculées sur le cerne complet), la réserve utile en eau maximale du sol (EWm), la sensibilité moyenne (MS) et l'autocorrélation (AC) des largeurs de cernes pour 15 hêtraies du Réseau RENECOFOR (Lebourgeois, 1999).

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

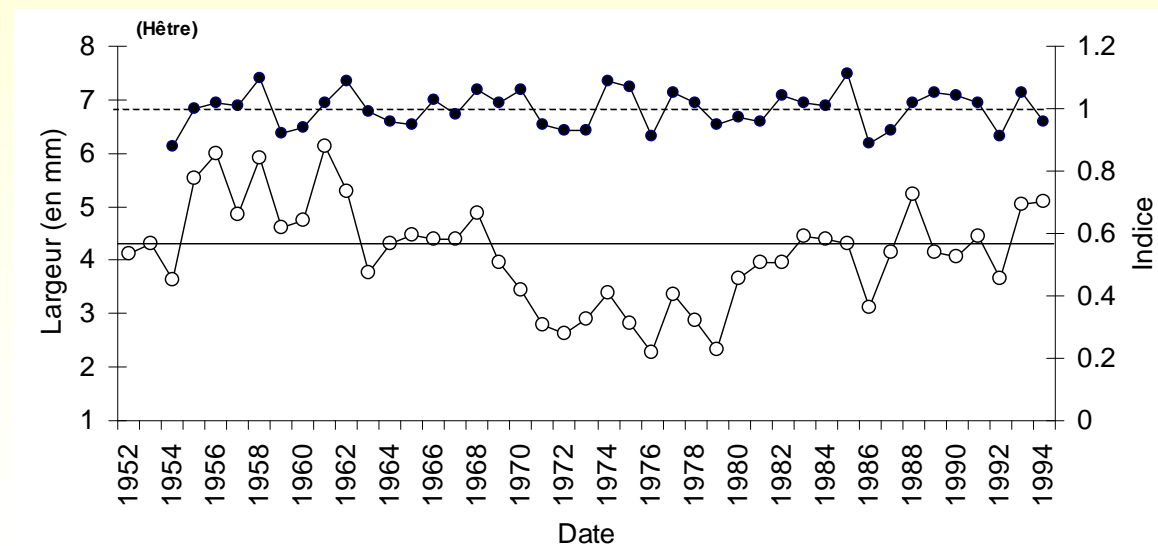
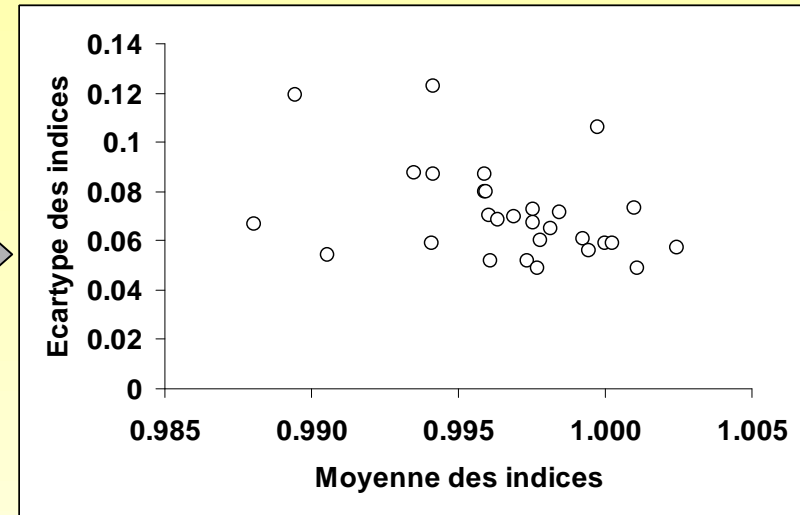
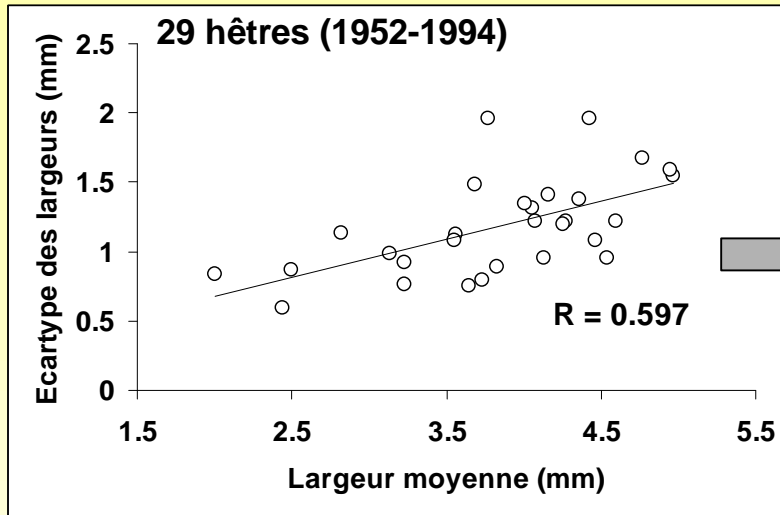
La standardisation a pour objectif d'extraire, au sein des variations des largeurs de cernes observées, le signal que l'on cherche à étudier (ex: le climat), du bruit constitué par toutes les autres sources de variation (ex: âge, sylviculture...).

La standardisation transforme les séries élémentaires brutes en séries d'indices (exprimés sans unité) dégagés des effets des « bruits » indésirables (detrending and indexing)

=> séries d'indices de moyenne 1 et de variance \pm constante
=> conservation du signal « haute fréquence »

Cook E.R. et al. 1990, Tree-Ring Standardization and Growth-Trend estimation. In « Methods of dendrochronology : Applications in the environmental sciences ». Kluwer Academic Publishers COOK ER KAIRIUKSTIS LA (eds), 104-123

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

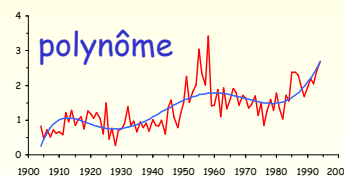
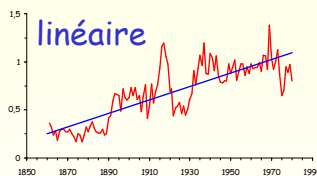


Partie I. Standardisation des séries chronologiques

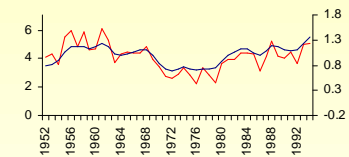
Les méthodes de standardisation sont multiples... (Douglass, 1936, Schulman 1945, Fritts, 1976)

Données brutes (Rt) \longrightarrow Ajustements mathématiques (valeurs prédites Gt) \longrightarrow Indices = Rt/Gt

Fonctions a priori
(modèles déterministes)
linéaire, polynomial, exponentiel...
HO : $G_t = f(A_t)$



Fonctions a posteriori
(modèles stochastiques)
ARMA ou ARIMA
Auto Regressive Moving Average
 \Rightarrow Low-pass filter
HO = $G_t = f(A_t, \alpha D1_t, \alpha D2_t)$



ARSTAN

Guide for computer program ARSTAN,
by Edward R. Cook and Richard L. Holmes
Adapted from Users Manual for Program ARSTAN, in Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin, by R. L. Holmes, R. K. Adams and H. C. Fritts, Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona, 1986, pages 50 to 65.

Tree-Ring Lab Lamont-Doherty Earth Observatory



<http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>

Tree Ring Laboratory Home Page - Microsoft Internet Explorer

Fichier Edition Affichage Favoris Outils ?

Précédente → → → Rechercher Favoris Historique

Adresse <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>

LDEO Home > TRL Home > Public Outreach > Software

Software

TRL scientists strongly support the sharing of specialized software for the growth and benefit of the tree-ring community. It has been our experience that the best advances made in the discipline have come from the free exchange of ideas and suggestions which are often incorporated in many of the programs we use routinely.

Dendrochronology is a computationally intensive discipline. As more difficult questions are asked of our data the need for more specialized software becomes apparent. The programs offered here are continually updated or revised reflecting our commitment to advancing tree-ring research.

Disclaimer: All the programs provided are the intellectual property of the TRL and Columbia University. You are welcome to use them responsibly and give them to others. The TRL and Columbia University are not responsible for what you do with these programs and will not claim any rights to your results from experiments you perform with them. At the same time, we will ultimately not be responsible for training or support of these programs. We suggest using the International Tree-Ring Data Base Forum (ITRDBFOR) for most questions and answers regarding these programs. All programs are written in FORTRAN77.

Name	Function	Operating System	Last Update
ARSTAN *	Chronology development, plotting and analysis	OSX , WindowsXP OSX-Intel	11/2007
Filter *	Analyze frequency and impulse response functions	OSX OSX Intel Windows XP	7/2007
Cofecha	Dating and Measurement Quality Control	OSX , WindowsXP	11/2007
PcReg	Time Series Correlations	MacOS 7-9 , OSX , WindowsXP	2/2006
Princy	Principle Components Analysis (PCA)	OSX , WindowsXP	3/2006
Xdate	Date floating series	MacOS 7-9 , OSX , WindowsXP	6/2004
Ind2Col	Reformat chronology files to space delimited column files.	MacOS 7-9 , OSX , WindowsXP	2/2007
Column	Reformat ring-width decade files to space delimited files	MacOS 7-9 , OSX WindowsXP	1/2006
Edrm	Edit raw ring-width files	MacOS 7-9 , OSX , WindowsXP	6/2004
YoVinnie *	Plot and edit tree-ring data	MacOS 7-9 , OSX , WindowsXP	10/2005
Climask9	Seasonalize monthly data	MacOS 7-9 , OSX , WindowsXP	11/2005
ClimateX	Seasonalize and average monthly climate data	OSX , WindowsXP	3/2006
* mtm	Multi-taper Spectral Anaysis	OSX , WindowsXP	12/2006
DPL	Dendrochronology Program Library	MacOS 7-9 OSX WindowsX	12/2006
GHCnv2_2006	DataServer-GHCN met. Station data.	OSX , WindowsXP	3/2006
ERsstServer	DataServer-NOAA-NCDC Global SST anomalies.	OSX , WindowsXP , OSX-Intel	7/2007
CRITsSERVER	DataServer-CRITs2.1 and	OSX OSX-Intel WindowsXP	11/2007



Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona - Microsoft Internet Explorer

Fichier Edition Affichage Favoris Outils ?

Précédente Recherche Favoris Historique

Adresse <http://www.ltrr.arizona.edu/software.html>

The Laboratory of
Tree-Ring Research [site map](#) [intranet](#) [UA home](#)

Home About us Tree rings People Research Academics Outreach Events Resources

[Research home](#) >> [Publications](#) | [Software and Data](#) || related: [Visiting Scholar Program](#)
 subdiscipline pages: [dendroarchaeology](#) | [dendroecology](#)

Software & Data

Dendrochronological Software and Data Sources

Dendrochronologists use a wide variety of computer software applications to conduct their research. Information on where to find descriptions and links to common software packages and online databases can be found on the [Resources](#) page. The LTRR maintains no public online databases. Only software maintained by the LTRR is listed below. Some programs are not regularly updated. Contact authors for more information.

DPL - Dendrochronology Program Library (author Richard Holmes)
 This classic suite of over 30 data analysis tools was written by the late Richard Holmes. Each program is available as a free executable program, but with no source code. There is no current mechanism to update these programs.

[description \(html\)](#) | [disclaimer \(txt\)](#)
[M PC download \(http\)](#) | [PC download \(mirror ftp\)](#)
[Mac download \(http\)](#)

Precon 5.1 (author Hal Fritts)
 This software analyzes tree-ring responses to climatic variation (dendroclimatology) using a method called response function analysis. Although most of the software is free, graphical output relies on commercially licensed software. Existing users can upgrade to new versions, but new users must buy a run-time license.

[description \(html\)](#)
[PC download \(html\)](#)

Treering 2000 and 3.0 (authors Hal Fritts and others)
 This is a process model of conifer cambial activity and ring structure.

[2000 users manual \(PDF and DOC\)](#)
[PC download \(ZIP file, 588kb\)](#)

[3.0 description \(html\)](#) | [3.0 instructions \(html\)](#)
[PC download \(ftp\)](#)

Matlab® Toolbox (author Dave Meko)
 This collection of tree-ring analysis and plotting functions requires the commercially licensed software [MATLAB®](#), version 5.3 or later.

[description \(html\)](#)
[PC download \(ZIP file, 72kb\)](#)

Pageplot Using Minitab® (author Paul Sheppard)



<http://www.ltrr.arizona.edu/sitemap.html>

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

```

D:\Dendro\ARSTAN.EXE

PROGRAM ARSTAN

Chronology development and statistical analysis
Version 6.02P 12:00 Tue 27 Nov 2007
<XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX>
Program ARSTAN derives chronologies from a set of tree-ring measurement
series by detrending and indexing (standardizing) each series, applying a
robust estimation of the mean value to remove effects of stand disturbances.
Autoregressive modeling of indexed series often enhances the common signal.
Versions of the chronology are intended to contain maximum common signal and
a minimum amount of noise.

Principal component analysis of a common time interval separates different
signals contained in the tree ring series. Extensive statistical analysis
further characterizes the data set. Many options enable tailoring the
processing to a wide range of purposes.

The concept and methodology of Program ARSTAN were developed by
Dr. Edward R. Cook (1985) at the Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth
Observatory of Columbia University in Palisades, New York, USA.

Identify job <up to 5 characters> =>
  
```

17 options (!)

Data brutes



3 chronologies

xxx.std
 xxx.res
 xxx.ars

```

D:\Dendro\ARSTAN.EXE

COMMON INTERVAL, Optimum 1949 to 1994 46 years, 30 series, 1380 rings

TITLE FOR THIS RUN => essai

ARSTAN

Options which may be modified: Current values
1 INFORMATION on series in file
2 DETRENDING method (Double detrending) 1 128 50.0%
3 SPECIAL TREATMENT, selected series 0
4 STABILIZE VARIANCE, LOG TRANS, NORMALIZE N 0 N N
5 Compute indices by Division, Subtraction, Trend in variance D
6 PRINT PLOTS of 10-year means of series N N
7 LIST values of series N N
8 SAVE individual series in format N
9 COLUMNS of ident indicating TREE or TREE MASK 1 to 5
10 TREE SUMMARIES produced, format N -
11 AUTOREGRESSIVE MODELING; method E
12 CHRONOLOGY COMPUTATION, FORMAT, ID R C ESSAI
13 YEAR-BY-YEAR LIST of chronology Y
14 COMMON INTERVAL analysis 1949 1994 0
15 RED NOISE fraction common interval analysis N
16 Number of EIGENVECTORS & AMPS to save 8

<<CR> to execute Program ARSTAN> Option number =>
  
```



Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Etape 1 : « Double detrending (option 2) »... encore 8 options (L)

```

D:\Dendro\ARSTAN.EXE
6 Compute indices by Division, Subtraction, Trend in variance D
7 PRINT PLOTS of 10-year means of series N
8 LIST values of series N
9 SAVE individual series in format N
10 COLUMNS of ident indicating TREE or TREE MASK 1 to 5
11 TREE SUMMARIES produced, format N -
12 AUTOREGRESSIVE MODELING; method E
13 CHRONOLOGY COMPUTATION, FORMAT, ID R C ESSAI
14 YEAR-BY-YEAR LIST of chronology Y
15 COMMON INTERVAL analysis 1949 1994 0
16 RED NOISE fraction common interval analysis N
17 Number of EIGENVECTORS & AMPS to save 8

<<CR> to execute Program ARSTAN) Option number => 2

First DETRENDING CURVE option L:
L = 1 Negative exponential curve or linear regression
L = 2 Neg expo, linear regr. of neg. slope or horiz. line
L = 3 Linear regression (trend line)
L = 4 Horizontal line through the mean (no detrending)
L > 4 Cubic smoothing spline of selected frequency response
L <-1 Spline of 50% frequency response of L percent of series length
L =-1 No line fit; chronology is arithmetic mean of series
L = 0 Statistics only: No detrending, no chronology
First detrending L =>
  
```

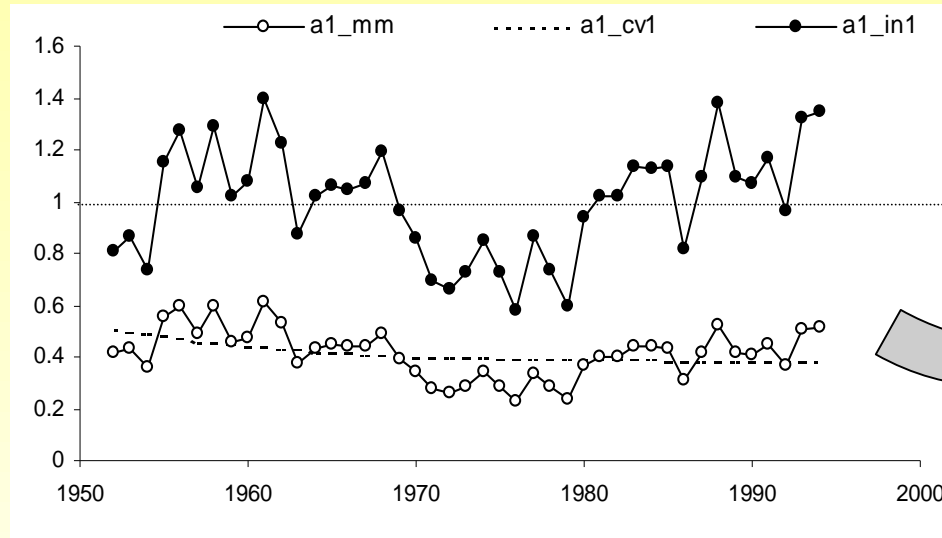
Ajustement des séries individuelles...

1er ajustement..... L=1 (droite, exponentielle)

2ième ajustement... L> 4 (polynômes du 3ième degré par « morceaux »)

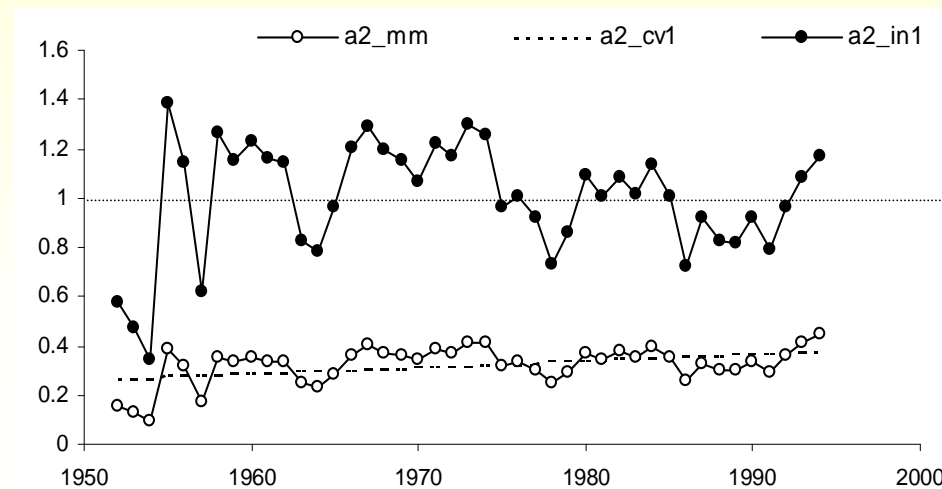
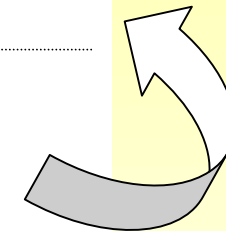
Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Etape 1 : « Double detrending »... Ajustement 1 (L=1)



Indices (mm/cv)

Largeurs

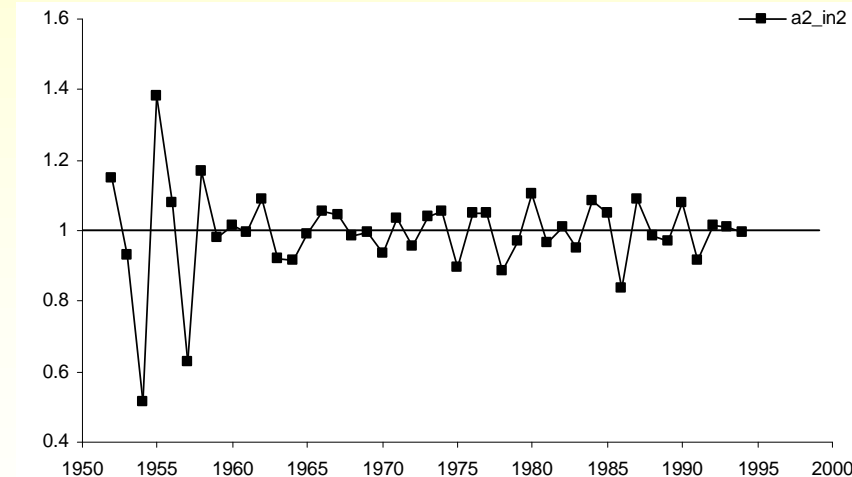
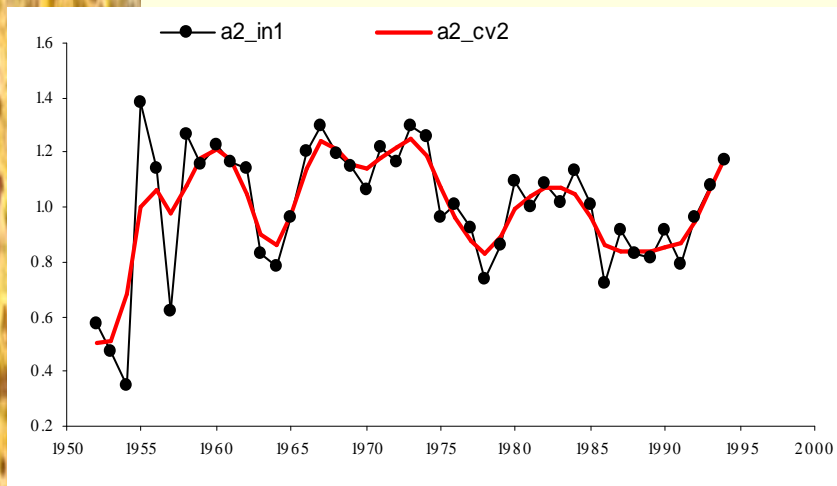
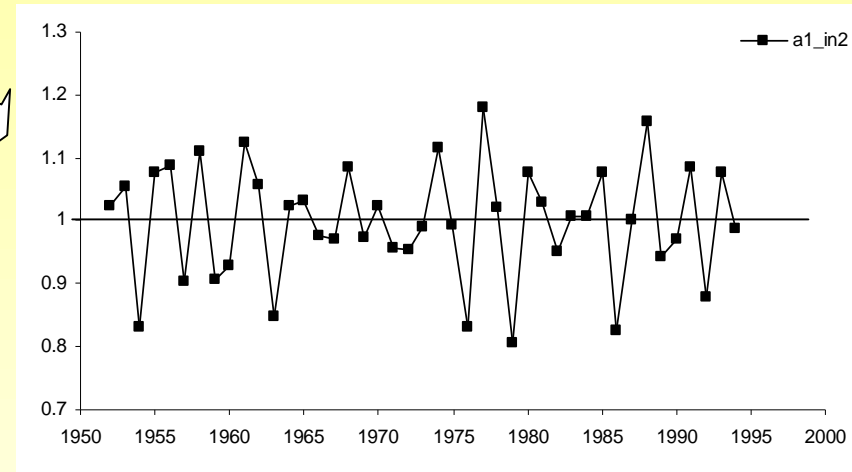
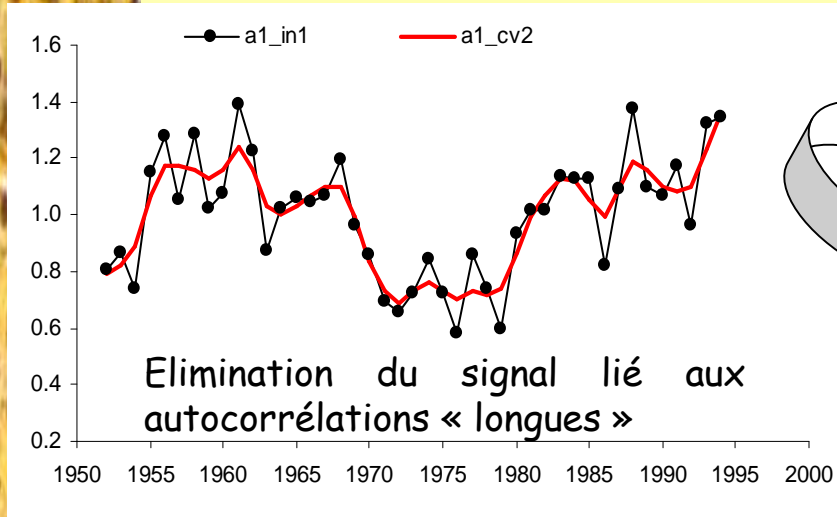


Elimination du signal aussi long que la série... donc peut-être une partie du signal climatique

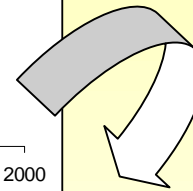
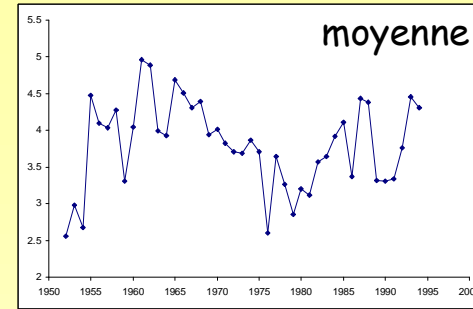
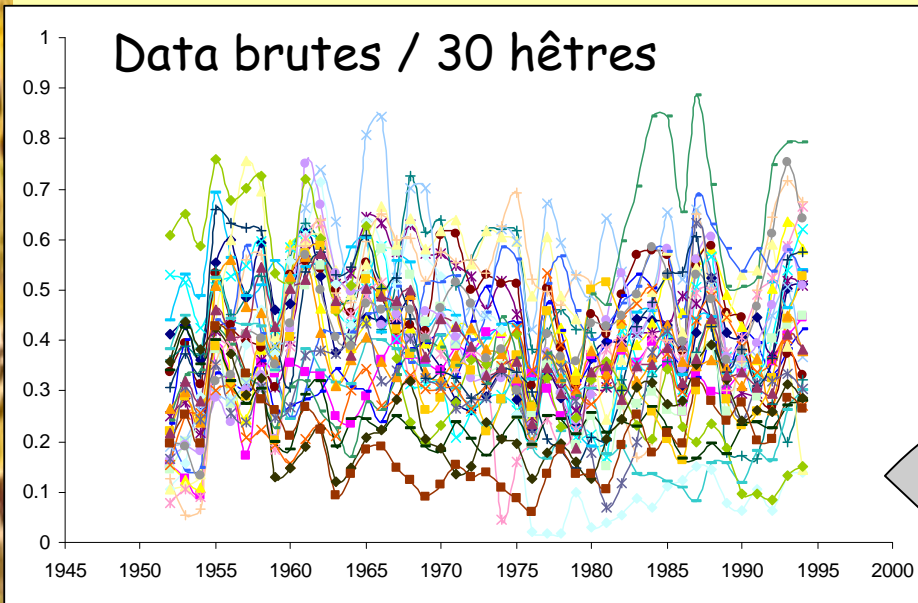


Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Etape 1 : « Double detrending »... Ajustement 2 ($L > 4$)

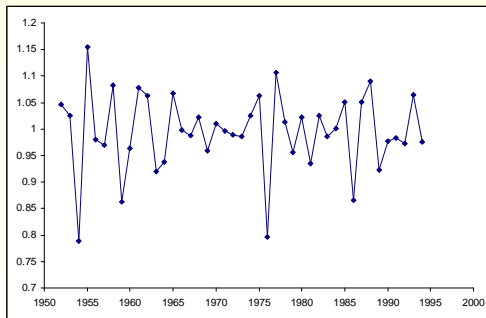


Partie I. Standardisation des séries chronologiques

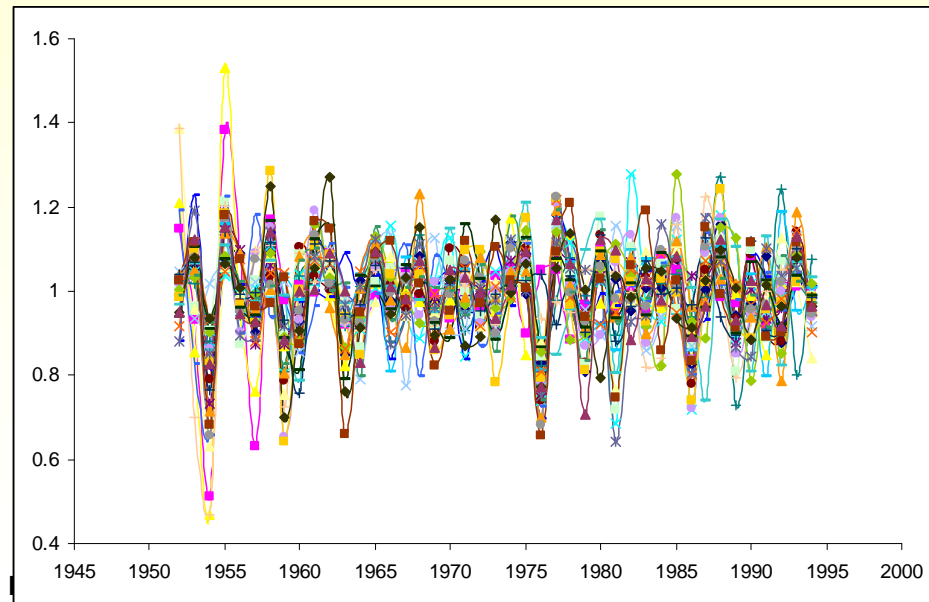


Double detrending

Standard Chronology
(xxx.std)



Moyenne robuste à double pondération
(Biweight Robust Mean)



Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Moyenne robuste à double pondération
 (Biweight robust Mean)

Quand on suspecte la présence de données particulières dans les séries (erreurs, valeurs extrêmes, etc.), il est conseillé de calculer ce type de moyenne plutôt que la moyenne arithmétique classique. Cette moyenne admet la probabilité de présence d'un bruit résiduel dans les données (perturbations endogènes avec des effets à plus ou moins long terme) non distribué normalement. Cette moyenne est calculée pour chaque année t par itération avec la formule ci-dessous.

m = nombre d'indices disponibles pour l'année t

I_t = valeur de l'indice

c = constante dont la valeur est souvent fixée à 6 ou 9. Elle fixe le niveau à partir duquel on attribue la valeur zéro à une donnée particulière.

S_t^* correspond à la déviation médiane absolue (MAD).

$$I_t^{\bar{*}} = \sum_{j=1}^m w_t I_t$$

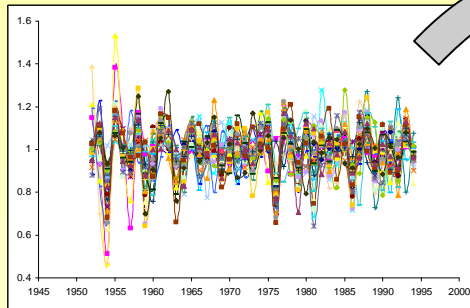
avec
$$w_t = \left[1 - \left(\frac{I_t - I_t^{\bar{*}}}{cS_t^*} \right)^2 \right]^2$$

quand
$$\left(\frac{I_t - I_t^{\bar{*}}}{cS_t^*} \right)^2 < 1$$

et
$$S_t^* = \text{mediane} \left\{ \left| I_t - I_t^{\bar{*}} \right| \right\}$$

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Etape 2 : Processus autorégressifs pour éliminer l'autocorrélation résiduelle des séries d'indices (« white noise » residual ring-index series)



Chaque série de résidus est standardisée selon son propre processus (Akaike Information Criterion)

Seq	AUTOREGRESSIVE COEFFICIENTS FOR EACH SERIES										Variance explained
	T=-1	T=-2	T=-3	T=-4	T=-5	T=-6	T=-7	T=-8	T=-9	T=-10	
1	-0.682	-0.711									59.8
2	-0.677	-0.693									58.2
3	-0.831	-1.084	-0.579	-0.450							59.6
4	-1.019	-1.149	-0.892	-0.697							70.9
5	-0.655	-0.567									46.2
6	-1.062	-1.141	-0.787	-0.604							69.9
7	-1.131	-1.222	-1.189	-0.848	-0.590	-0.317					61.3
8	-1.412	-1.676	-1.645	-1.478	-0.765	-0.343					77.6
9	-0.858	-0.893	-0.729	-0.525	-0.217						46.5
10	-0.311										13.7
11	-1.522	-1.845	-1.979	-1.858	-1.274	-0.775	-0.347				76.8
12	-0.762	-1.038	-0.696	-0.675							65.7
13	-1.339	-1.907	-1.957	-1.844	-1.718	-1.238	-0.799	-0.305			75.2
14	-0.861	-1.010	-0.834	-0.545	-0.233						50.6
15	-1.092	-1.484	-1.274	-1.163	-0.794	-0.505	-0.228				64.8
16	-0.287	-0.402									21.9
17	-0.963	-1.122	-1.115	-0.767	-0.587	-0.281					55.6
18	-1.262	-1.473	-1.326	-0.921	-0.373						68.5
19	-0.812	-0.868	-0.519	-0.248							48.8
20	-0.852	-1.034	-0.611	-0.506							59.7
21	-1.460	-1.884	-1.771	-1.430	-0.771	-0.332					74.3
22	-0.975	-1.112	-0.921	-0.787	-0.473						61.6
23	-0.383	-0.318									20.6
24	-1.148	-1.426	-1.225	-1.053	-0.620	-0.246					63.7
25	-0.685	-0.560									46.1
26	-0.798	-0.552									50.5
27	-1.174	-1.468	-1.072	-0.697	-0.341						71.8
28	-1.046	-1.304	-1.280	-0.952	-0.599	-0.230					60.7
29	-1.024	-1.340	-1.199	-1.083	-0.580	-0.265					61.9
30	-1.339	-1.565	-0.964	-0.554							78.3

AR (2) / 60%

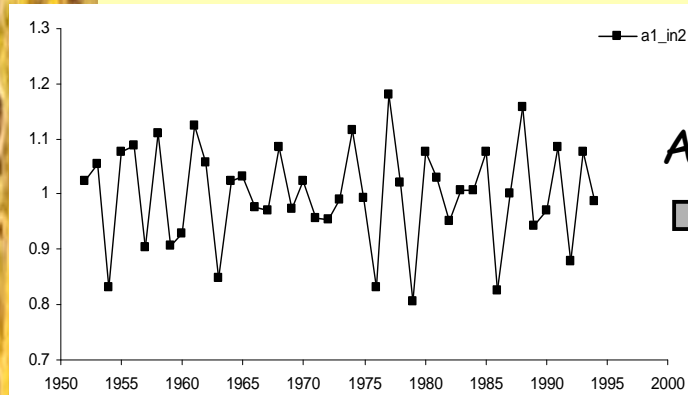
AR (6) / 64%

F. Lebour

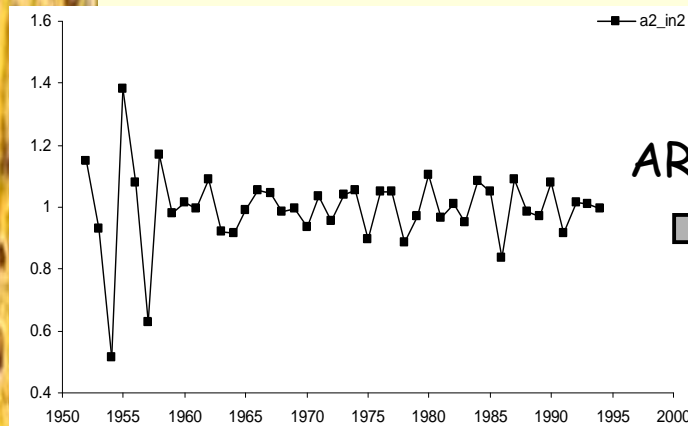
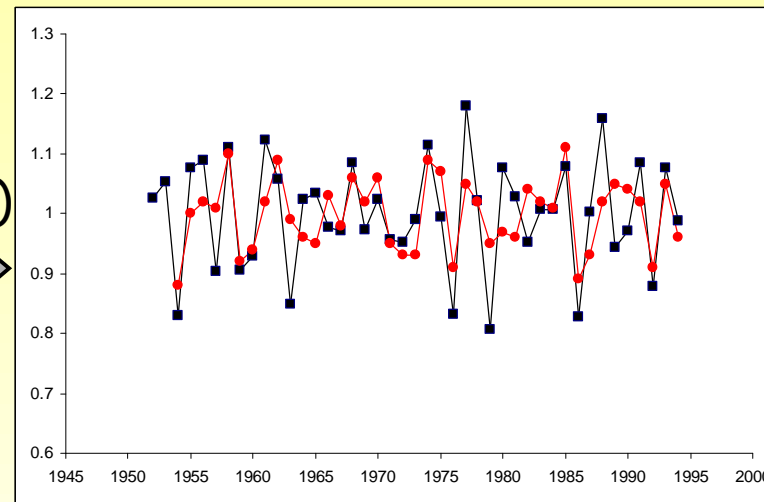
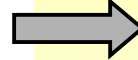
Average variance explained by autoregression = 58.02%

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

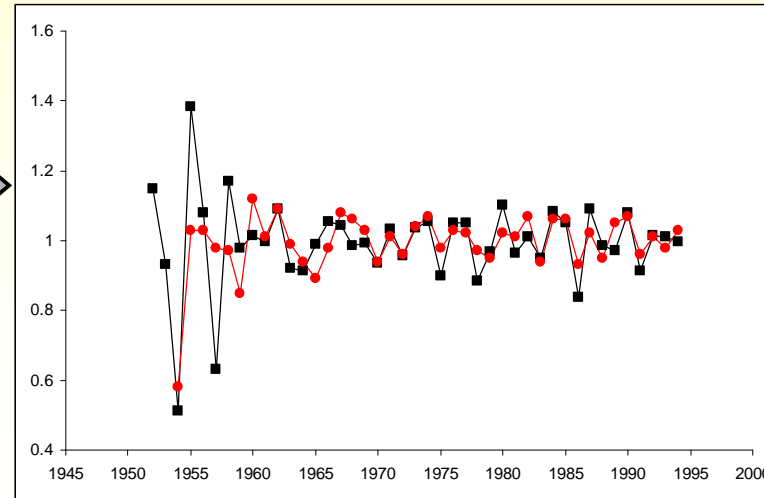
Etape 2 : Processus autorégressifs pour éliminer l'autocorrélation résiduelle des séries d'indices (« white noise » residual ring-index series)



AR (2)

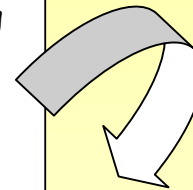
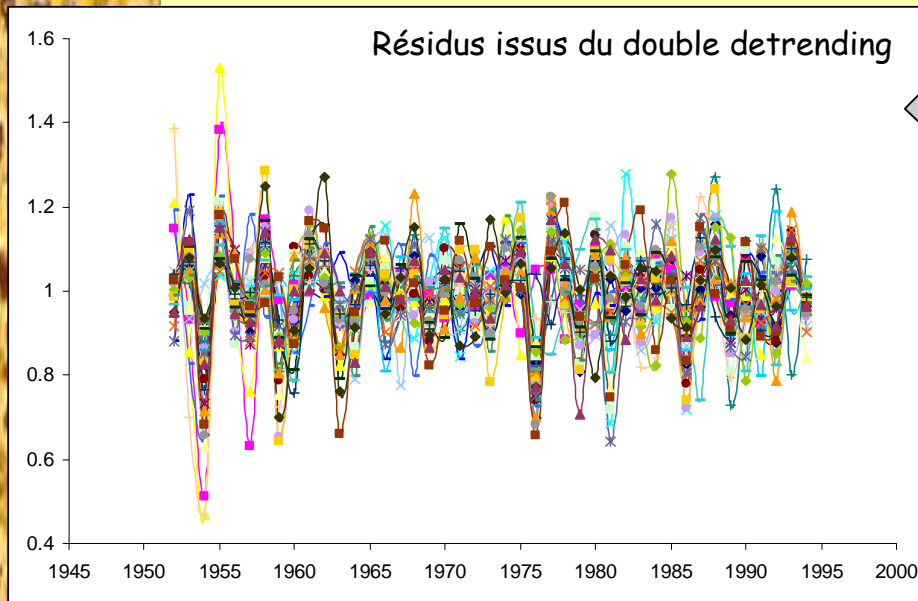


AR (2)

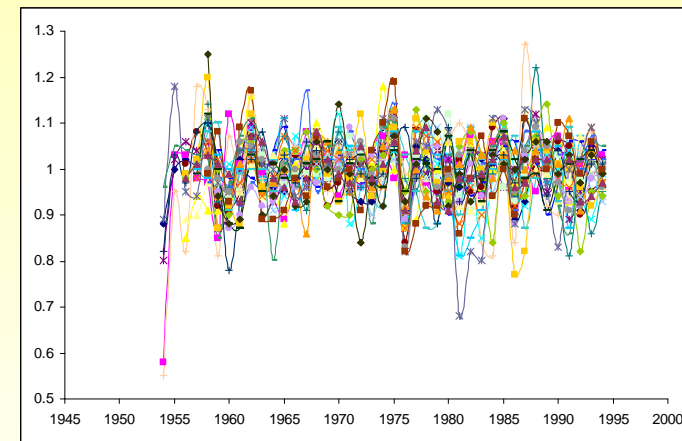


Partie I. Standardisation des séries chronologiques

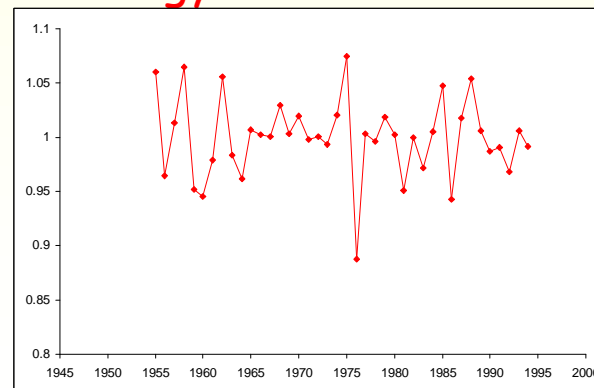
Etape 3 : Processus autorégressifs pour éliminer l'autocorrélation résiduelle des séries d'indices (« white noise » residual ring-index series)



Processus AR



Residual Chronology
(xxx.res)



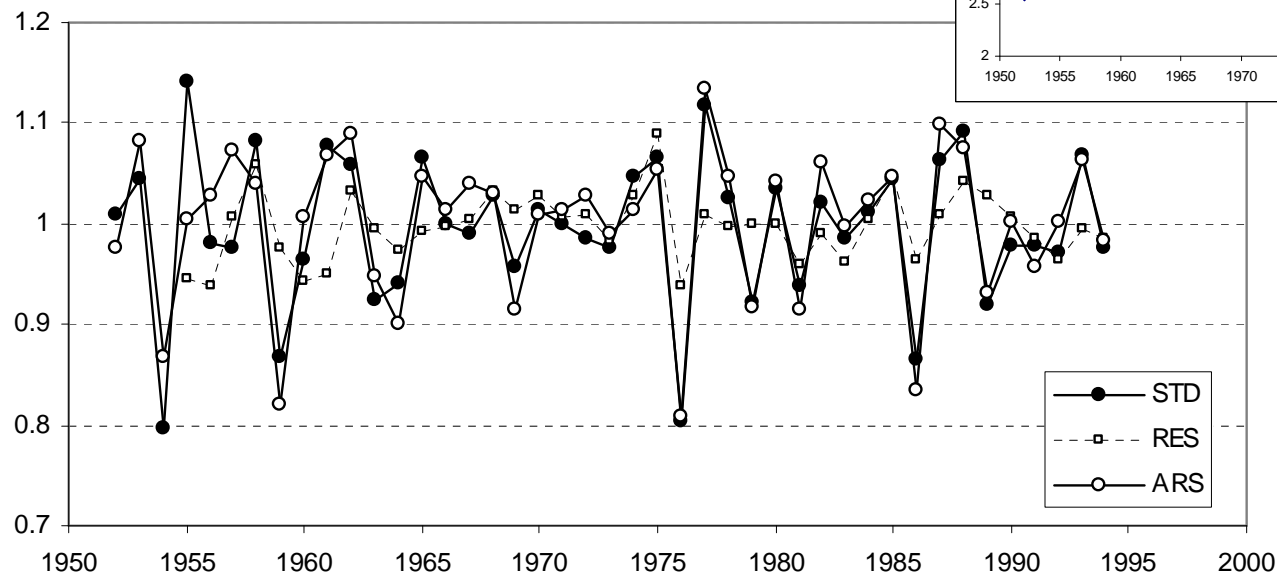
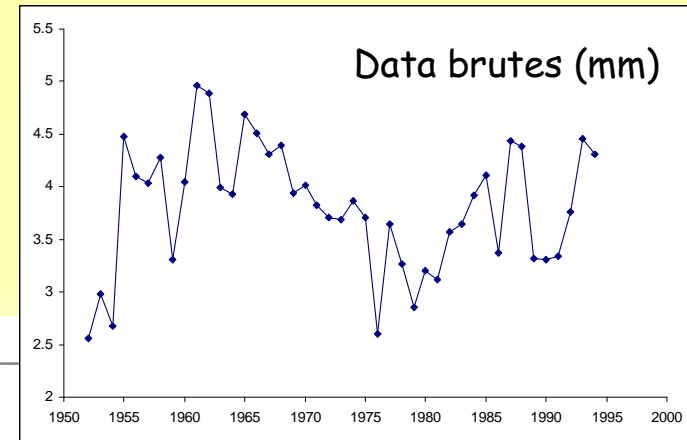
Possibilité d'appliquer encore un processus AR...

Arstan Chronology (xxx.ars)

Partie I. Standardisation des séries chronologiques

Comparaison des 3 chronologies

Std = persistence autocorrélation
Res = élimination de la persistence

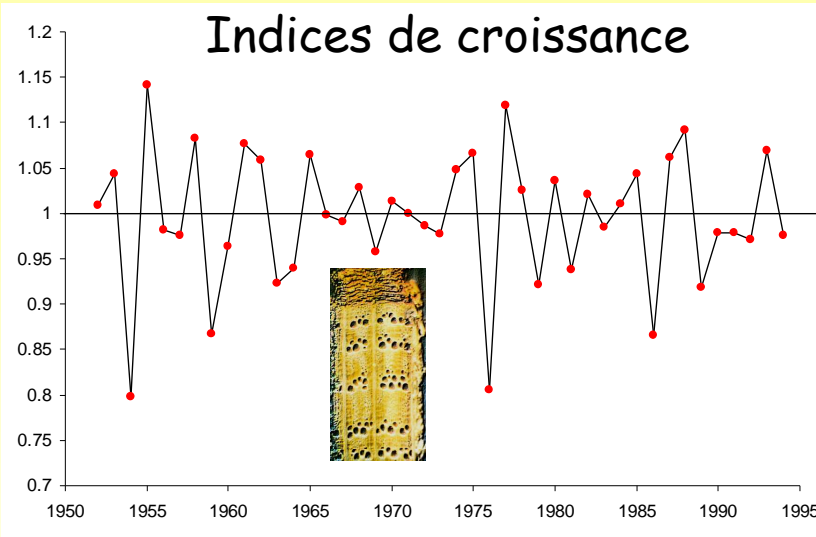


	Statistiques des séries						
	Moy.	Méd.	Std	MS	AC1	AC2	AC3
brutes (mm)	3.8	3.77	1.21	0.203	0.64	-0.02	0.07
STD (sans unité)	0.994	1.005	0.119	0.153	-0.4	-0.5	-0.3

Partie I. Standardisation des séries chronologiques



Partie II. Modélisation climatique



Données climatiques (régresseurs)

Pluie, Température (T_m , T_x , T_n),
Indices bioclimatiques
Bilans hydriques....

Etude du déterminisme climatique des variations inter-annuelles de croissance des arbres...

⇒ définir les variables et les périodes clés

⇒ par analyse des corrélations / calculs des fonctions de réponse (Fritts, 1976)

Partie II. Modélisation climatique

Choix des régresseurs et organisation des données

- intégration au niveau mensuel ou saisonnier : Juin, Juillet... DJF, MAM, JJA...
- variables simples : cumul des pluies, moyennes des températures...
- variables complexes :
 - ETP, P-ETP, PSDI...
 - à base écophysiological
 - indice de sécheresse, nombre de jours de stress (cf articles)
 - bilan hydrique (Granier et al.; Misson et al...)
- nombre de régresseurs : au max 50% de la longueur des séries
exemple : croissance 1950-2000 (51 ans) => 25 régresseurs
- organisation : par date, on considère (cas le plus classique)
 - 12 P et 12 T
 - année calendaire (jan à déc)
 - octobre n-1 à septembre n



Partie II. Modélisation climatique

Les logiciels d'analyse...

Precon 5.1 :

A Statistical Model for Analyzing the Tree-Ring Response to Variations in Climate

<http://www.ltrr.arizona.edu/~hal/dlprecon.html>

3Pbase and PPPHalos :

J. Guiot et Cl. Goeury

<http://www.imep-cnrs.com/pages/3pbase.htm>

(cf article)

Dendroclim2002 :

A statistical tool for analysis of Evolutionary and Moving Intervals in Dendroclimatology

<http://woods.geography.unr.edu/dendrosite/software/DendroClim.html>

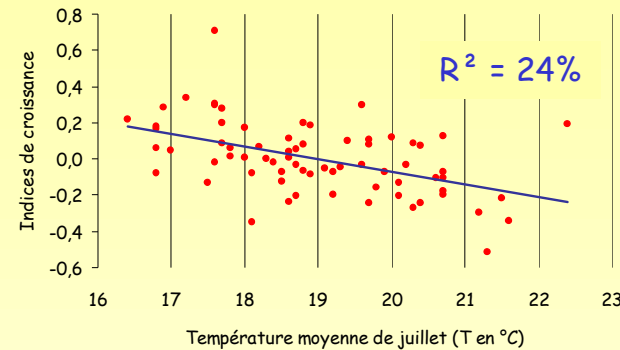
(cf article)

Partie II. Modélisation climatique

- Pin laricio de Corse - - Pays de la Loire - période 1921-1991

Les méthodes

Corrélations simples
 $I_c = f(\text{un paramètre})$

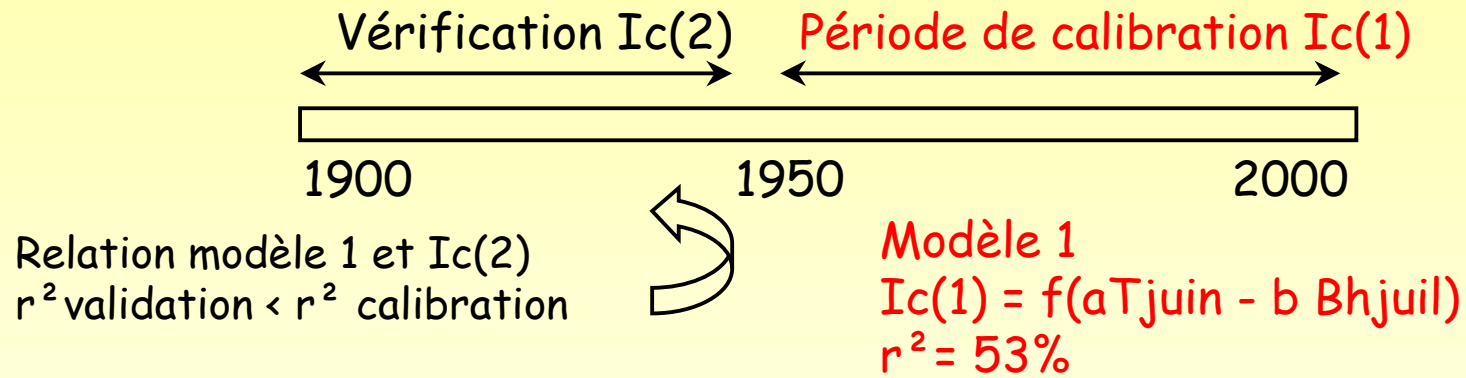


Fonctions de réponse « bootstrapped »

- $I_c = f(aT_{\text{juin}} + bETP_{\text{jan}} - cBH_{\text{sept}})$... modèle linéaire
- régressions multiples pour lesquelles les prédicteurs sont les composantes principales des ACP faites sur les data climatiques
- bootstrapped (calibration/vérification en même temps) (cf article Guiot 1991)

Partie II. Modélisation climatique

Fonctions de réponse... la démarche ancienne

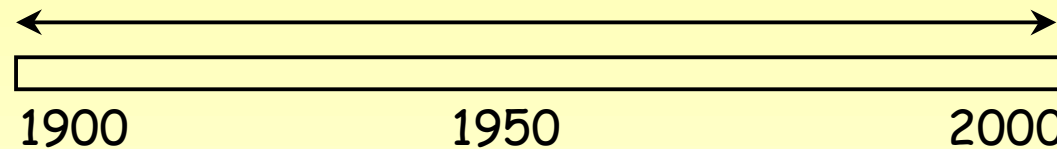


Choix de la période de calibration
 Longueur des périodes
 Données météorologiques disponibles...

Partie II. Modélisation climatique

Fonctions de réponse... la démarche « bootstrapped »

Calibration / Vérification simultanées



Tirage aléatoire avec remise des années
1000 (ou plus) sous échantillons
Moyenne des coefficients sur ces 1000 tirages

	Calibration	Vérification
Étape 1	100 années r^2 modèle et r^2 régresseurs	années non tirées au sort r^2 du modèle et des régresseurs

...

Étape 1000

=> moyenne des r^2 des modèles et des régresseurs sur les calibrations et les vérifications

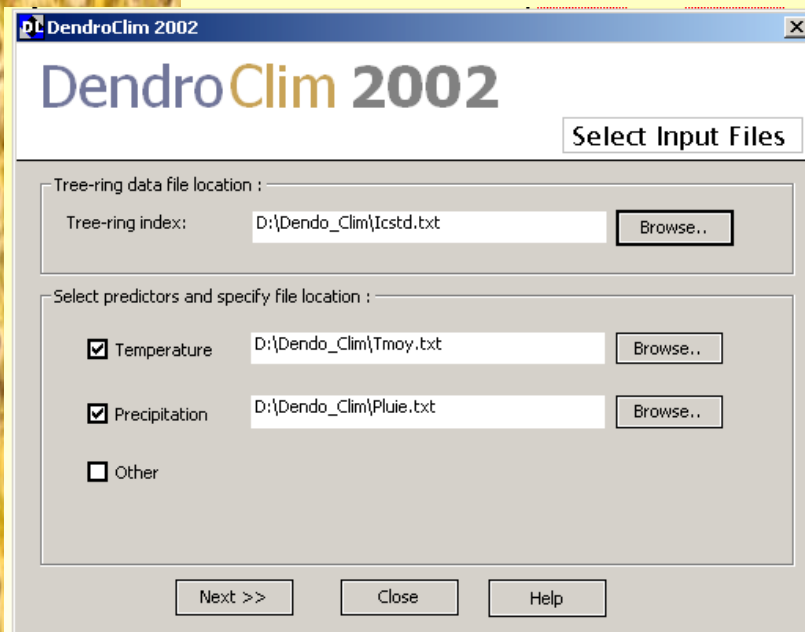
=> écart-type des r^2

=> ratio moyenne/écartype => coefficient « bootstrapped »

Partie II. Modélisation climatique

Utilisation du programme dendroclim2002 (Biondi et Waikul 2004)

Hêtre ; 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon



Icars.txt - Bloc-notes	
Fichier	Edition
1921	0.925
1922	1.0872
1923	1.0823
1924	0.849
1925	1.0338
1926	0.9761
1927	1.2105
1928	0.978
1929	0.8975
1930	0.8812
1931	1.0548
1932	1.1308
1933	1.1764
1934	0.7149
1935	0.8328
1936	1.1679
1937	0.9942
1938	1.1088
1939	0.9901
1940	1.1082
1941	0.7656
1942	0.9691
1943	1.1614
1944	1.1019
1945	0.9108
1946	1.0768
1947	0.8537
1948	1.0587
1949	1.1342
1950	0.8485
1951	1.2151
1952	0.9141
1953	0.9823
1954	0.8748
1955	1.2146
1956	0.9818
1957	0.8446
1958	1.2485
1959	0.8796
1960	0.8902
1961	1.2305
1962	0.8518
1963	1.2291
1964	0.8033
1965	1
1966	1.0831
1967	0.9162
1968	1.0963
1969	0.9912
1970	1.0925

Fichiers d'entrées en txt

Fichiers indices

Icstd.txt, Icres.txt, Icars.txt

Fichiers météo

Pluie.txt, Tmoy.txt, ...

ID.txt

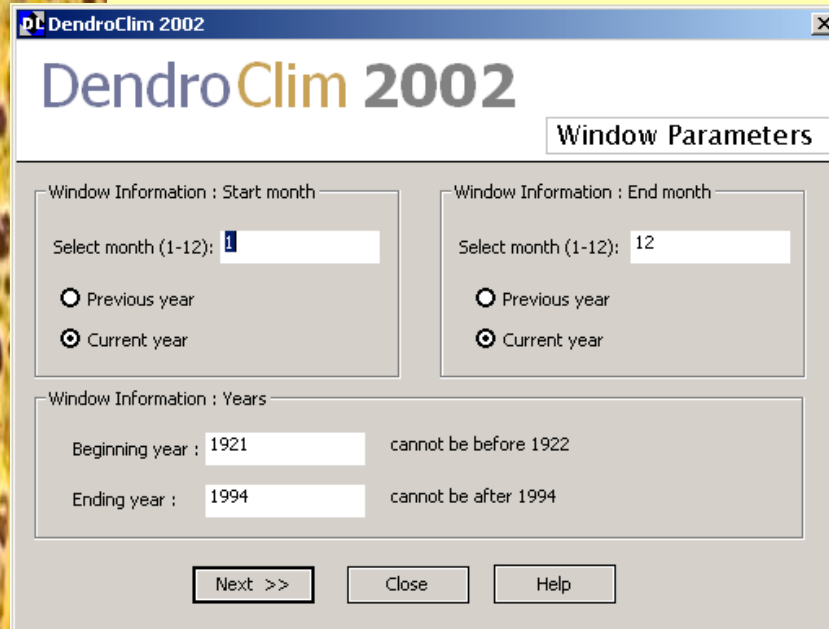
ETP.txt

P-ETP.txt

12 colonnes dans chaque fichier
 (Jan à Déc)

Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon

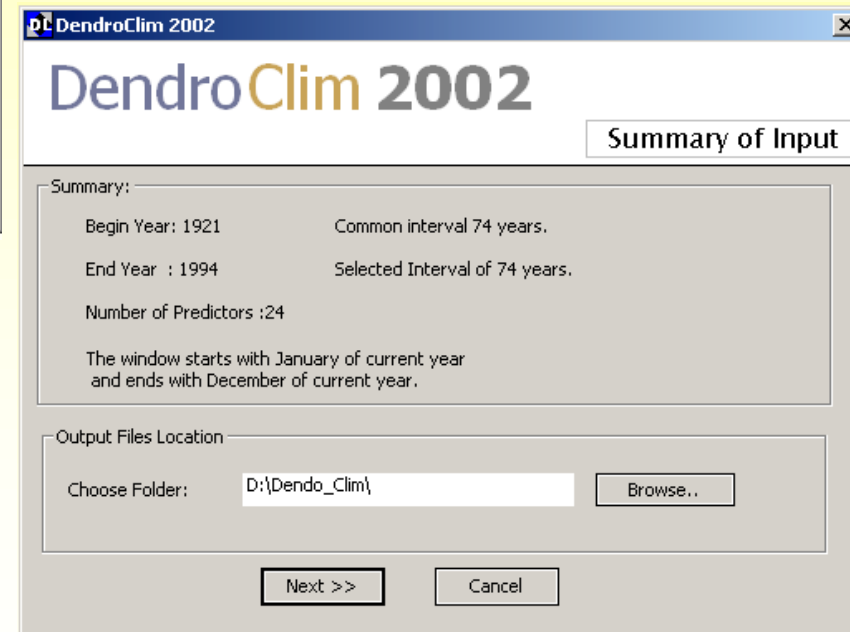


DendroClim 2002
Window Parameters

Window Information : Start month
 Select month (1-12):
 Previous year
 Current year

Window Information : End month
 Select month (1-12):
 Previous year
 Current year

Window Information : Years
 Beginning year : cannot be before 1922
 Ending year : cannot be after 1994



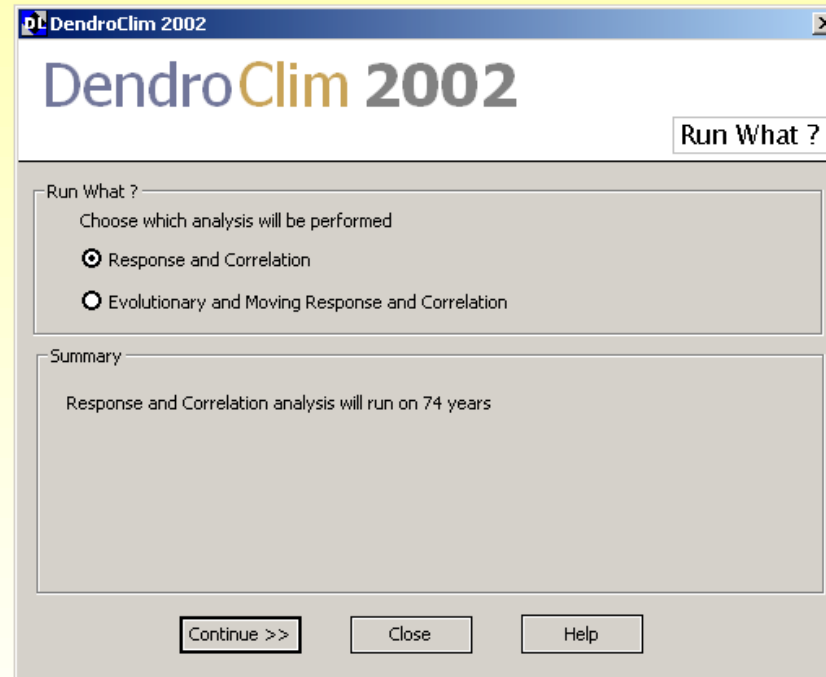
DendroClim 2002
Summary of Input

Summary:
 Begin Year: 1921 Common interval 74 years.
 End Year : 1994 Selected Interval of 74 years.
 Number of Predictors :24
 The window starts with January of current year
 and ends with December of current year.

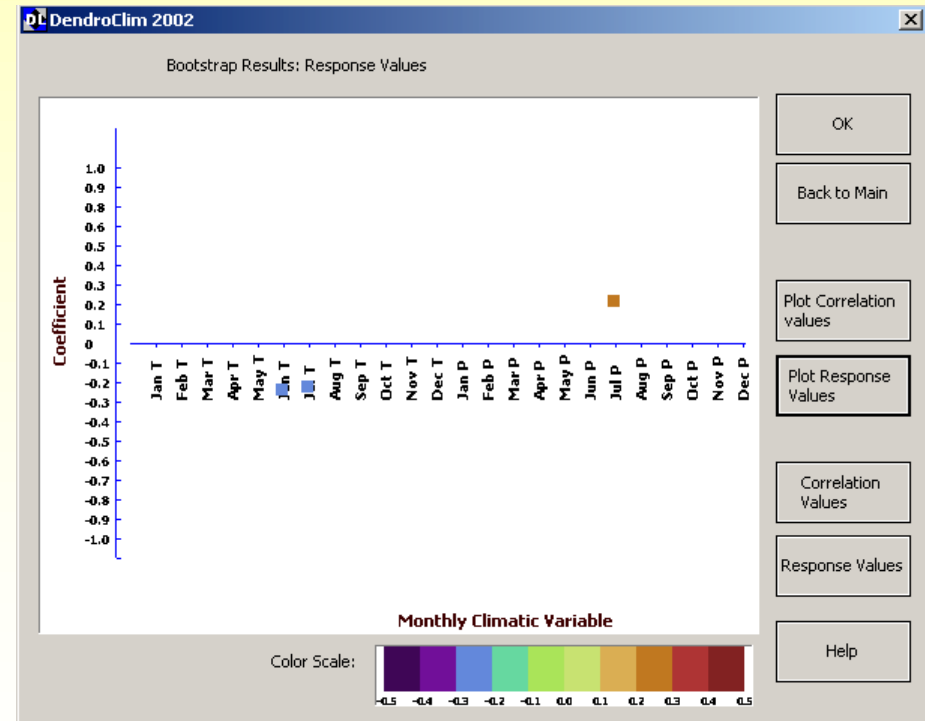
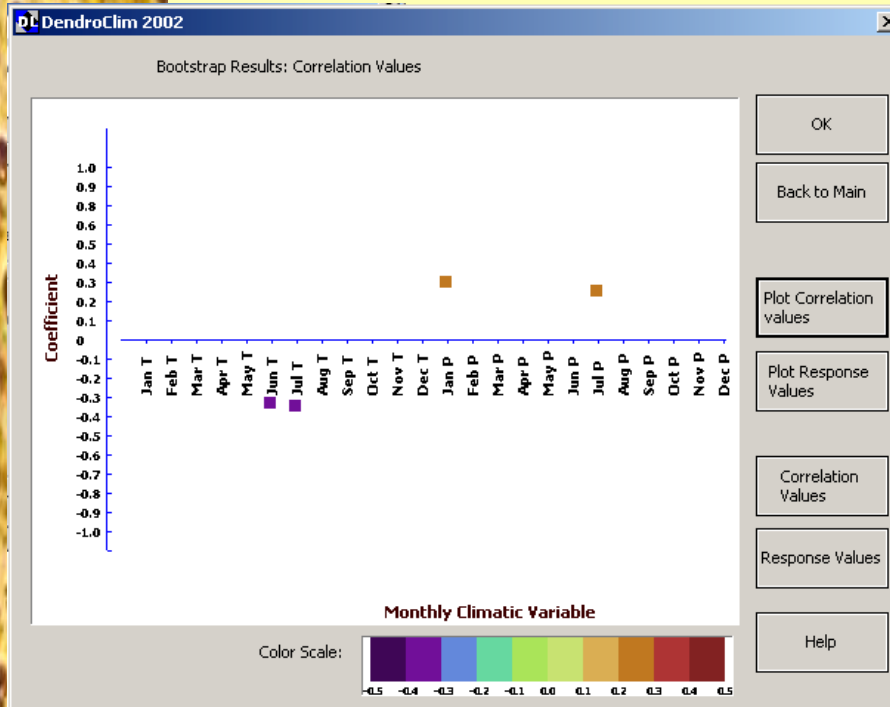
Output Files Location
 Choose Folder:

Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon



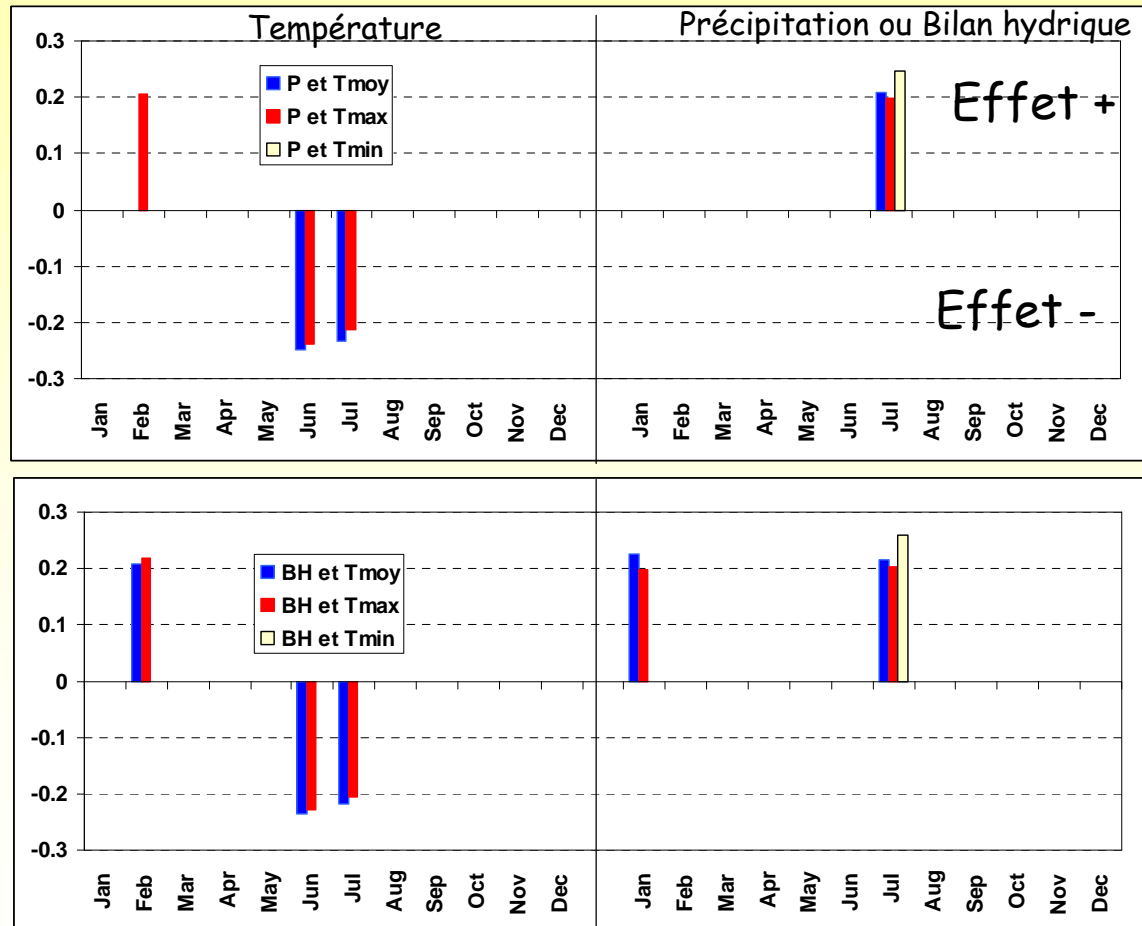
Partie II. Modélisation climatique Hêtre ; 1921-1994 (74 ans) Données climatiques Dijon



Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon

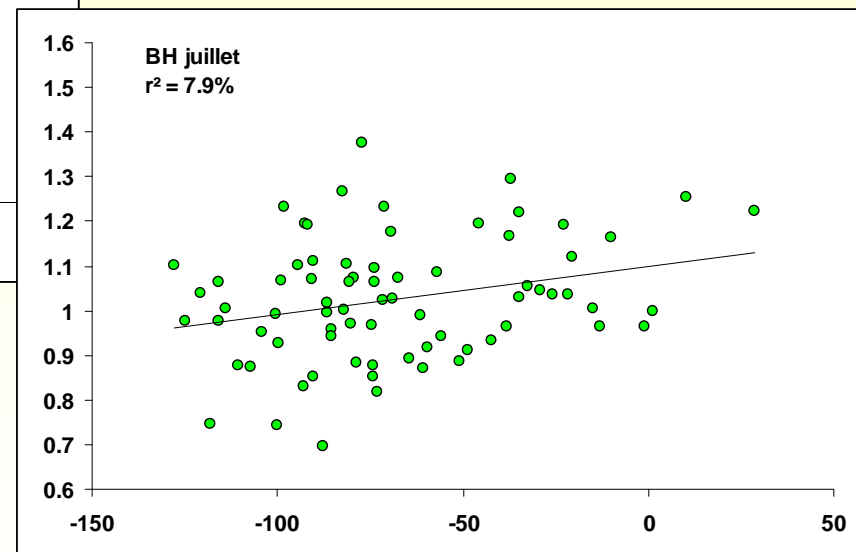
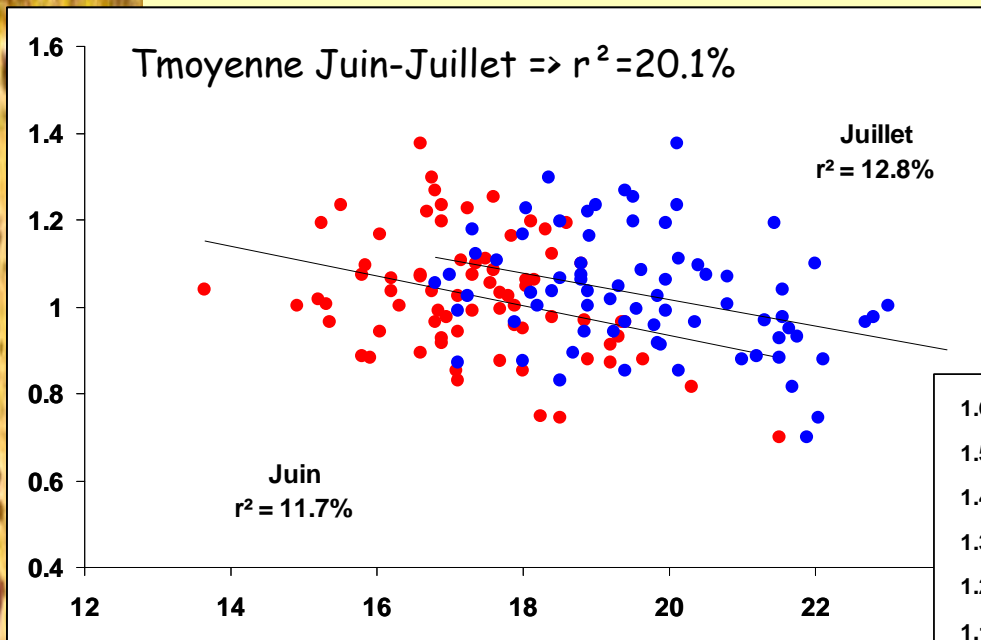
Comparaison des résultats avec 6 groupes de régresseurs
[12 P et 12T] ou [12 BH (P-ETP) et 12 T] (jan à déc de l'année en cours)
Indices Icstd (coefficients issus de la régression bootstrapped)



Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon

Comparaison des résultats avec 6 groupes de régresseurs
[12 P et 12T] ou [12 BH (P-ETP) et 12 T] (jan à déc de l'année en cours)
Indices Icstd (coefficients issus de la régression bootstrapped)

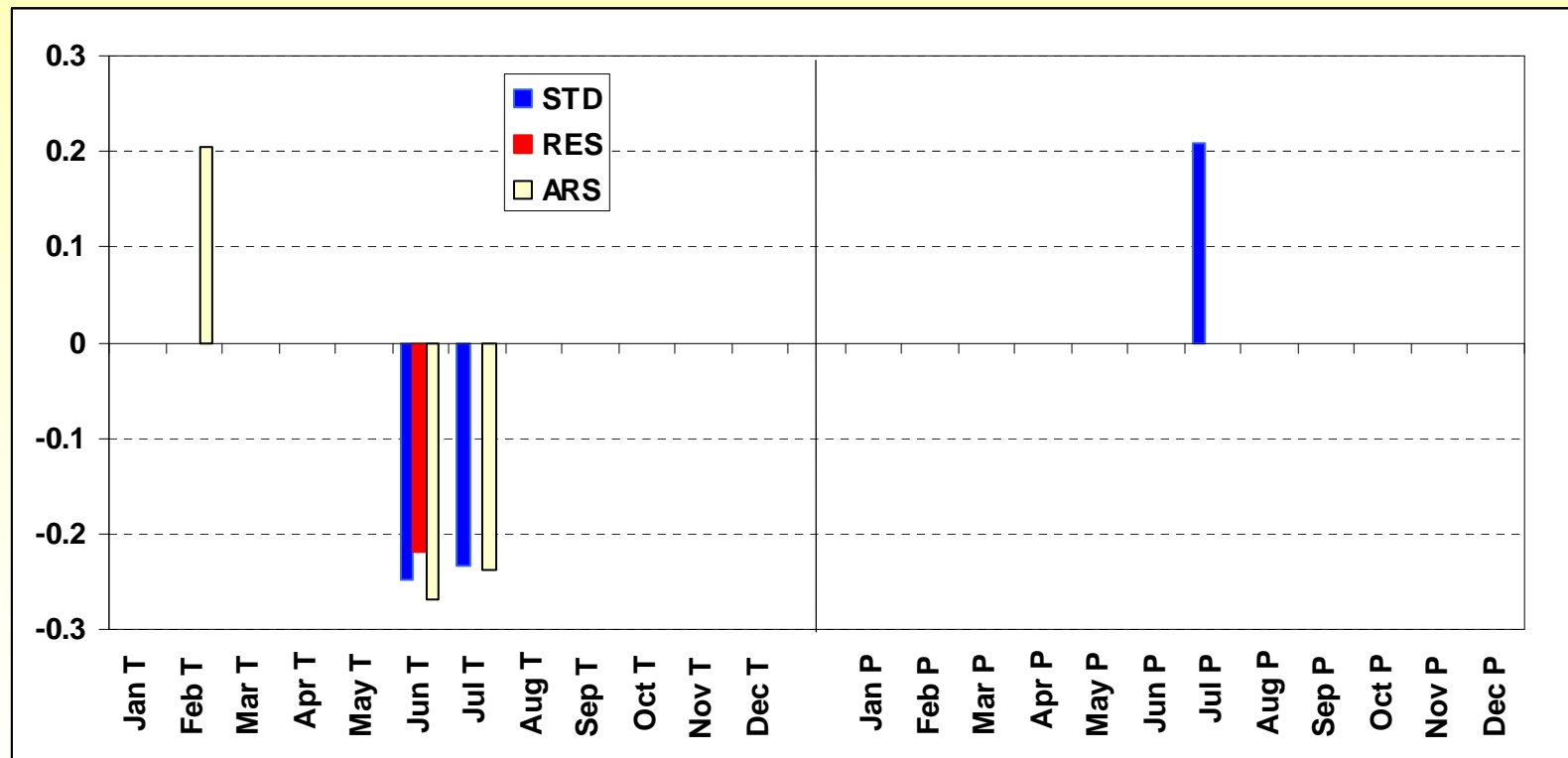


Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
 Données climatiques Dijon

Comparaison des résultats avec les 3 indices
 [12 P et 12 Tmoy] (jan à déc de l'année en cours)

coefficients issus de la régression bootstrapped



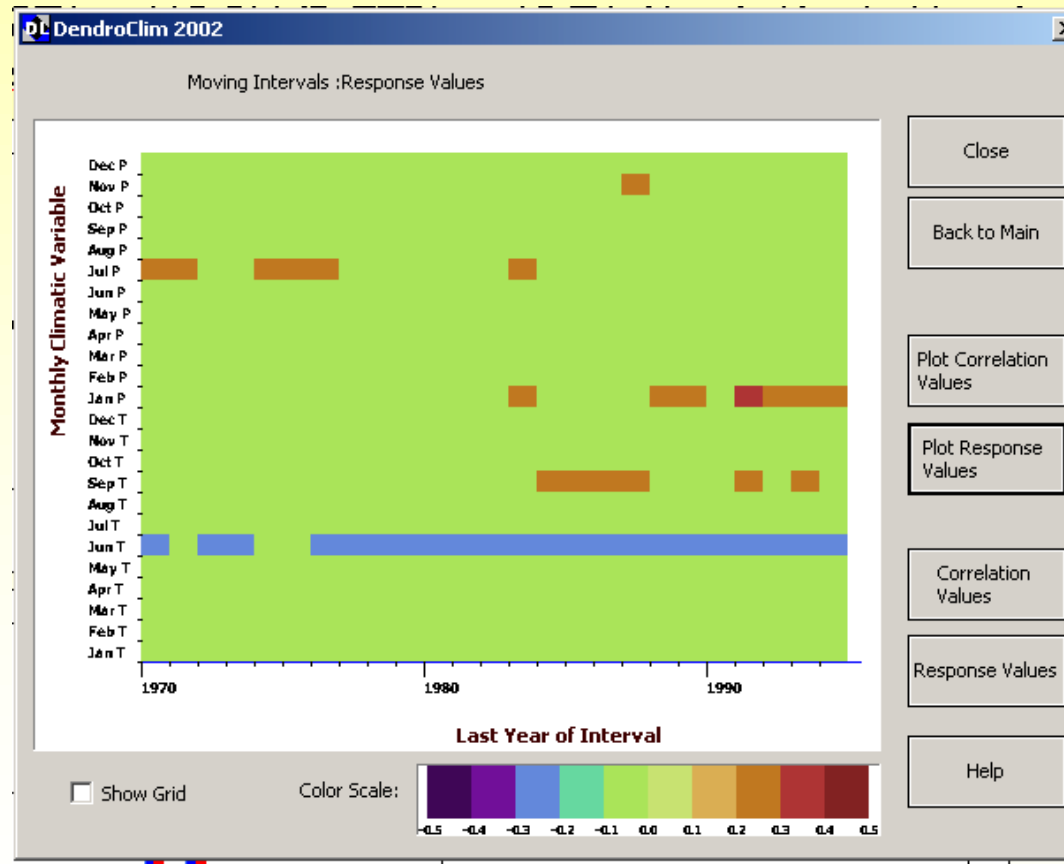
Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon

Stabilité de la fonction de réponse (Moving intervals, step 50 years)
[12 P et 12Tmoy] (jan à déc de l'année en cours)

Indices std

coefficients issus de la régression bootstrapped



1921-1970

1922-1971

1923-1972

...

1945-1994

=> 25 périodes de 50 ans

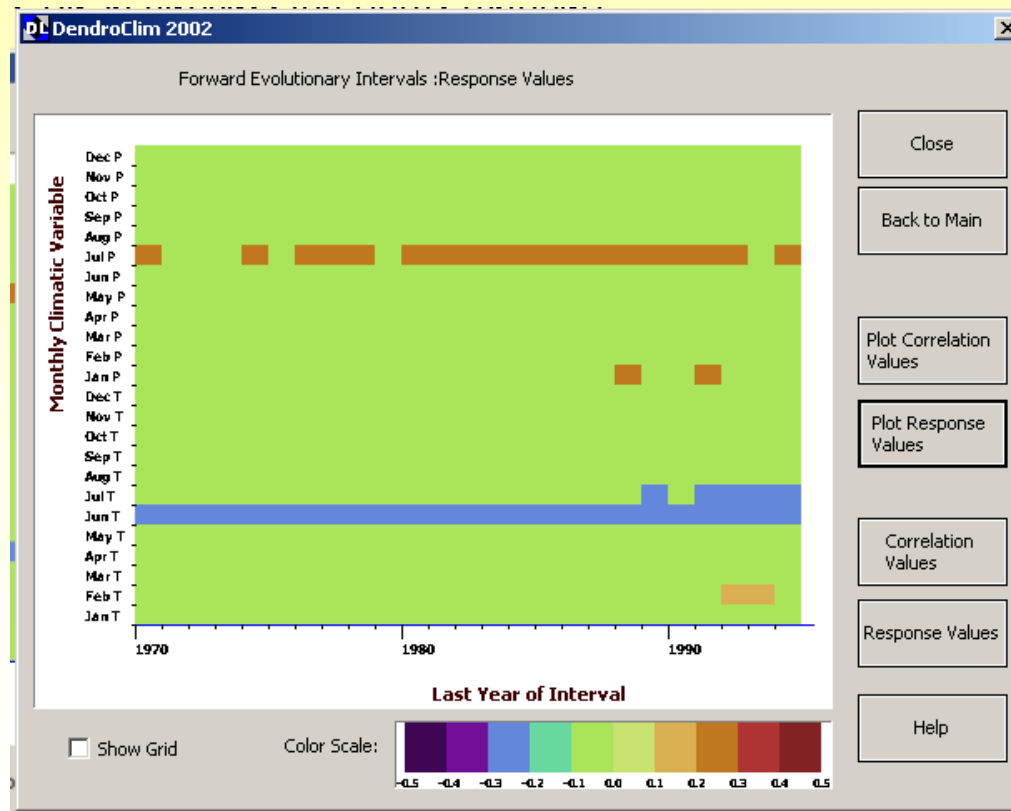
Partie II. Modélisation climatique

Hêtre : 1921-1994 (74 ans)
Données climatiques Dijon

Stabilité de la fonction de réponse (Forward intervals, step 50 years)
[12 P et 12Tmoy] (jan à déc de l'année en cours)

Indices std

coefficients issus de la régression bootstrapped



1921-1970

1921- 1971

1921- 1972

1921- 1973

....

1945-

1994

=> 25 périodes

=> mini 50 ans/ max 74 ans